

Analyse de cycle de vie pour les agrocarburants : caractéristiques et étude comparative



Etudiants :

Hong Phuong DANG

Christophe DUMAS

Idriss EL KADIRI

Cécile NOËL

Edouard WAMBERGUE

Yang YU

Enseignant-responsable du projet :

J. Abdul Aziz

Date de remise du rapport : 22/06/2009

Référence du projet : STPI/P6-3/2009 – 37

Intitulé du projet :

Analyse de cycle de vie pour les agrocarburants : caractéristiques et étude comparative.

Type de projet : ***bibliographique.***

Objectifs du projet :

- ✓ Comprendre la notion d'Analyse de Cycle de Vie.
- ✓ Comprendre le processus de fabrication des agrocarburants.
- ✓ Analyser le cycle de vie des principaux agrocarburants.
- ✓ Savoir si les agrocarburants sont compétitifs sur les points de vue énergétique, économique et environnemental.
- ✓ Comparer les agrocarburants entre eux, et les comparer à leurs équivalents fossiles.
- ✓ Savoir si les agrocarburants sont une bonne alternative.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	8
2. Méthodologie/Organisation du travail.....	9
3. Travail réalisé et résultats.....	10
3.1. Analyse et Cycle de Vie du gazole.....	10
3.1.1. Extraction et transformation.....	10
3.1.1.1. Première étape : prospection et extraction du pétrole.....	10
3.1.1.2. Deuxième étape : le transport.....	10
3.1.1.3. Troisième étape : le raffinage.....	10
3.1.2. Le gazole : quels bilans ?.....	10
3.1.2.1. Le bilan environnemental.....	10
3.1.2.2. Le bilan énergétique.....	11
3.1.2.3. Le bilan économique.....	13
3.2. Analyse et Cycle de Vie de l'essence.....	13
3.2.1. La transformation.....	13
3.2.2. L'essence : quels bilans ?.....	14
3.2.2.1. Le bilan environnemental.....	14
3.2.2.2. Le bilan énergétique.....	14
3.2.2.3. Le bilan économique.....	16
3.3. Analyse et Cycle de Vie du biodiesel.....	16
3.3.1. Etapes de fabrication du biodiesel.....	16
3.3.2. Les différents types de biodiesel.....	17
3.3.3. Les coproduits.....	18
3.3.4. Le biodiesel : quels bilans ?.....	19
3.3.4.1. Le bilan environnemental.....	19
3.3.4.2. Le bilan énergétique.....	20
3.3.4.3. Le bilan économique.....	21
3.4 Analyse et Cycle de Vie du bioéthanol.....	23
3.4.1. Etapes de fabrication du bioéthanol.....	23
3.4.2. Bioéthanol : quels bilans ?.....	25
3.4.2.1. Le bilan environnemental.....	25
3.4.2.2. Le bilan énergétique.....	26
3.4.2.3. Le bilan économique.....	28

3.4.3. Etudes des autres filières dans le monde.....	29
3.5. Etude comparative entre les carburants fossiles et les agrocarburants.....	29
3.5.1. Comparaison entre le biodiesel et le gazole.....	29
3.5.1.1. Comparaison sur le plan environnemental.....	29
3.5.1.2. Comparaison sur le plan énergétique.....	32
3.5.1.3. Comparaison sur le plan économique.....	34
3.5.1.4. Pour conclure.....	37
3.5.2. Comparaison entre le bioéthanol et l'essence.....	37
3.5.2.1. Comparaison sur le plan environnemental.....	37
3.5.2.2. Comparaison sur le plan énergétique.....	38
3.5.2.3. Comparaison sur le plan économique.....	39
3.6. Explication des différences selon les études.....	39
3.6.1. Présentation du problème d'allocation.....	40
3.6.1.1. Les méthodes de proratas.....	40
3.6.1.2. La méthode de substitution.....	41
3.6.2. Des analyses de sensibilité nécessaire.....	41
3.6.2.1. Exemple de l'éthanol de blé.....	42
3.6.2.2. Exemple de l'EMHV de colza.....	42
4. Conclusion et Perspectives.....	43
5. Bibliographie.....	45
6. Annexes.....	48



NOTATIONS, ACRONYMES

ACV : Analyse du Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

DIREM : Direction des Ressources Energétiques et Minérales

EDEN : Energie Durable En Normandie

EE : Efficacité Energétique

EMHV : Esters Méthyliques d'Huiles Végétales

ETBE : Ethyl Tertio Butyl Ether

GES : Gaz à effet de serre

PWC : PricewaterhouseCoopers

RAC-F : Réseau d'Action Climat France

TGAP : Taxe Générale sur les Activités Polluantes

TIC : Taxe Intérieure de Consommation

TIPP : Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers



LEXIQUE

Bilan carbone : Outil de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre développé par l'ADEME. Son objet est de permettre une évaluation des émissions directes ou induites par une activité.

Biocarburant : Alternative aux carburants fossiles, mais ce terme a une connotation biologique, or le préfixe *Bio* a acquis au fil des ans une connotation particulière. Il est plus aisé d'utiliser agrocarburant car ces carburants proviennent de la filière agricole, et ne donne pas une image « bio » des carburants.

CO₂ eq : Terme relatif à la finance du carbone, lorsque l'on parle d'une unité de crédit-carbone, elle est exprimée en équivalent CO₂. La liste ci-dessous évalue la puissance de différents gaz à effet de serre en équivalent CO₂.

Dioxyde de carbone : 1

Méthane CH₄: 21

Protoxyde d'azote N₂O: 296

Cogénération : principe de production simultanée d'électricité et de chaleur, cette chaleur étant issue de la production électrique.

Drèches : Dans le cas de la fabrication de bioéthanol, les drèches sont les résidus naturels issus de la transformation du blé et du maïs. Les drèches servent de complément dans l'alimentation animale.

Efficacité énergétique (EE) d'un agrocarburant : rapport entre l'énergie contenue dans l'agrocarburant et l'énergie primaire mise en œuvre pour le produire. Une EE supérieure à 1 signifie que les gains d'énergie l'emportent sur les dépenses.

Hydrocarbure : C'est un composé organique contenant exclusivement des atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Ils sont inflammables et ne se mélangent pas avec l'eau. On s'en sert pour faire marcher les moteurs.

Ligno cellulosique : matière végétale constituée de lignocellulose : bois, paille, écorces, herbes, feuilles....

Photosynthèse : C'est le processus biochimique qui permet aux plantes de synthétiser de la matière organique à partir de lumière.

Ratio énergétique : il correspond à l'énergie restituée sur l'énergie non renouvelable mobilisée.

Saccharification : C'est un processus biochimique qui consiste à transformer la cellulose ou l'amidon en sucres plus simples (par exemple le glucose).

Tonne équivalent pétrole (TEP) : unité de mesure utilisée pour comparer les énergies entre elles. Elle correspond à l'énergie moyenne produite par la combustion d'une tonne de pétrole et équivaut à 42 giga joules environ.

Siplec : filiale de distribution de carburants des Centres Leclerc



1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, nous vivons dans un monde où les échanges : de marchandises, de flux ou de personnes sont prépondérants. C'est pourquoi le domaine des transports représente actuellement le plus grand poste de consommation de carburants : il génère environ 14% des émissions de GES mondiales avec un rythme de croissance d'environ 2% par an.

Par ailleurs, les stocks de carburants fossiles diminuent de jour en jour (on estime que le stock de pétrole sera épuisé à l'horizon 2050), leur prix est en constante augmentation ainsi que leurs impacts sont néfastes pour l'environnement. Tout autant de raisons qui nous poussent naturellement à chercher d'autres moyens de conserver notre mode de vie.

Ainsi, les agrocarburants semblent être une alternative sérieuse à la filière fossile. Et cela a essentiellement pour origine leur potentiel en termes de réduction de la consommation d'énergie non renouvelable (pétrole...) et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour le secteur des transports.

C'est justement ce fort potentiel qui a poussé les gouvernements mondiaux à lancer des politiques qui favorisent la production et l'utilisation des agrocarburants.

Il faut savoir qu'il existe deux types d'agrocarburants à savoir ceux de première génération et ceux de deuxième génération. Il n'y a pas réellement de frontière « stricte » entre les deux, cependant la première génération s'appuie sur les produits alimentaires alors que la deuxième génération est issue de source ligno-cellulosique*.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes concentrés seulement sur les agrocarburants de première génération, de la filière agroalimentaire (colza, blé...), à savoir les différents types de biodiesel et de bioéthanol. Les carburants de deuxième génération étant encore en développement, nous ne disposons pas d'assez d'informations pour cette étude.

Vous trouverez dans ce dossier, une description ainsi qu'une analyse des agrocarburants pouvant être produits à partir des cultures que l'on trouve en Haute-Normandie.

Ainsi, notre objectif, ici, est de réaliser l'analyse du cycle de vie de ces agrocarburants à savoir donner leurs principales caractéristiques (en termes de production, utilisation, impacts) et de comparer ces différents agrocarburants sur le plan environnemental, énergétique, et économique. A la fin, nous allons tenter de savoir quel agrocarburant de première génération est le plus apte à répondre à nos besoins ou si au contraire le choix des agrocarburants n'est pas la meilleure alternative.



2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

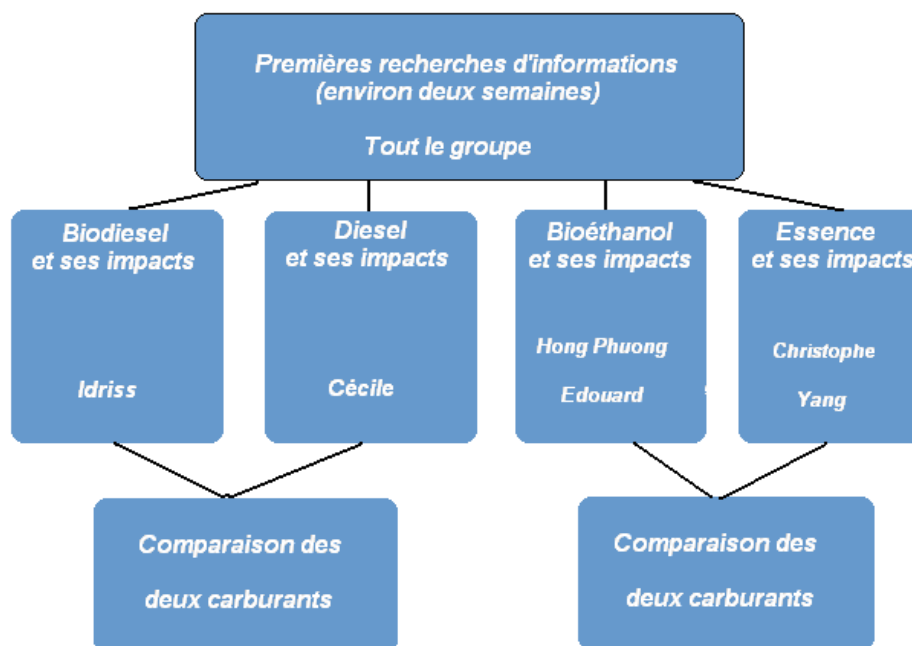
Lors de notre première réunion, nous avons tout d'abord commencé par chercher la notion globale de « agrocarburants », et à comprendre pourquoi certains écologistes lui préfèrent la notion d' « agrocarburants ». Il a été aussi important de cerner parfaitement les caractéristiques d'une analyse de cycle de vie (ACV).

Durant les deux semaines suivantes, nous avons ensuite cherché à accumuler le plus d'informations possibles (recherches essentiellement sur Internet, mais aussi par le biais de livres à la bibliothèque), et ce dans le but de pouvoir établir un premier plan de travail.

Très vite, nous avons entrevu trois grandes parties essentielles à notre projet : une première partie qui traiterait de la comparaison des ACV du biodiesel et du diesel ; une autre partie qui aborderait parallèlement la comparaison des ACV du bioéthanol et de l'essence et enfin une dernière partie dans laquelle il s'agirait de mesurer les enjeux des agrocarburants pour la planète.

Ces trois grandes parties ont été les fils conducteurs de nos recherches par la suite. Cependant, au fur et à mesure de la rédaction de notre rapport, ces parties ont été plus ou moins modifiées : nous avons par exemple concentré les étapes de transformation du diesel et de l'essence dans une partie commune, celles-ci étant très proches. Nous avons aussi, plutôt que de réaliser une troisième partie à part entière sur les enjeux des agrocarburants, préféré expliquer les impacts environnementaux, énergétiques et économiques de chaque carburant et agrocarburant.

Comme notre projet est de type bibliographique, nous avons pu répartir les tâches de travail. Cela ne signifie pas pour autant que nous avons travaillé durant tout le projet chacun de notre côté : nous avons discuté régulièrement de l'avancée de notre travail. Voici comment s'est réparti le travail durant ce projet :



3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Analyse et Cycle de Vie du gazole.

3.1.1. *Extraction et transformation.*

3.1.1.1. *Première étape : prospection et extraction du pétrole.*

L'exploration pétrolière commence par l'identification d'indices permettant de supposer où se trouve le pétrole et en quelle quantité. La géologie pétrolière ou l'observation de la surface : permet de repérer les zones sédimentaires méritant d'être étudiées. Puis une étude des profondeurs donne le maximum d'informations pour que les forages soient entrepris ensuite avec le maximum de chance de succès. Enfin, l'extraction représente 40 à 60 % du coût total d'un projet, et s'étale sur 2 à 3 ans.

3.1.1.2. *Deuxième étape : le transport.*

Les zones de production étant concentrées géographiquement, elles sont souvent éloignées des zones de consommation vers lesquelles le pétrole devra être acheminé, par voie maritime ou par oléoduc.

3.1.1.3. *Troisième étape : le raffinage.*

Le raffinage du pétrole débute par la distillation, ou fractionnement, du pétrole brut en vue de le séparer en différents groupes d'hydrocarbures*. On transforme ensuite la plupart de ces molécules en modifiant leurs structures physique et moléculaire par craquage, reformage et par d'autres procédés de conversion, puis on soumet les produits obtenus à divers procédés de traitement et de séparation tels que l'extraction, l'hydrocraquage et l'adoucissement pour aboutir aux produits finis.

3.1.2. *Le gazole : quels bilans ?*

3.1.2.1. *Le bilan environnemental.*

Pour les carburants d'origine fossile, les émissions de CO₂ lors de la combustion dépendent de la composition du carburant : elles sont évaluées à 73,25 g/MJ pour le diesel 2010 par l'étude JEC 2007. Ces émissions lors de l'étape « du réservoir à la roue » des carburants fossiles doivent être ajoutées aux émissions de l'étape « du puits au réservoir », pour permettre une comparaison à service rendu identique entre les carburants fossiles et les agrocarburants.

Le tableau suivant issu de l'étude CONCAWE nous présente les émissions de GES à chaque étape du cycle de vie du gazole.



Etapes du cycle de vie	Emissions de GES (gCO ₂ eq/MJ)	
	Quantité	Pourcentage
Extraction du pétrole brut	3,33	4%
Transport du pétrole brut	0,81	1%
Raffinage du pétrole	8,6	10%
Transport des carburants	0,24	0%
Dépôt de carburants	0,11	0%
Distribution des carburants	0,75	1%
Combustion des carburants	73,25	84%
TOTAL	87,09	100%

Document 1 : Emissions de GES au cours du cycle de vie du gazole.
Etude CONCAWE (Source : Rapport final de Bio Intelligence Service, Avril 2008)

L'étude montre que 87,09 gCO₂ eq sont émis lors du cycle de vie d'un MJ carburant.

La contribution de la phase "aval" (utilisation du carburant pour le fonctionnement du véhicule) est prépondérante : sur la totalité du cycle de vie, elle représente environ 85% des consommations d'énergie et des émissions de GES.

La phase « amont » (approvisionnement), en revanche, a plus d'impact sur le bilan global pour les autres polluants : SO_x (84 à 97% pour le diesel), émissions d'hydrocarbures imbrûlés, y compris méthane (86 à 89% pour le diesel).

3.1.2.2. Le bilan énergétique.

Etapes du cycle de vie	Consommation d'énergie fossile (MJ _i /MJ)	
	Quantité	Pourcentage
Extraction du pétrole brut	0,025	2%
Transport du pétrole brut	0,010	1%
Raffinage du pétrole	0,100	9%
Transport des carburants	0,004	0%
Dépôt de carburants	0,002	0%
Distribution des carburants	0,014	1%
Combustion des carburants	1	87%
TOTAL	1,155	100%

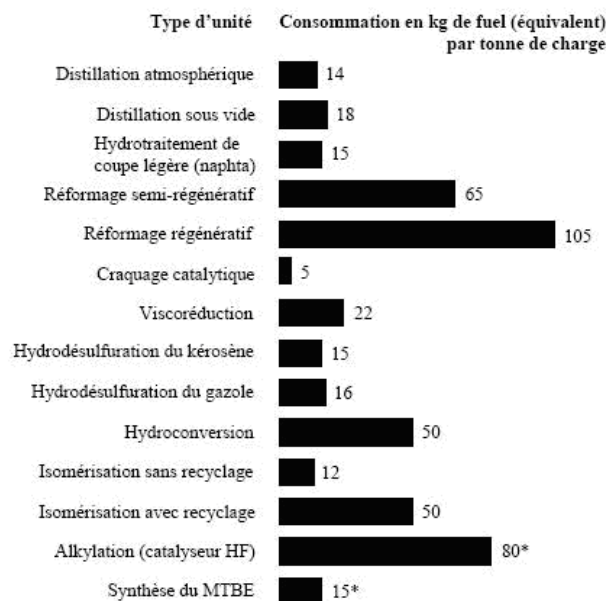
Document 2 : Consommation d'énergie fossile durant le cycle de vie du gazole.
Etude CONCAWE (Source : Rapport final de Bio Intelligence Service, Avril 2008)



Comme pour les émissions de gaz à effet de serre, c'est la combustion des carburants qui consomme le plus d'énergie. Au total, il y a consommation de 1,155 MJ fossile pour le cycle de vie d'un 1 MJ carburant.

Comme l'indique le document 2, le raffinage du pétrole ne représente que 9% de consommation d'énergie fossile. Cependant il faut savoir que certains procédés de raffinage sont plus gourmands en énergie (document 3). La raffinerie peut choisir entre plusieurs opérations pour aboutir au même produit : le gazole. Néanmoins, certains procédés consomment moins d'énergie, le bilan énergétique peut donc fluctuer.

source image : Guibet J-C, Carburants et moteurs. Technologies, énergie et environnement, Édition Technip, Paris, 1997



Document 3 : Consommation énergétique de différents procédés de raffinage.

D'autres paramètres peuvent jouer sur le bilan énergétique, à savoir :

- ✓ La distance de la raffinerie avec le puits de pétrole.

Plus la raffinerie est éloignée du puits, plus il faudra consommer de l'énergie pour amener la matière première au lieu de transformation.

- ✓ Le moyen d'acheminement du pétrole brut à la raffinerie.

Supertankers, oléoducs. Les seconds ont un meilleur rendement énergétique, mais les fuites sont courantes.

- ✓ Le moyen d'acheminement des carburants entre la raffinerie et les lieux de distribution.

Camion-citernes se ravitaillant au dépôt qui jouxte une raffinerie, ou transport du carburant par péniche entre la raffinerie et le dépôt, puis acheminement vers les stations-services par camion. La pollution varie selon le carburant, et selon la région.

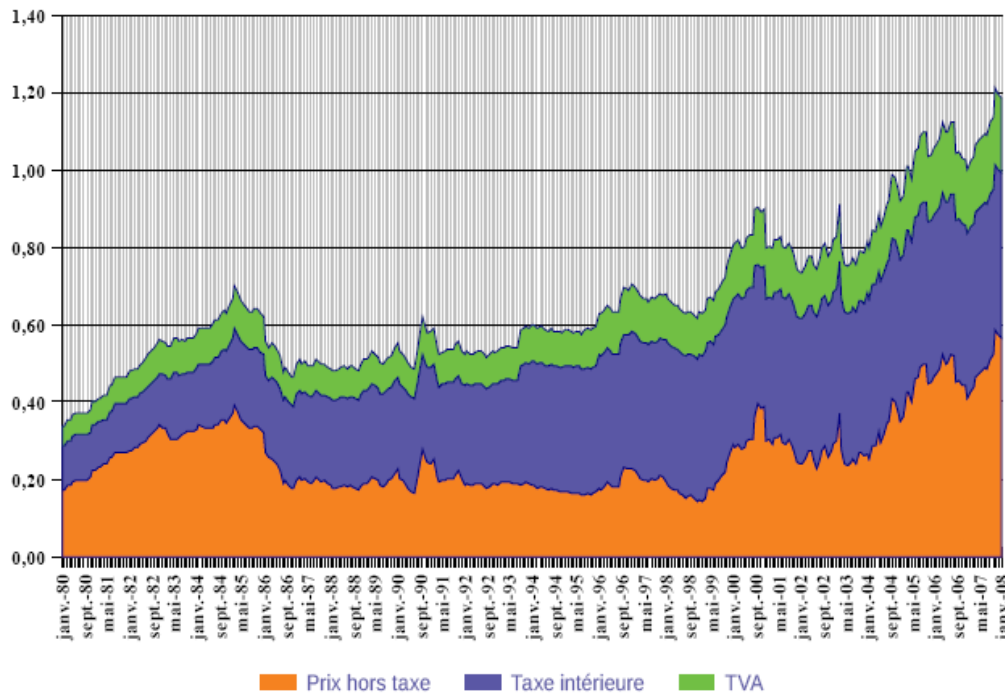


3.1.2.3. Le bilan économique.

La consommation mondiale de pétrole a augmenté de plus de 20 % depuis 1994 et la demande globale devrait continuer à s'accroître de 1,6 % par an, en moyenne, au cours des prochaines années, d'après la Commission européenne.

Le prix du gazole hors TVA est passé de 0,80 € par litre (janvier 2007) à 0,96 € (janvier 2008), soit une hausse de 20 % (document ci-dessous)

Évolution des prix TTC "à la pompe" du litre de gazole en France



Source : www.transports.equipement.gouv.fr

Ce graphique reflète une augmentation conséquente du prix du gazole, celui-ci a même connu un prix historiquement haut l'été dernier. Cette situation s'explique par la diésélisation du parc automobile. De plus il faut savoir qu'un euro fort affecte gravement le prix de revient du gazole.

En effet, le prix de revient du gazole est intimement lié aux fluctuations du dollar face à l'euro. Un cours du gazole à 550 \$ avec une parité égale entre l'euro et le dollar amènerait le coût de revient du gazole à 0,44 € par litre. Et avec un dollar à 1,30 €, son prix de revient devrait être de l'ordre de 0,34 €.

3.2. Analyse et Cycle de Vie de l'essence.

Afin de réaliser une analyse de cycle de vie nous allons considérer les étapes suivantes : l'extraction, le transport (entre le lieu d'extraction et la raffinerie, entre la raffinerie et le point de distribution), le raffinage, la distribution et l'utilisation. Nous verrons ensuite les bilans environnementaux, énergétiques et économiques.

3.2.1 La transformation.

L'essence que nous consommons a subi beaucoup de modifications avant d'être propre à la consommation. La première étape consiste à extraire le pétrole, le transporter et le raffiner. Cependant, ces étapes sont très similaires à celles du gazole, c'est pourquoi cette partie ne sera pas détaillée.



3.2.2 L'essence : quels bilans ?

Après avoir vu les différentes étapes de production de l'essence nous allons nous intéresser au bilan environnemental puis au bilan énergétique et enfin au bilan économique.

3.2.2.1. Le bilan environnemental.

Chaque étape, de l'extraction à l'utilisation, contribue à part différente dans le bilan environnemental « du puits à la roue ». De plus la combustion de l'essence entraîne le rejet de polluant et de gaz à effet de serre, ceux ci dépendent de la composition et de la qualité du carburant. D'après l'étude CONCAWE la combustion dans un moteur de voiture rejette 73,38g de CO₂ éq/MJ des émissions de gaz à effets de serre dans le bilan « du puits à la roue ». De plus il faut noter que l'étude JEC 2007 montre que ces chiffres peuvent varier à hauteur de 5% au maximum. Le tableau, ci après, montre les résultats obtenus par l'étude CONCAWE pour les émissions de gaz à effet de serre à chaque étape du cycle de vie de l'essence.

Étapes du cycle de vie	Emissions de GES (gCO ₂ eq/MJ)	
Extraction du pétrole brut	3,33	4%
Transport du pétrole brut	0,81	1%
Raffinage du pétrole	6,5	8%
Transport des carburants	0,24	0%
Dépôt des carburants	0,11	0%
Distribution des carburants	0,75	1%
Combustion des carburants	73,38	86%
TOTAL	85,12	100%

Document 4 : Emissions de GES au cours du cycle de vie de l'essence.

Etude CONCAWE (Source : Rapport final de Bio Intelligence Service, Avril 2008)

D'après le tableau la phase « amont », c'est à dire : l'extraction, le transport, le raffinage et la distribution, ne représente que 14% des émissions de gaz à effet de serre. Mais, comme pour le gazole, d'autres polluants sont à prendre en compte dans cette phase comme les émissions de SO_x mais aussi les hydrocarbures imbrulés.

Tandis que la phase « aval », à savoir la combustion dans le moteur, contribue à 86% aux rejets de GES. Cette étape est prépondérante dans le cycle de vie de l'essence.

De plus, l'utilisation des oléoducs pour le transport du pétrole brut occasionne des fuites et pollue l'environnement, c'est donc un autre facteur à prendre en compte.

3.2.2.2. Le bilan énergétique.

En nous appuyant sur les chiffres publiés par le rapport CONCAWE on constate également que c'est la combustion de l'essence qui consomme le plus d'énergie, elle représente 88% de la part de consommation totale d'énergie. Le document 5 nous donne un total de 1,135 MJ d'énergie fossile pour un cycle de un MJ de carburant.



Le document suivant montre que la phase « amont » représente 11% des consommations d'énergie. Le raffinage contribue à 7% au total c'est l'étape la plus consommatrice de la phase « amont ». Il faut toutefois noter que ce bilan peut changer en fonction des procédés utilisés à la production de l'essence.

Etapes du cycle de vie	Consommation d'énergie fossile(MJ _f /MJ)	
Extraction du pétrole brut	0,025	2%
Transport du pétrole brut	0,010	1%
Raffinage du pétrole	0,080	7%
Transport des carburants	0,004	0%
Dépôt des carburants	0,002	0%
Distribution des carburants	0,014	1%
Combustion des carburants	1	88%
TOTAL	1,135	100%

Document 5 : Consommation d'énergie fossile au cours du cycle de vie de l'essence.

Etude CONCAWE (Source : Rapport final de Bio Intelligence Service, Avril 2008)

Enfin le ratio « énergie produite / énergie non renouvelable consommé » varie également suivant les critères suivants :

- ✓ Moyens d'acheminement du pétrole brut :

Les oléoducs sont moins consommateurs en énergie que les navires mais les fuites sont plus courantes que les marées noires.

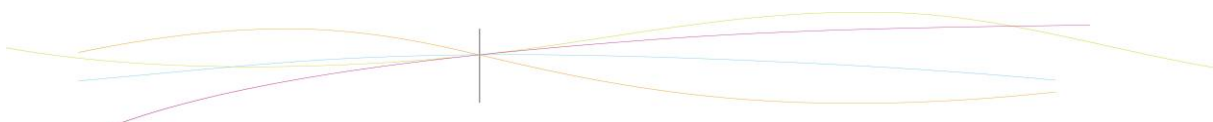
- ✓ Distance entre le puits de pétrole et la raffinerie :

Plus le puits est éloigné de la raffinerie plus il faudra dépenser d'énergie pour acheminer le pétrole brut à son lieu de traitement.

- ✓ Moyen d'acheminement, distance entre la raffinerie et les lieux de distributions :

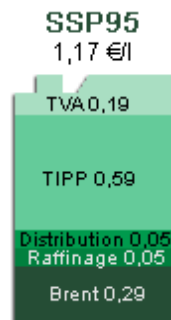
L'utilisation des camions citernes qui s'approvisionnent au dépôt jouxtant la raffinerie (en général) pour ensuite livrer l'essence aux lieux de distributions. Le transport entre la raffinerie et le dépôt dans le cas où ils ne sont pas côte à côte, est effectué par des péniches dont le ratio est meilleur que celui des camions citernes.

Néanmoins on constate que les études de l'ADEME/DIREM et CONCAWE convergent vers un même ratio énergétique qui est de 0,88.



3.2.2.3. Le bilan économique.

Le prix de l'essence est indexé sur les fluctuations du prix du baril de pétrole. Celui-ci peut alors varier à la hausse ou à la baisse suivant l'offre et la demande, les crises politiques ou les guerres, entraînant une hausse du prix. On a pu constater l'été dernier à quel point le pétrole pouvait augmenter, il a atteint son prix historique, puis diminué d'un coup pour revenir à un cours plus « normal ». Comme on peut le voir dans le document 6, les taxes représentent 66,67% du prix total à la pompe, le prix du brut contribue à 24,8%. Enfin le raffinage et la distribution représente 4,27% du prix total de l'essence.

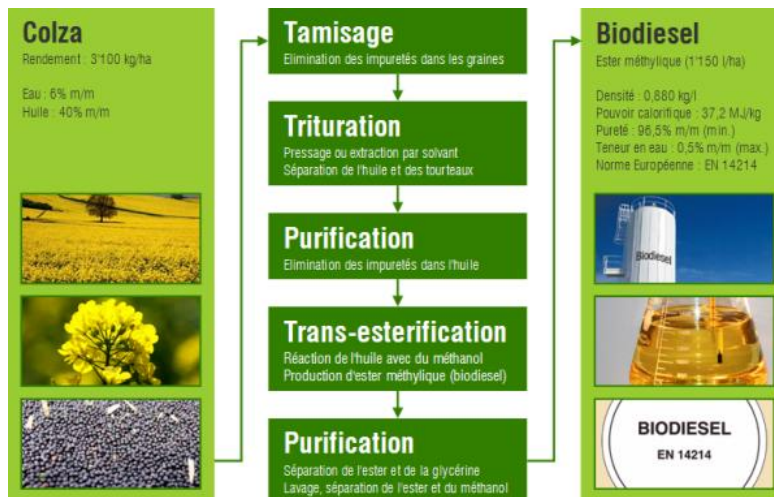


Document 6 : Exemple de la répartition du prix de l'essence.

3.3. Analyse et Cycle de Vie du biodiesel.

Rouen Grand-Couronne en Haute-Normandie est aujourd'hui l'une des plus grosses unités de production de biodiesel, à partir essentiellement de biodiesel de colza. C'est pourquoi, nous nous intéressons principalement à la filière colza dans cette étude.

3.3.1. Etapes de fabrication du biodiesel.



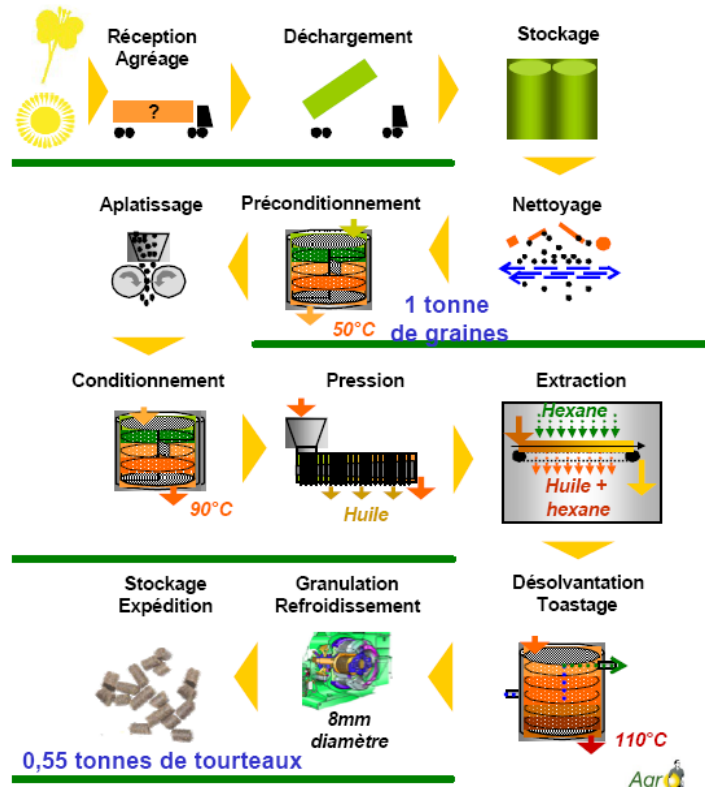
Après avoir récolté et transporté les graines de colza jusqu'à l'usine de fabrication, différentes étapes se succèdent.

- ✓ Le tamisage.

Tout d'abord, le tamisage a lieu. Cette technique permet d'affiner la taille des graines des poudres obtenues après broyage, qui s'effectue sous haute température. La trituration.



Après l'étape du tamisage, vient celle de la trituration. Cette étape se décompose comme suit dans le schéma :



Voici une définition de certaines étapes de la trituration :

- ✓ Le toastage consiste à chauffer les graines par injection de vapeur (cuisson humide) entre 110 et 130°C pendant 30 minutes.
- ✓ La désolvantaion permet de retirer le solvant du produit.

La granulation consiste en la réduction en petits grains de graines plus grosses.

- ✓ La première purification.

Après ces deux étapes, une purification a lieu, effectuant l'élimination des impuretés dans l'huile.

- ✓ La trans-estérification.

La réaction de trans-estérification transforme un ester et un alcool en un autre ester et autre alcool. Un acide ou une base est souvent utilisé comme catalyseur.

- ✓ La seconde purification.

Cette dernière étape de la fabrication consiste en la séparation de l'ester (obtenu précédemment) et de la glycérine, un lavage ainsi que la séparation de l'ester et du méthanol.

3.3.2. Les différents types de biodiesel.

Les différents types de biodiesel sont produits comme décrit précédemment à quelques détails près. Ce sont ces détails qui sont présentés ici :



- ✓ Biodiesel de colza et de soja.

Les procédés de transformation des huiles de colza et de soja en biodiesel ne présentent pas de particularités par rapport à la présentation faite précédemment.

- ✓ Biodiesel de tournesol.

L'huile de tournesol contient des cires qui doivent être éliminées lors d'une étape de wintérisation effectuée avant l'étape d'estérification.

- ✓ Biodiesel de palme.

Les usines d'extraction d'huile de palme sont autonomes en énergie : une unité de cogénération est alimentée par les résidus des fruits de la palme issus de l'étape d'extraction de l'huile.

3.3.3. Les coproduits.

Les filières agrocarburant ne génèrent pas uniquement du bioéthanol ou du biodiesel, mais elles génèrent aussi des coproduits. Selon leur nature, ces coproduits peuvent être valorisés en engrais, en alimentation animale, en combustible ou dans l'industrie. La valorisation des coproduits et les produits auxquels ils se substituent sont des paramètres importants pour évaluer les bilans environnementaux des agrocarburants.

- ✓ Coproduits valorisés en épandage agricole.

Ce sont les résidus de cultures laissés sur les champs après la récolte. Par exemple : des nutriments (azote, phosphore, potassium) bénéficient aux cultures suivantes, ce qui permet une économie d'épandage d'engrais.

- ✓ Coproduits valorisés en alimentation animale et dans l'industrie.

- La glycérine : c'est un alcool qui représente 10% en masse de la production d'EMHV. C'est dire l'importance du marché de ce coproduit sur la rentabilité économique de la filière (valorisée à des cours compris entre 400 et 800€/t).
- Le tourteau : pâte obtenue après avoir pressé les graines et extrait l'huile. Il peut avoir plusieurs applications dont l'alimentation du bétail. C'est un excellent engrais, pouvant être réutilisé dans les plantations.

LES COPRODUITS ISSUS DES DIFFÉRENTES FILIÈRES DE PRODUCTION			
FILIÈRES	CULTURES	COPRODUITS	UTILISATION
Biodiesel	Soja, tournesol et colza	Tourteaux	Alimentation animale
		Huiles acides	Industrie
		Glycérine	Industrie, alimentation animale
	Palmier à huile	Tourteaux	Alimentation animale

Document 7 : Coproduits obtenus grâce à la filière biodiesel et leur utilisation.

Source : Étude de la Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme et du Réseau Action Climat – France



- ✓ Coproduits valorisés en énergie.

La bagasse issue à l'étape d'extraction du jus de canne, et les résidus des fruits de palme provenant de l'extraction de l'huile de palme. Elle est utilisée comme source d'énergie pour alimenter l'usine. Cependant ceci ne rentre pas dans le cas de la Haute-Normandie.

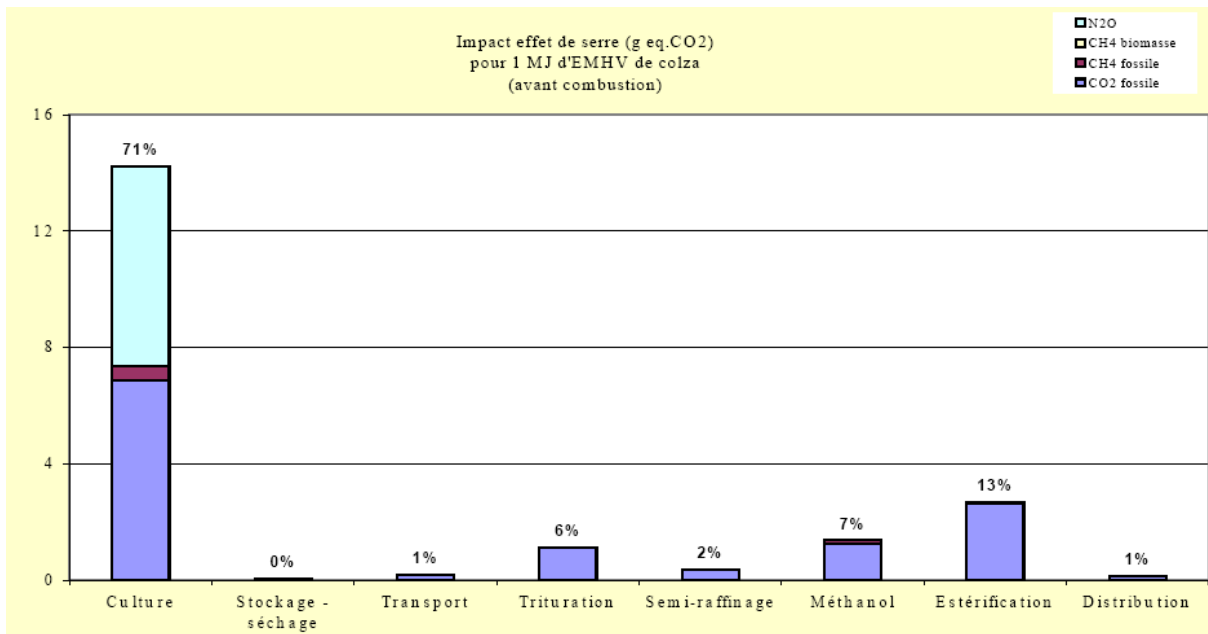
3.3.4. Le biodiesel : quels bilans ?

La diminution des ressources en pétrole, leur prix élevé ainsi que leurs conséquences néfastes sur l'environnement ont poussé à rechercher de nouvelles sources d'énergie idéalement moins onéreuses, plus abondantes et plus respectueuses de l'environnement. Ce sont donc les sujets qui vont être traités dans les paragraphes suivants.

3.3.4.1. Le bilan environnemental.

Nous allons nous intéresser, tout d'abord, dans ce paragraphe à l'aspect environnemental de la production du biodiesel.

En effet, le document 8 nous expose l'impact des gaz à effet de serre pour le cycle de vie d'un MJ de biodiesel avant combustion.



Document 8 : Impact effet de serre (geq CO2) pour 1MJ d'EMHV de colza(avant combustion) Source ADEME DIREM 2002

De ce diagramme on peut constater que c'est l'étape de culture qui dégage le plus de GES avec 71% des émissions totales. Cette étape dégage donc près de 14 grammes de CO₂ équivalents dont 50% revient au CO₂, 46% au N₂O et 0,4% au CH₄.

Il est aussi à noter que le CO₂ est le gaz le plus dégagé avec presque 70% des émissions, toutes étapes confondues.

Le tableau suivant nous montre que si l'on prend en compte la réutilisation des coproduits dans l'alimentation animale l'efficacité énergétique augmente sensiblement de 1,66 à 2,23 (soit une augmentation de 34%) ainsi que l'indicateur effet de serre diminue de moitié. Par conséquent la prise en compte des coproduits dans l'analyse de cycle de vie est en faveur du biodiesel au niveau environnemental.



Il est à noter que les émissions de GES présentés dans ce tableau comprennent l'étape de combustion.

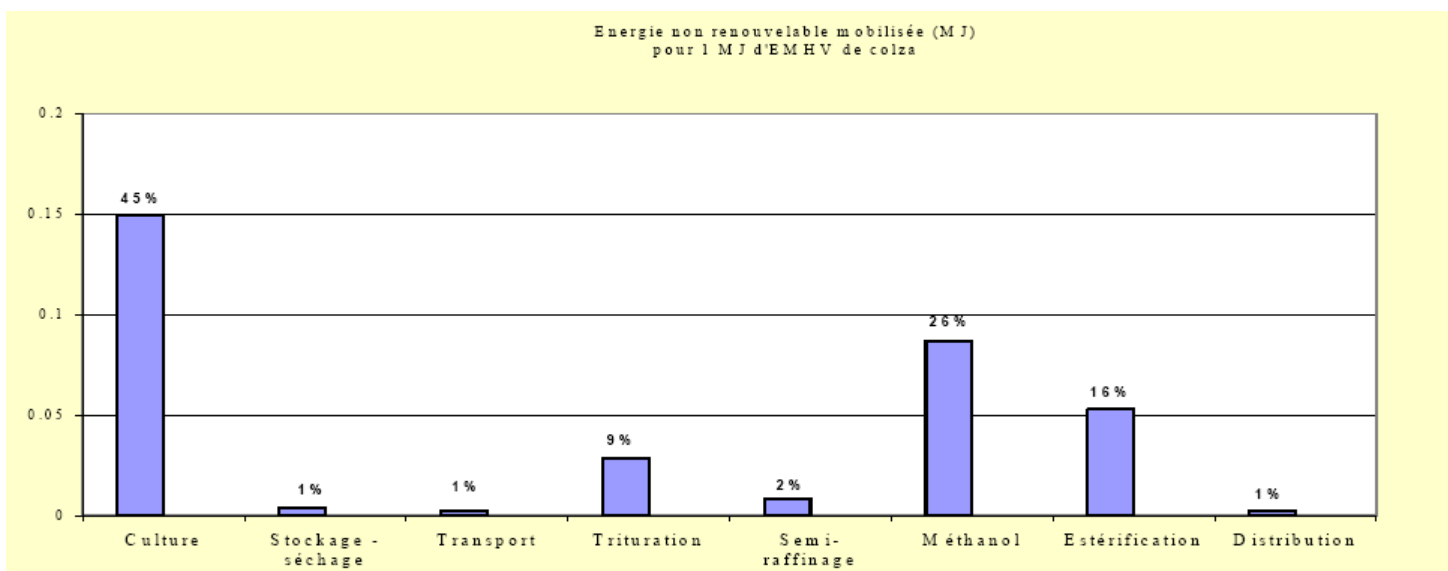
AGROCARBURANT	Coût énergétique et indicateur effet de serre de la production d'1 M.J. d'agrocarburant	Bilans nets compte tenu des économies générées par l'utilisation en alimentation animale des coproduits
ESTER METHYLIQUE D'HUILE DE COLZA (DIESTER)	0,60 MJ (EE = 1,66) 49,6 à 63,2 g éq CO ² /MJ	EE = 2,23 Indicateur effet de serre environ 25,8 g éq CO ² /MJ

Document 9 : Estimation des bilans énergétiques et effet de serre de l'EMHV de colza aujourd'hui produits en France. Source : ADEME/DIREM 2002

3.3.4.2. Le bilan énergétique.

Intéressons nous ensuite à l'aspect énergétique du biodiesel. En effet, pour que cet agrocarburant soit intéressant, l'énergie totale mobilisée pour sa production doit être inférieure à l'énergie produite.

Le document 10 nous montre la quantité d'énergie non renouvelable mobilisée en MJ (mégajoules) pour un MJ d'EMVH de colza produit et cela en fonction des différentes étapes de production de ce biodiesel.



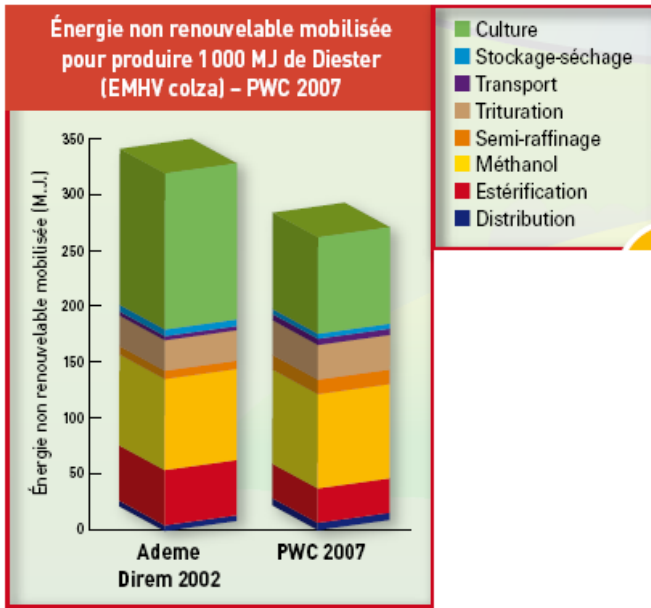
Document 10 : Energie non renouvelable mobilisée (MJ) pour 1 MJ d'EMHV de colza.

Source ADEME DIREM 2002

Energie non renouvelable mobilisée par MJ	MJ/MJ	0,334
Energie non renouvelable mobilisée par kg	MJ/kg	12,5
Energie restituée/ Energie non renouvelable mobilisée		2,99

Après analyse de cet histogramme l'on remarque donc que l'énergie non renouvelable mobilisée pour la production d'un MJ de biodiesel est égale à 0,334 MJ soit un ratio énergétique de 2,99. Donc, ce ratio de 2,99 atteste bien le fait que l'énergie utilisée pour la production du biodiesel est bien inférieure à l'énergie produite donc, a priori, d'un point de vue purement énergétique, la fabrication de biodiesel est rentable.





Cette nouvelle figure nous expose la comparaison entre l'étude précédente et l'étude PWC 2007. Aussi, il est aisé de constater que ces études sont très semblables. En effet, selon l'étude PWC 2007, l'énergie non renouvelable mobilisée pour produire 1000 MJ de biodiesel est d'environ 290 MJ soit un ratio énergétique de 3,44 : qui est néanmoins plus élevé que le ratio calculé par l'ADEME en 2002. Ces ratios affichent 16% de différence, mais la production de biodiesel paraît rentable, d'un point de vue énergétique.

3.3.4.3. Le bilan économique.

Enfin, nous allons traiter maintenant de la dimension économique de la production de biodiesel.

Aussi, est-il légitime de se demander combien coûte un litre de biodiesel, combien de tonnes produit un hectare de culture ...

Agrocarburant	Production brute par hectare	Efficacité énergétique nette	Production nette par hectare (en TEP/ha)
Ester Méthylique d'Huile de Colza	1370 kg d'EMHV/ha	2,23	0,67 TEP/ha*

Document 11 : Estimation de la productivité par hectare des agrocarburants aujourd'hui produits en France. Source : rapport de Patrick Sadones-EDEN

La figure ci-dessus nous donne quelques données intéressantes comme les productions brutes et nettes par hectare de culture.

Le prix de revient du biodiesel est très influencé par le prix des ressources agricoles. En effet, les coûts de transformation ne représentent qu'une petite partie du prix de revient du biodiesel.

Etant donné la forte influence du prix des huiles sur le prix de revient du biodiesel, les producteurs s'attachent à observer les cours de celles-ci. Fin mars 2005 le prix d'une tonne d'huile de colza en Europe atteignait 660 \$ et le prix d'une tonne d'huile de soja à Chicago était coté 505 \$ la tonne.

On peut donc en déduire que l'huile de colza participe à hauteur de 0,58 \$ dans le prix de revient du biodiesel alors que l'huile de soja pour sa part ne coûte que 0,44 \$ par litre équivalent diesel.

Ce qui donne actuellement, d'après les informations données ci-dessus, un prix de revient du biodiesel d'environ 0,63 \$ par litre équivalent diesel en Europe contre environ 0,68 \$ aux Etats-Unis.



D'après Prolea, la filière française des huiles et protéines végétales, d'autres données sont à prendre à compte. Tout d'abord un supplément de 23 € par tonne d'huile de logistique en amont et 30 € par tonne en aval. Ensuite, il convient de rajouter 30 € par tonne pour le raffinage de l'huile puis 116 € par tonne pour la transformer.

Poste budgétaire	En € par litre
Coût de la Matière première	0,39
Dont huile de colza	0,46
Et valorisation des co-produits	0,07
Coût de production	0,14
Coût de logistique	0,05
Coût de revient	0,58
Coût de revient en litre équivalent diesel	0,67

Document 12 : Postes budgétaires pour la production de biodiesel Source : PROLEA
Avec une base de 512€ la tonne d'huile.

Le prix de revient du biodiesel se situerait donc actuellement aux alentours de 0,67 € par litre équivalent diesel soit 0,17 € de plus que l'étude réalisée par l'IEA (euro/dol à 1,30 en mars 2005).

A terme les gains espérés par les avancées technologiques sont très incertains, car les nouvelles technologies employées pour l'instant révèlent des coûts très élevés.

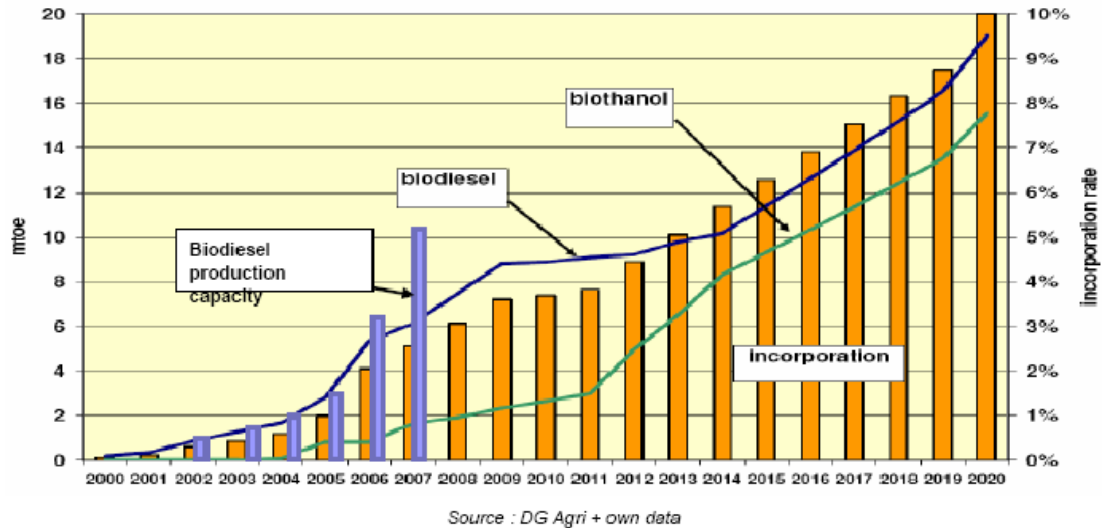
De plus, s'il y a effectivement la réalisation d'économie, celle-ci se trouvera amputée par la baisse du prix de la glycérine.

Cependant, l'utilisation d'huiles usagées offre un potentiel d'évolution intéressant car étant donné que la fourniture en matière première occupe le premier poste budgétaire, celle-ci peut largement contribuer à baisser le prix de revient moyen du biodiesel.

En effet, celle-ci peut être récupérée gratuitement voire payée par les industries pour s'en débarrasser. Des organisations de récupération d'huiles usagées devraient d'ailleurs se mettre en place. Le coût de revient de ce procédé reste cher étant donné les faibles quantités et le supplément de coût de traitement.

A la question de l'évolution du coût d'un litre de biodiesel, la figure suivante apporte plusieurs éléments de réponse. En effet, ce document est un graphique représentant la production de agrocarburants (biodiesel, bioéthanol), la demande en agrocarburants et cela en fonction du taux d'incorporation de ces agrocarburants dans les moteurs.





Document 13 : Demande et production des agrocarburants en fonction du taux d'incorporation dans le moteur

On voit donc à travers ce graphique que le prix dépendra de l'équilibre entre l'offre et la demande. En effet, la surcapacité sera présente au moins jusqu'en 2012, année où la demande sera plus forte que l'offre.

3.4. Analyse et Cycle de Vie du bioéthanol.

La France a depuis quelques années pris pleinement conscience de son potentiel de production d'éthanol, elle est même aujourd'hui le premier producteur mondial de bioéthanol de betterave.

La région Haute-Normandie participe pleinement à ce dynamisme français de production d'éthanol : en 2006, et sous l'initiative de Siplec*, la région a servi de test national pour l'éthanol de blé (200 stations de grande distribution en Normandie incorpore 5% d'éthanol pur dans l'essence sans plomb).

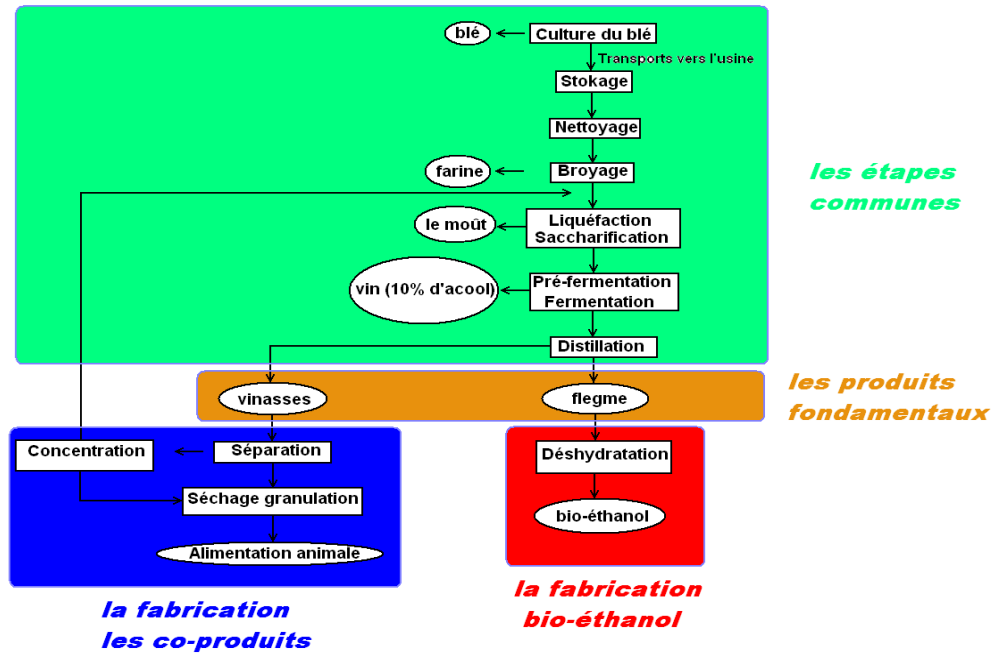
En Normandie, l'éthanol est donc essentiellement produit à partir de blé. L'industrie la plus importante de Normandie pour la production d'éthanol de blé se situe à Lillebonne, où l'on y transforme chaque année près de 820 000 tonnes de blé pour produire 300 000 m³ d'éthanol et 300 000 tonnes de drèches animales.

3.4.1. Etapes de fabrication du bioéthanol.

Pour le reste de cette partie sur le bioéthanol, nous allons essentiellement nous concentrer sur celui issu du blé, pour être plus proche de la réalité de la région Normande.

Nous avons réalisé ci-dessous (document 14) les principales étapes du processus de fabrication du bioéthanol issu du blé :





Document 14 : Processus de fabrication du bioéthanol issu du blé.

Une fois le blé récolté, celui-ci sera transporté par camions et barges vers l’usine qui va d’abord le **nettoyer** puis le **stocker** dans des silos (à Lillebonne, la capacité de stockage d’un silo est de 50 000 tonnes).

Après un nouveau nettoyage, le blé va ensuite être **broyé** pour donner de la farine. Celle-ci subit une **liquéfaction** et une **saccharification*** qui va donner le moût.

La **fermentation** du moût donne du vin dont le degré est environ de 10° d’alcool. Cet alcool sera extrait grâce à une **distillation** du vin : la **flegme** (alcool brut) et la **vinasse** (90% d’eau) seront les produits obtenus.

Pour obtenir le bioéthanol, on réalise pour finir une **déshydratation** du flegme.

Une tonne de blé permettra de produire environ 370 litres de bioéthanol et environ 350 kilos de coproduits.

Trois types de coproduits sont obtenus lors de la fabrication du bioéthanol issu du blé (aussi bien durant la culture que pendant la transformation) :

- ✓ De la *paille* sera valorisée en épandage agricole : une partie sera enfouie et une autre exploitée. La partie exploitée sera essentiellement utilisée pour la litière des animaux puis servira de fumier pour faire des engrais ;
- ✓ Des *solubles concentrés* et des *drèches** serviront pour l’alimentation animale (valorisation en alimentation animale) ;
- ✓ Le *biogaz* est issu du traitement des eaux usées des usines d’éthanol, lorsqu’une station d’épuration prévue à cet effet est intégrée à l’usine. Le biogaz est consommé sur place pour la production de vapeur, et vient réduire les besoins en combustibles fossiles de l’usine. Le coproduit biogaz est donc valorisé en énergie.



3.4.2. Bioéthanol : quels bilans ?

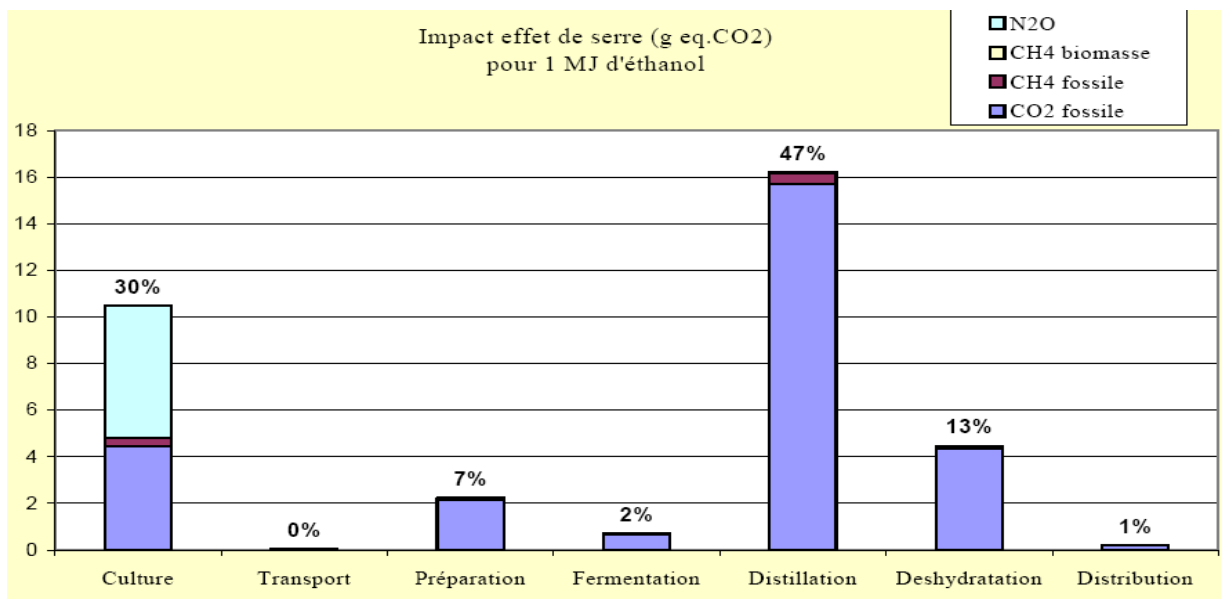
3.4.2.1. Le bilan environnemental.

Le bioéthanol est issu de la transformation de matières premières agricoles. Grâce à la photosynthèse*, les plantes fixent le gaz carbonique (CO₂) de l'air lors de leur croissance. Le carbone du bioéthanol provient donc de l'atmosphère. Ce carbone est réémis dans l'air lors de la combustion du bioéthanol et n'augmente pas le stock de carbone dans l'air. Ce cycle est neutre pour l'effet de serre. En revanche, il y a des émissions additionnelles de gaz à effet de serre lors des étapes agricoles et de fabrication du bioéthanol.

Avec quelques années de recul depuis le lancement des agrocarburants, les experts ont pu démontrer de nombreux aspects négatifs sur l'environnement lors de la production de agrocarburant : eutrophisation des eaux (dues à l'utilisation des engrais et émissions de NH₃), création de déchets radioactifs, acidification des terres, consommation d'eau, de combustibles...).

Mais beaucoup de ces impacts environnementaux sont dus à la culture de biomasse, et il serait peu intéressant de les analyser tous. Le vrai seul impact dont nous allons faire l'analyse est la participation à l'effet de serre.

Le document 15 analyse les étapes qui émettent des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) pour la production d'un MJ d'éthanol de blé.



Document 15 : Gaz à effet de serre émis lors des différentes étapes.
Rapport de l'ADEME, 2002.

Comme mentionné sur le graphique, c'est l'étape de distillation qui influe le plus dans le bilan environnemental avec près de la moitié des émissions totales : cette étape dégage près de 16 grammes de CO₂ équivalents (15,5 g de CO₂ fossiles et 0,5 g de NH₄ fossiles).

L'étape de culture implique aussi un impact sur l'environnement très négatif puisque 30% des émissions de gaz à effet de serre seraient émises durant la culture du blé : la culture pour la production d'un MJ d'éthanol de blé émet un peu plus de 10 grammes de CO₂ équivalents (environ 4g de CO₂ fossiles ; 5,5g de N₂O et 0,5g de NH₄ fossiles). Rappelons



tout de même que toute culture -pas seulement celles dans le but de produire du agrocarburant- produisent des gaz à effet de serre.

On remarque aussi que le principal gaz à effet de serre émis lors de la production d'éthanol de blé est le CO₂, qui représente près de 85% des gaz à effet de serre émis.

De manière plus générale, l'éthanol produit à partir du blé permet une diminution de près de 60% des gaz à effet de serre produit par rapport à la filière essence selon le rapport de l'ADEME de 2002, ce qui semble fort intéressant pour la protection de l'environnement.

3.4.2.2. Bilan énergétique.

Regroupons tout d'abord les quatre étapes qui nous serviront pour l'Analyse de Cycle de Vie :

- ✓ La culture du blé.
- ✓ Le transport vers l'usine.
- ✓ La transformation.
- ✓ La distribution

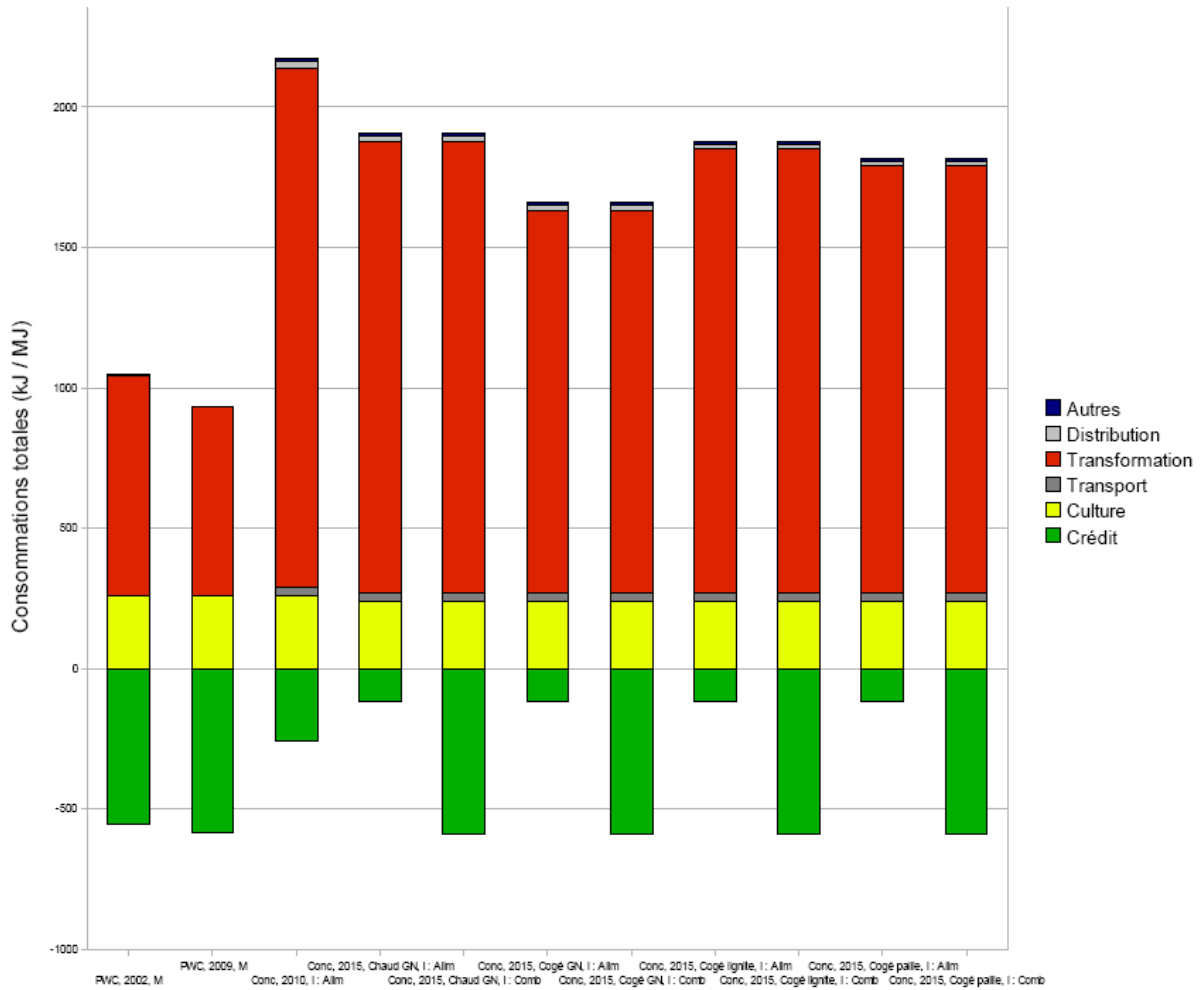
Le document 16 nous permet d'avoir une vue générale de l'énergie totale consommée par étape. Rappelons que ces analyses traitent toutes de l'éthanol issu du blé en Europe.

Malgré des différences sensibles entre les sources, on peut remarquer que l'étape de transformation est l'étape qui consomme le plus d'énergie (variant entre une consommation de 72 à 85% de l'énergie totale). La consommation totale en KJ pour la production d'un MJ de bioéthanol peut être atténué par l'utilisation de crédit (c'est à dire l'utilisation de coproduits) : la prise en compte de l'utilisation des coproduits peut diminuer la consommation totale de près de 600 KJ/MJ.

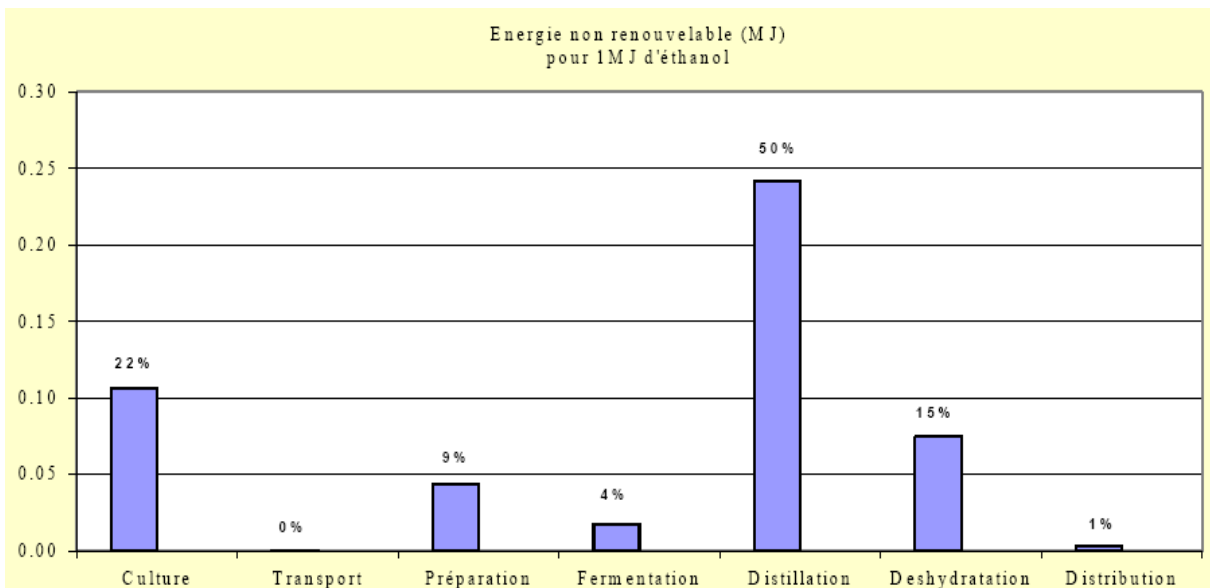
La distribution du bioéthanol et le transport du blé vers l'industrie de transformation ne représentent à eux deux que 3% dans le bilan énergétique final ; alors que l'étape de culture compte pour 12 à 28%.

L'étape de transformation (nettoyage, liquéfaction, saccharification) est l'étape qui requiert le plus d'énergie : par conséquent pour un bilan énergétique encore meilleur, cette étape doit être améliorée. Une grande partie de la recherche se concentre aujourd'hui sur ce défi. Le document 17 nous montre ensuite que la distillation est l'étape du processus de transformation qui demande le plus d'énergie.





Document 16 : Représentation de l'énergie consommée par étape.
Source : Rapport des Mines de Paris, 2008



Document 17: Energie renouvelable consommée lors des étapes du processus de transformation.

Source : Rapport de l'ADEME, 2002



En conclusion de cette analyse du bilan énergétique du bioéthanol de blé, il est intéressant de comparer le ratio énergétique de ce type de bioéthanol avec celui de la filière essence : l'énergie non renouvelable mobilisée pour la production d'un MJ de bioéthanol de blé est égale 0.489 MJ soit un ratio énergétique de 2,05 (document 18). Ce ratio montre bien à quel point cet agrocarburant peut être intéressant au niveau énergétique.

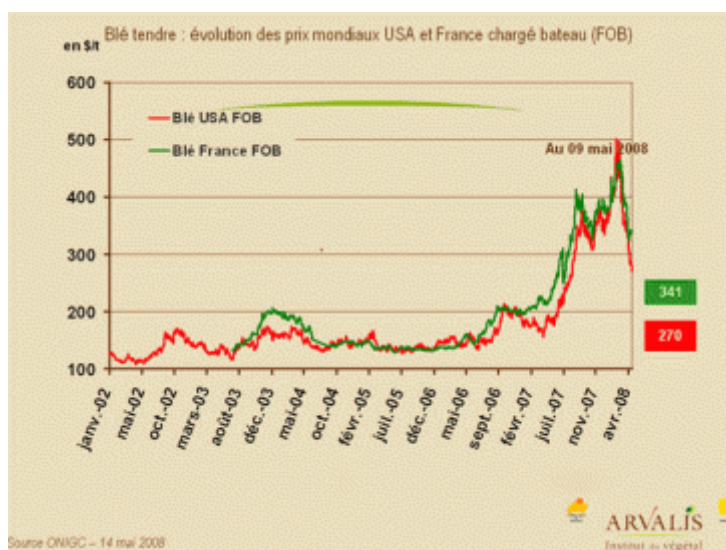
Energie non renouvelable mobilisée par MJ	0.489
Energie non renouvelable mobilisée par kg	13.1
Energie restituée/ Energie non renouvelable mobilisée	2.05

Document 18 : Rendement énergétique du bioéthanol.

Source : rapport de l'ADEME, 2002

3.4.2.3. Bilan économique.

Le prix du blé sur le marché économique mondial joue un rôle essentiel dans l'analyse du bilan économique du bioéthanol de blé. Alors que le blé est aujourd'hui la première céréale cultivée en termes de surface et la première céréale échangée sur le marché mondial, son prix a flambé depuis 2006. Entre 2006 et 2008, son prix a même doublé, passant de 105 € la tonne à 200 € la tonne sur le marché mondial.



Document 19: Evolution des prix mondiaux du blé (France et USA) en dollars par tonne.

Source : ONIGC, Mai 2008

En septembre 2006, le ministre de l'économie a annoncé un « plan bioéthanol » : des centaines de stations en France vendront du bioéthanol E85 (85% d'éthanol, 15% d'essence) au prix avoisinant les 0.80 €/L. A première vue, cela semble extrêmement intéressant pour les consommateurs puisque le prix de l'essence à la pompe est souvent proche du double de ce prix. Cependant, il faut savoir que le pouvoir énergétique d'un litre de bioéthanol est 30% moins élevé que celui de l'essence.

Des experts ont aussi montré que pour parcourir la même distance, il faudra 40% d'éthanol en plus : au final l'équivalent en énergie d'un litre d'essence coûtera environ 1,05 €/L.



Les producteurs d'éthanol ont annoncé un prix de revient d'environ 0,52 €/L d'éthanol. Pour que les producteurs d'éthanol soient rémunérés comme ils le demandent, il faut que le bioéthanol soit exonéré partiellement des taxes intérieures sur la consommation (TIC).

En novembre 2007, cette taxe est justement passée de 0,33€/L à 0,27€/L au grand mécontentement des producteurs.

Il est certain que la filière bioéthanol restera compétitive économiquement à condition d'exonérer fiscalement les producteurs. Si cette exonération venait à disparaître, il est certain que le prix à la pompe repoussera les consommateurs, et que même les producteurs perdraient à produire de l'éthanol.

3.4.3. Etude des autres filières dans le monde.

L'éthanol de betterave offre aussi un certain avantage énergétique puisque son ratio énergétique est comme pour le bioéthanol de blé de 2,05.

Pour les agrocarburants qui sont incorporés directement avec de l'essence (E85 et E5), le bilan énergétique reste donc assez positif.

En revanche, lorsque l'éthanol est incorporé sous forme de ETBE¹, les bilans sont nettement moins intéressants par rapport à la filière essence. En effet, le ratio énergétique des filières ETBE avoisine les 1,02 de moyenne.

3.5. Etude comparative entre les carburants fossiles et les agrocarburants.

3.5.1. Comparaison entre le biodiesel et le gazole.

3.5.1.1. Comparaison sur le plan environnemental.

- ✓ Les Gaz à Effets de Serre (GES).

En 2002, le bilan énergétique et gaz à effet de serre (GES), réalisé par le cabinet PriceWaterhouseCoopers (PWC) à la demande de l'ADEME et de la DIREM, conclut que le Diester réduit de 74 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport au gazole auquel il se substitue, et qu'il restitue trois fois plus d'énergie que l'énergie non renouvelable nécessaire à sa production.

Étude	Gazole	Diester	
		EMHV Colza	EMHV Tournesol
INDICATEUR EFFET DE SERRE PAR MJ <i>[g eq.CO2/MJ] = grammes de CO₂ émis par unité d'énergie [1 mégajoule]</i>			
Ademe Direm 2002	79,3	23,7	20,1
PWC 2007	80,7	21,8	16,0
INDICATEUR EFFET DE SERRE PAR KG. <i>[g eq.CO2/kg] = grammes de CO₂ émis par un kg de carburant sur son cycle de vie</i>			
Ademe Direm 2002	3390	888	745
PWC 2007	3454	814	597

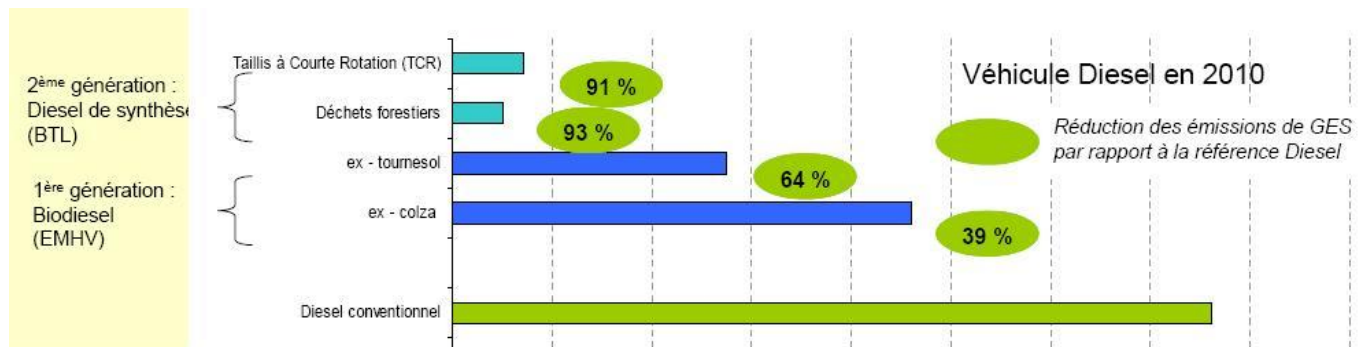
⁽¹⁾ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. ⁽²⁾ Direction des ressources énergétiques et minérales. ⁽³⁾ PriceWaterhouseCoopers.

¹ L'ETBE est un carburant obtenu par une synthèse chimique effectuant l'addition catalytique d'éthanol sur l'isobutène. Il peut être incorporé jusqu'à 15% en volume dans l'essence.



L'Écobilan 2007 réalisé par PWC révèle que le biodiesel de colza émet 3,7 fois moins de gaz à effet de serre que le gazole et chaque tonne de biodiesel consommée permet d'éviter le rejet de 2,64 tonnes d'équivalent CO₂.

Cette étude est donc en accord avec le document 21, ci-dessous, cependant d'après le « WTW report » il n'y aurait que 69% de réduction des GES pour le tournesol et 39% pour le colza. Il est important de souligner que ces études n'ont pas été effectuées à la même période. Cependant, à première vue, le biodiesel permettrait de réduire les émissions de gaz à effet de serre.



Document 20 : Bilan des émissions de GES du puits à la roue (en gCO₂ eq/km)

Source: "Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context", WTW Report, Version 2c, March 2007

Une autre étude confirme ces résultats positifs pour les agrocarburants.

Filière	Emissions de C fossile ¹ (kg éq. CO ₂ / 100 km)	
	Filière biomasse	Filière fossile équivalente
EMHV Colza	8,3	17,5 (gazole)
EMHV Tournesol	8,3	17,5 (gazole)

La substitution du gazole par du biodiesel de colza conduit à une réduction d'environ 50% des émissions de GES.

Document 21 : Emissions de GES du biodiesel en France, comparées à leurs équivalents d'origine fossile, pour un parcours de 100km dans une voiture individuelle

Source : Prieur et al., 2008

✓ Autres paramètres dans le bilan l'ACV du biodiesel

L'autre dimension du bilan des agrocarburants concerne les pollutions plus locales, typiquement liées à l'activité agricole (pertes de nitrates, contamination par des pesticides, biodiversité). L'approche « analyse de cycle de vie » conclue en général à un effet négatif des agrocarburants par rapport aux carburants fossiles qui ne génèrent pas ce type d'impacts.

L'étude suivante indique ainsi que les émissions de la combustion du biodiesel peuvent conduire à une augmentation des émissions d'oxydes d'azote dans l'atmosphère et à une diminution des émissions de monoxyde de carbone et de particules. L'émission de HCNM étant équivalente pour le diesel et le biodiesel.



Polluants	Unité	Diesel	Biodiesel
Hydrocarbures Non Méthanique (HCNM)	g HC	0,072	0,072
Oxydes d'azote (Nox)	g NOx	0,84	1
Monoxyde de carbone (CO)	g CO	0,28	0,16
Particules (PM10)	mg PM10	28,29	11,25

Documents 22: Etude "The greenhouse and air quality emissions of biodiesel blends in Australia" (2007)

D'autre part, une étude de P.J Crutzen atteste que l'usage d'agrocarburants issus des cultures de colza et de maïs pourrait augmenter l'effet de serre ; ce qui confirme les données de l'étude précédente. En effet, l'augmentation de protoxyde d'azote due à l'usage d'engrais azotés pour la production d'agrocarburants pourrait avoir un effet plus défavorable sur l'effet de serre que la réduction de production de CO₂ à cause de la persistance du protoxyde d'azote dans l'atmosphère.

Rappelons que le protoxyde d'azote est classifié comme polluant par le protocole de Kyoto. C'est le quatrième gaz à effet de serre à contribuer au réchauffement de la planète. En France, l'agriculture contribuerait pour 75% des émissions de NO₂ provenant essentiellement de la transformation des produits azotés (engrais, fumier, lisier...) dans les sols agricoles.

La commission européenne considère que le potentiel de réchauffement planétaire d'une tonne de NO₂ équivaut à celui de 310 tonnes de CO₂.

Toujours selon l'étude de Crutzen, la combustion de biodiesel issu du colza contribuerait à 1 à 1,7 fois plus au réchauffement que l'utilisation d'une énergie fossile. Ces derniers résultats montrent encore une fois la difficulté de réaliser l'ACV du biodiesel.

✓ Impacts sur la biodiversité.

Selon l'INRA, la production des 27,57 millions d'hl de biodiesel nécessaires en 2008 pour atteindre l'objectif de 5,75% d'agrocarburant mélangé au gazole nécessitera 1,8 millions d'hectares de cultures de colza. Aujourd'hui en France, la surface des terres en jachère est de 1,5 millions d'hectares. Cela signifie que pour atteindre l'objectif en biodiesel, la culture de colza monopoliserait toutes les jachères. Cela ne semble ni réalisable, car 30% des jachères sont considérées comme inexploitable, ni souhaitable puisque la jachère est précieuse pour la biodiversité.

Il faut savoir qu'une mise en culture de 650 000 ha de jachères augmenterait la consommation d'engrais de 120 000 à 130 000 tonnes en unités azote (sur la base de 180 à 200 unités d'azote/ha).

L'extension des zones cultivées et l'augmentation de la culture du colza (plus consommatrice de pesticides que celle du blé) pourraient augmenter l'usage des pesticides. Rappelons que la contamination par les pesticides menace faune, flore et santé humaine.

Les impacts prévisibles sur les ressources en eau sont liés aux pollutions des eaux de surface et des eaux souterraines par les nitrates et les pesticides.

Cependant, dans certains cas, l'impact peut être nuancé : par exemple l'introduction de colza dans des assolements de céréales ou sa mise en culture sur des jachères nues, par le maintien d'une couverture hivernale du sol, peut limiter l'érosion, le lessivage des nutriments vers les cours d'eau et nappes phréatiques, et réduire les besoins en engrais azotés.



Un autre point à prendre en compte est la déforestation. Plusieurs études cherchent à évaluer le « temps d’amortissement » de l’utilisation des agrocarburants, en prenant en compte le changement d’affectation des sols. En d’autres termes, ces études estiment le temps nécessaire pour que l’utilisation des agrocarburants dans le moteur des véhicules permette « d’annuler » les émissions liées au potentiel changement d’affectation des sols.

FILIÈRE	ZONE D'ORIGINE	RÉDUCTION D'ÉMISSIONS PAR RAPPORT AU CARBURANT DE RÉFÉRENCE*	TYPE DE FORÊT	TEMPS NÉCESSAIRE POUR AMORTIR LES ÉMISSIONS CAUSÉES PAR LA DESTRUCTION DES FORÊTS
Huile de palme (biodiesel)	Asie	Environ 46%	Tropicale	63 à 138 ans
Canne à sucre (éthanol)	Amérique du Sud	Environ 71%	Tropicale	56 à 144 ans
Blé (éthanol)	Europe	Environ 28%	Tempérée	293 à 524 ans
Soja (biodiesel)	États-Unis	Environ 33%	Tempérée	655 à 1763 ans
Colza (biodiesel)	Europe	Environ 45%	Tempérée	Environ 200 ans

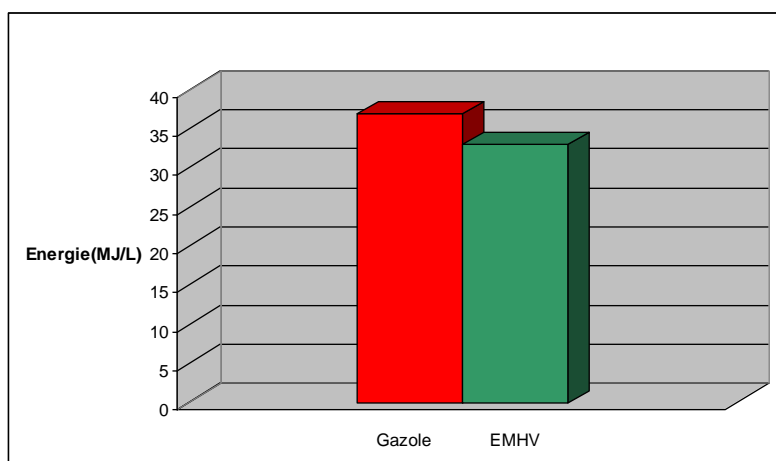
* Les valeurs reprises ici sont celles des études qui ont servi de base à ce tableau. Compte tenu des importantes différences entre les estimations des gains en émissions des différentes filières (cf. fiche 2), ces résultats sont soumis à une large incertitude.
Source : Bio Intelligence Service et E4Tech.

Document 23 : Impacts sur les forêts dû au développement des agrocarburants.

Ces études permettent de réaliser un bilan complet des émissions de GES des agrocarburants, en mesurant les effets indirects de leurs cultures, qui sont aussi importants, et parfois supérieurs aux effets directs. Pour Bio Intelligence Service, qui a réalisé une étude en France pour l’ADEME (2008), il faudrait environ 200 ans pour que l’utilisation des agrocarburants annule le fait que la culture de blé ou de colza ait remplacé une forêt tempérée, en termes d’émissions de CO₂.

3.5.1.2. Comparaison sur le plan énergétique.

Maintenant que l’on a vu que remplacer du diesel par du biodiesel réduisait les émissions de gaz à effet de serre, avec les effets pervers que cela implique (pollution de sols, impact sur la biodiversité...). On peut se demander si le bilan énergétique du biodiesel est tout aussi positif. Le biodiesel procure-t-il plus d’énergie que le diesel ? Nécessite-t-il plus d’énergie que le diesel pour être produit ? Tout autant de questions auxquelles nous allons tenter de répondre ici.



Document 24 : Energie contenue dans 1L de gazole et d’EMHV.
Source personnelle.



Ainsi, la figure ci-dessus nous montre qu'un litre de biodiesel contient moins d'énergie qu'un litre de gazole. Le graphique indique une différence de 8% entre les deux carburants. Une étude plus approfondie a montré qu'en moyenne, l'équivalent de dix litres de gazole correspond à 190 km et dix litres d'EMHV à 170 km.

Donc, un véhicule qui roule au diesel aura à sa disposition, en théorie, plus d'énergie à consommer et donc, cela lui permettrait de rouler plus.

Tableau 2
Résultats des bilans énergies non renouvelables des filières biocarburants, comparativement au carburant pétrolier de référence

	Consommations d'énergies non renouvelables					
	Résultats de l'étude ADEME/DIREM (décembre 2002)			Résultats de l'étude JRC/EUCAR/CONCAWE (mai 2006)		
	MJ _{ex} /MJ	Référence MJ _{ex} /MJ	Gain par rapport au carburant pétrolier de référence	MJ _{ex} /km	Référence (MJ _{ex} /km)	Gain par rapport au carburant pétrolier de référence
EMHV colza	0,334	1,09	69 %	0,73	2,05	64 %
EMHV tournesol	0,316	1,09	71 %	0,54	2,05	74 %

Document 25 Source : ADEME/DIREM 2002.

Le document 27 nous expose la quantité d'énergie non renouvelable mobilisée (en MJ) durant tout le cycle de vie du biodiesel.

On voit donc que pendant son cycle de vie, la filière fossile consomme beaucoup plus d'énergie non renouvelable que les filières biodiesel de colza et de tournesol.

D'une part, d'après l'étude ADEME /DIREM 2002, pour l'EMHV de colza, 0,334 MJ d'énergie non renouvelable est consommée lorsque 1 MJ d'énergie est utilisé pendant son cycle de vie.

Toujours d'après cette étude, on constate que pour l'EMHV colza et tournesol, le gain de consommation d'énergie non renouvelable est de l'ordre de 70%. Concrètement, pour utiliser 1 MJ de biodiesel on consomme 70% d'énergie fossile en moins que pour utiliser 1 MJ de gazole.

D'autre part, d'après l'étude JRC/EUCAR/CONCAWE 2006, pour le biodiesel de colza, 0,73 MJ d'énergie non renouvelable sont consommés pour pouvoir rouler 1 km. Ainsi, l'étude des gains par rapport au gazole confirme l'étude ADEME/DIREM 2002.

En effet, pour la filière colza comme pour la filière tournesol, la différence entre les gains n'excède pas 5%.

Pour conclure, le biodiesel semble permettre d'économiser sur la consommation d'énergie non renouvelable.

Cependant, les gains importants mentionnés ci-dessus en termes de consommations d'énergies non renouvelables liés à l'utilisation des agrocultures purs demandent néanmoins à être tempérés par le fait que ces carburants sont le plus souvent utilisés en mélange, à des teneurs relativement faibles (5 à 10 %, avec un maximum de 20 à 25 % au Brésil).

Il est bon à savoir que pour le biodiesel, la consommation d'énergie non renouvelable est la plus importante pendant les étapes de culture et de transformation. Au contraire, c'est la combustion du diesel qui consomme le plus d'énergie fossile.



Le document ci-dessous nous expose les conclusions du bilan énergétique réalisé par PWC comparé à celui de l'ADEME/DIREM .

Étude	Gazole	Diester	
		EMHV Colza	EMHV Tournesol
RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE = Énergie restituée/Énergie non renouvelable mobilisée			
Ademe ⁽¹⁾ Direm ⁽²⁾ 2002	0,917	2,99	3,16
PWC ⁽³⁾ 2007	0,913	3,68	4,01

(1) Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. (2) Direction des ressources énergétiques et minérales. (3) PriceWaterhouseCoopers.

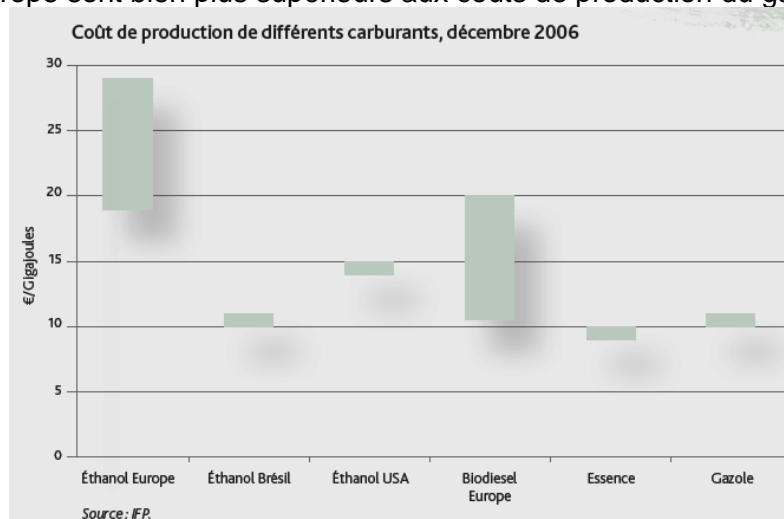
Pour un carburant, le rendement énergétique doit être le plus élevé possible. En effet, le rendement énergétique représente le rapport entre l'énergie que l'on a obtenue et celle que l'on a effectivement consommée. Pour avoir un rendement optimal, la consommation d'énergie fossile doit être minimale et l'énergie obtenue maximale.

On a vu dans le document 26 que pour une même quantité, le diesel fournit plus d'énergie que le biodiesel. D'autre part, le document 27 révèle que l'énergie fossile mobilisée par le diesel est plus élevée que pour le biodiesel. Ainsi, le calcul du rendement effectué ci-dessus nous montre que le biodiesel est plus rentable d'un point de vue énergétique. En outre, de manière plus globale l'efficacité énergétique du biodiesel est de 3 à 4 fois supérieure à celle du gazole.

3.5.1.3. Comparaison sur le plan économique.

- ✓ Les coûts de production.

Les coûts de production actuels des agrocarburants, sortie usine, se situent entre 0,45 et 0,55 €/litre. A ces coûts de production, s'ajoutent les coûts liés à la distribution. Le prix total qui en résulte est donc aujourd'hui encore plus élevé que celui des carburants pétroliers. Nous remarquerons d'ailleurs d'après le graphique suivant que les coûts de production de biodiesel en Europe sont bien plus supérieurs aux coûts de production du gazole.



Document 26 : Coût de production de différents carburants. Source : IFP

Ces coûts de production sont à comparer au cours normal du gazole qui est de l'ordre de 0,40 €/litre. En juillet 2006, époque où le cours du baril a dépassé les 70 \$/baril, les prix du gazole ont atteint près de 0,45 €/litre, c'est-à-dire un prix proche du coût de production des agrocarburants.



En l'état actuel de la production, on considère qu'à partir d'un cours stabilisé à 65 \$ le baril de pétrole, le biodiesel deviendra rapidement rentable.

- ✓ Une compétitivité malmenée.

La question de la compétitivité du carburant fossile et des agrocarburants est délicate et a donné lieu à de nombreux débats et études. Le prix de revient des agrocarburants dépend de différents facteurs, mais essentiellement du cours des matières agricoles, du cours des matières fossiles qui entrent dans leur composition ainsi que du cours des coproduits, souvent déterminés au niveau mondial.

Comme dit précédemment la fabrication des carburants d'origine végétale s'accompagne de celle de coproduits dont la valorisation et les changements de prix influent sur l'économie des agrocarburants. A titre d'exemple, la baisse du cours de la glycérine d'un facteur 2 entre avril 2003 et avril 2005 s'est traduite par une dégradation de la rentabilité économique de la filière biodiesel.

Le document 29, ci-dessous, retrace entre août 1990 et août 2004, les évolutions des cours comparés européens de l'huile de colza (le coût de l'huile représente 90% du prix finale de l'EMHV) et du gazole. Elle montre qu'il y a une relative compétitivité des EMHV vis-à-vis du gazole uniquement durant l'automne 2000. Cette période a été marquée par un cours élevé du pétrole (de l'ordre de 35\$/b), un cours faible de l'huile végétale de 330\$/t et un euro faible par rapport au dollar (0,85\$/€). Par la suite, les cours de l'huile végétale et du gazole ont suivi des tendances opposées : à la hausse pour l'huile végétale et à la baisse pour le gazole.

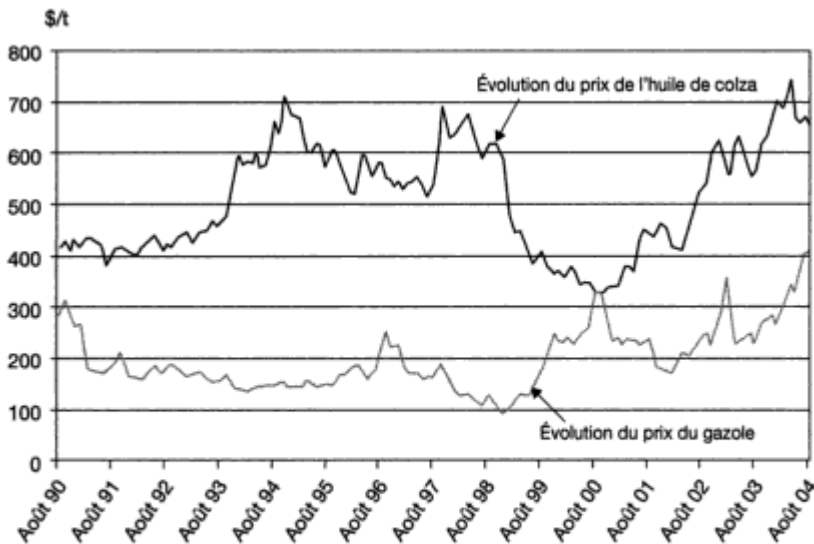


Figure 7.1

Évolution comparée des prix de l'huile de colza et du gazole en Europe (\$/t).

Source : Oilworld, Platt's.

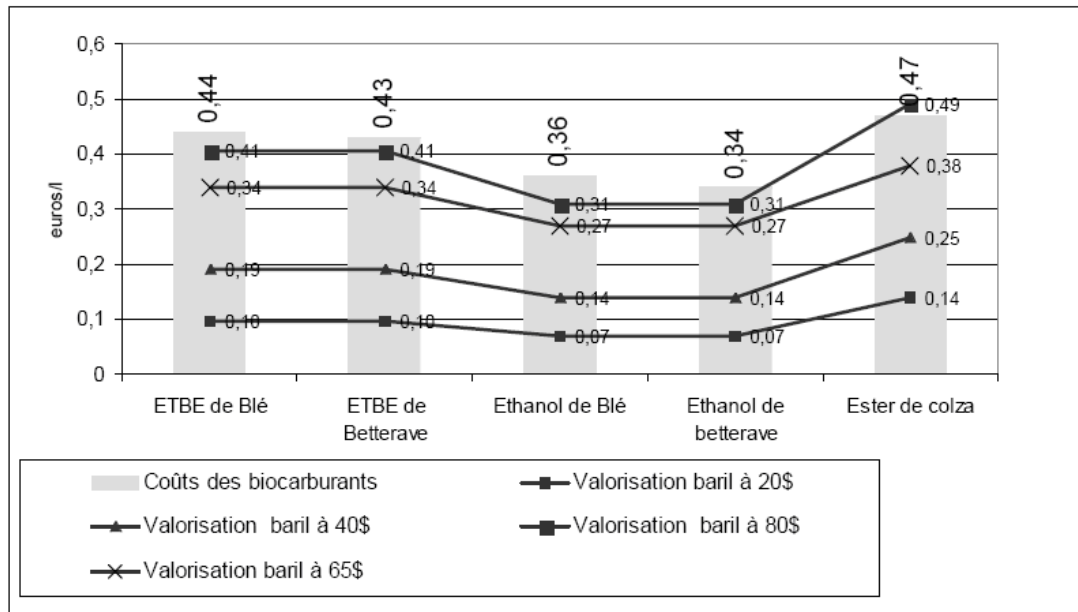
Document 27 : Evolution comparée des prix de l'huile de colza et du gazole en Europe.

La situation à l'été 2005 montre que le prix du biodiesel est environ 1,5 fois plus élevé que celui du gazole malgré un baril à 50 ou 60 \$. Cette situation est notamment la conséquence d'un cours élevé de l'huile végétale entretenu par un marché européen des EMHV très dynamique et d'un euro fort.



Un prix élevé du baril ne serait donc pas l'unique garant de la compétitivité des agrocarburants par rapport aux produits pétroliers.

Les coûts des agrocarburants, reportés sur le document 30, sont calculés du champ au produit fini, en dépôts, avant distribution vers les détaillants. Ces coûts, estimés par litre, sont formés par les prix d'achat des matières premières (blé, colza, betteraves) et les coûts logistiques et industriels dont on soustrait les recettes des coproduits. Les valorisations économiques des agrocarburants sont données par la courbe en noir. Elles sont calculées à la sortie des dépôts des raffineries, en appliquant une décote aux prix des carburants pour tenir compte de la surconsommation des moteurs utilisant des agrocarburants en mélange.



Document 28 : Coûts et valorisation des agrocarburants en fonction du prix du pétrole.

La valorisation des agrocarburants est donc inférieure aux prix des carburants fossiles. La comparaison des coûts et des valorisations montre clairement que les agrocarburants ne sont pas encore compétitifs sans soutien spécifique. L'ester deviendrait compétitif vis-à-vis du gazole seulement si le prix du pétrole atteignait 75 à 80 \$/baril (1€ = 1,212 \$).

✓ Une aide nécessaire.

Sans soutien financier, les agrocarburants ne sont pas compétitifs. En plus des aides agricoles accordées dans le cadre de la Politique Agricole Commune, les agrocarburants bénéficient d'une exonération partielle de la TIPP. La défiscalisation actuelle permet aux fabricants de produire des agrocarburants de façon rentable dès que les prix du pétrole dépassent 15 à 20 \$/baril.

Pour le RAC-F, l'exonération de TIPP (ou d'une partie) est acceptable uniquement si la substitution de carburants fossiles par des agrocarburants entraîne une réduction prouvée des émissions de GES du puits à la roue. Le RAC-F demande donc que l'exonération de TIPP soit proportionnelle à la réduction de GES entraînée.



3.5.1.4. Pour conclure.

Après avoir comparé biodiesel et diesel sur différents plans, le temps est venu de se demander quel carburant est le plus avantageux.

Tout d'abord, sur le plan environnemental, le biodiesel permet de réduire globalement les émissions de GES. Cependant, la culture, indispensable à sa production, engendre une pollution des sols, des eaux, de l'air ainsi qu'une dégradation conséquente de la biodiversité.

Ensuite, sur le plan énergétique on a vu que le biodiesel est presque quatre fois plus rentable que le diesel. La conclusion semble vite tirée ! Cependant, il ne faut surtout pas oublier que le biodiesel est incorporé dans le réservoir des véhicules de manière très faible, ce qui peut réduire l'efficacité des mélanges à biodiesel.

Enfin, sur le plan économique, le coût de production du biodiesel est plus élevé que celui du diesel mais les différentes estimations montrent qu'un prix du baril de pétrole dépassant un certain seuil ainsi qu'une aide des différents Etats pourraient rendre le biodiesel compétitif.

En somme, dire que le biodiesel ou que le diesel est le carburant le plus avantageux est très délicat.

3.5.2. Comparaison entre le bioéthanol et l'essence.

3.5.2.1. Comparaison sur le plan environnemental.

L'avantage principal du bioéthanol est qu'il induit des réductions importantes d'émissions de gaz à effet de serre. Ainsi pour une utilisation de bioéthanol à 100% la réduction est de 50 à 60% sur la base d'un cycle de vie en comparaison avec l'essence.

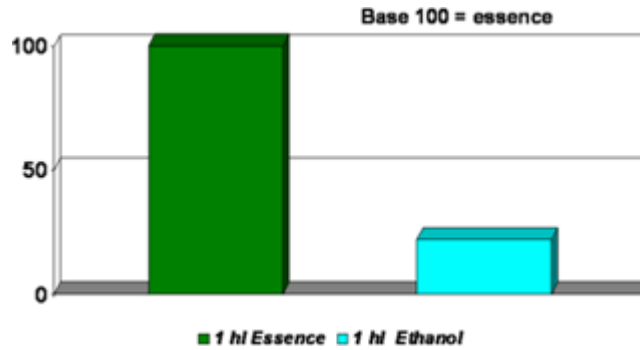
	Versus	g.eq CO ₂ /MJ	T eq CO ₂ /t
Ethanol de betterave	Essence	52,3 -61%	1,40
Ethanol de blé	Essence	51,5 -60%	1,38

Document 29 : Gain net des GES pour la filière bioéthanol en France en 2005 Source Etude ADEME/DIREM 2002

Les bénéfices découlant de mélanges sont évidemment moindres. Par exemple un mélange à 5% entraîne une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 2,5 à 3%. Comme pour le biodiesel, les bénéfices environnementaux varient selon la nature de la ressource utilisée pour la production de l'éthanol. Une réduction de 50 à 60% des émissions de gaz à effet de serre est ainsi obtenue à partir de bioéthanol de betterave ou de blé.

Si on regarde uniquement le gaz CO₂ (qui est le gaz le plus émis pour le bioéthanol et l'essence) on remarque que l'utilisation du bioéthanol permet de réduire près de 75% ce gaz par rapport à l'utilisation de l'essence (document 32). Au final, le bilan du puits à la roue reste favorable avec une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre. Dans tous les cas il est clair que l'utilisation du bioéthanol peut permettre d'atteindre les objectifs de lutte contre les changements climatiques.





Document 30 : Comparaisons des émissions de CO2 entre le bioéthanol et l'essence.

Source : <http://www.alcool-bioethanol.net>

3.5.2.2. Comparaison sur le plan énergétique.

Nous allons maintenant tenter de comparer le rendement énergétique du bioéthanol, produit en Haute-Normandie et celui de l'essence. L'utilisation du bioéthanol est-elle profitable en termes de bilan énergétique ?

Nous avons vu que le ratio-énergétique de l'essence est de 0,88 selon les études de l'ADEME/DIREM et CONCAWE. Tandis que le bioéthanol de blé ou de betteraves a un ratio de 2,05, comme on peut le voir dans le document ci-dessous. On constate que l'énergie non-renouvelable mobilisée pour la production d'un MJ de bioéthanol de blé est égale à 0,489 alors qu'elle est de 1,135 par MJ d'essence.

Energie non renouvelable mobilisée par MJ	0.489
Energie non renouvelable mobilisée par kg	13.1
Energie restituée/ Energie non renouvelable mobilisée	2.05

	Consommations d'énergies non renouvelables					
	Résultats de l'étude ADEME/DIREM (décembre 2002)			Résultats de l'étude JRC/EUCAR/CONCAWE (mai 2006)		
	MJ _{ex} /MJ	Référence MJ _{ex} /MJ	Gain par rapport au carburant pétrolier de référence	MJ _{ex} /km	Référence (MJ _{ex} /km)	Gain par rapport au carburant pétrolier de référence
Éthanol ex-blé	0,489	1,15	57 %	1,68	2,16	22 %
Éthanol ex-betterave	0,488	1,15	58 %	1,65	2,16	24 %

Document 31: Consommations d'énergies non renouvelables pour le bioéthanol comparé à l'essence. Source : IFP, panorama 2007

Le document 33 nous donne le bilan d'énergie non renouvelable utilisé au cours d'un cycle de vie. La filière du bioéthanol de blé et de betterave consomme moins d'énergie non renouvelable que la filière fossile.

Ce tableau nous indique que le gain par rapport au carburant pétrolier de référence est d'en moyenne 57,5% pour l'étude ADEME/DIREM qui considère le ratio de MJ d'énergie



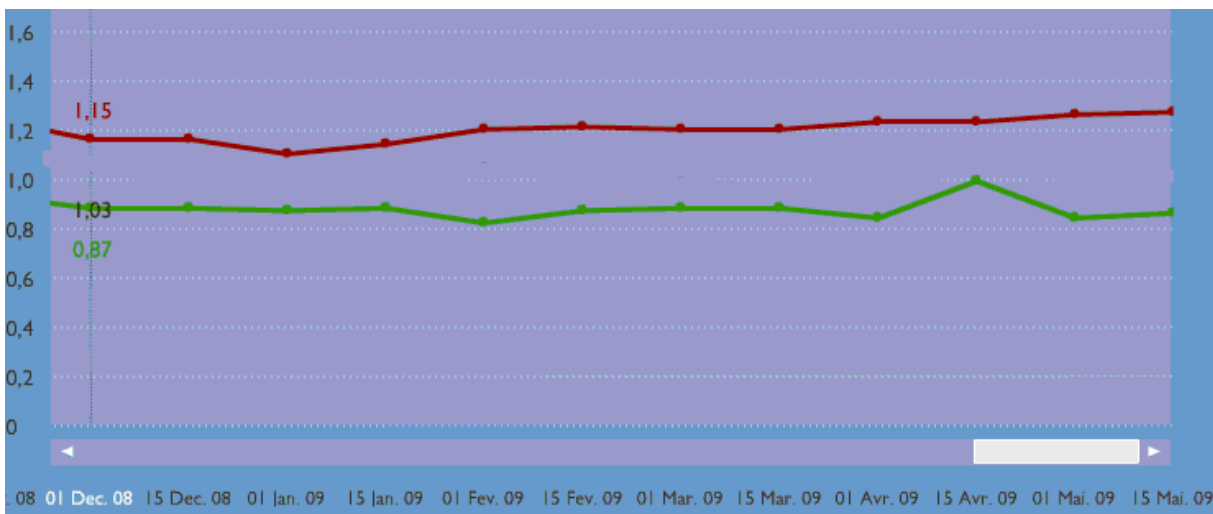
non renouvelable consommé par MJ d'énergie restitué. L'étude CONCAWE donne un autre gain qui est en moyenne de 23% en considérant le ratio de MJ d'énergie non renouvelable consommé par km parcouru grâce aux agrocarburants. Cela met en lumière le fait qu'un litre d'essence permet de parcourir plus de kilomètre qu'un litre de bioéthanol. En effet lorsque que l'on considère le carburant E85, qui est le mélange contenant la plus grande proportion d'éthanol, la consommation d'un véhicule augmente de 30% par rapport à l'utilisation d'essence SP95.

3.5.2.3. Comparaison sur le plan économique.

Le prix de l'essence dépend très fortement des fluctuations du prix du brut, mais il ne faut pas oublier la part importante des taxes qui ont tendance à augmenter car leurs calcul se fait à partir du prix du brut. En moyenne le prix du SP95 avoisine les 1,15€ mais il peut monter beaucoup plus haut en temps de crise pétrolière. Comme on l'a vu dans le bilan économique de l'ACV du bioéthanol, le prix de ce dernier est de 0,80€ taxe comprise mais il faut toutefois noter qu'un véhicule utilisant de l'E85 consomme environ 30% de plus qu'un véhicule essence ce qui représente un coût supplémentaire.

Finalement le prix de l'équivalent en énergie d'un litre d'essence est de 1,05€. Cela reste moins cher que l'essence mais si le prix du blé continue à augmenter le bioéthanol produit en France ne sera plus compétitif contrairement a celui produit au Brésil où les rendements sont nettement supérieurs. La compétitivité de cet agro carburant est assurée par le soutien du gouvernement qui subventionne la production et allège une partie des taxes. Il faut aussi savoir qu'une partie du prix de l'E85 est dû au prix de l'essence qui est incorporé à 15% dans le mélange.

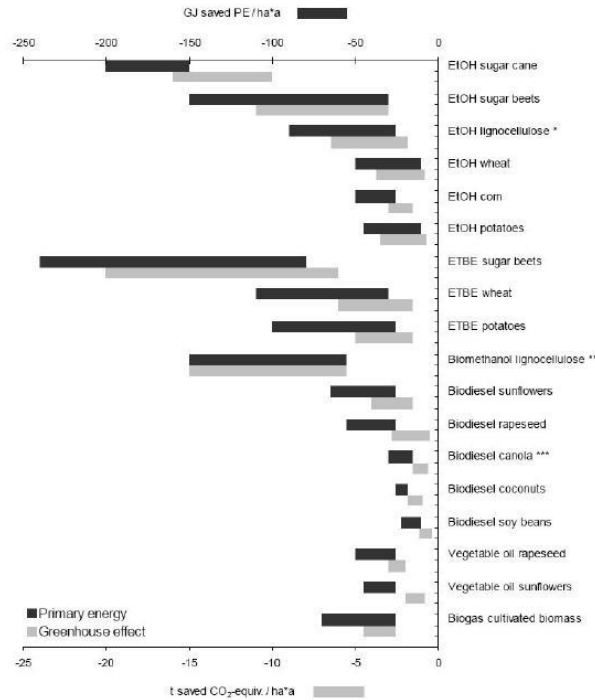
On peut voir sur le document ci-dessous les fluctuations du prix de l'essence et de l'éthanol.



3.6. Explications des différences selon les études.

Beaucoup d'études ont travaillé sur l'analyse de cycle de vie des agrocarburants. ADEME, PWC, JEC, CONCAWE et bien d'autres encore. Elles présentent même parfois des résultats assez différents.





Source IFEU (2004) et JEC (2007)

Expliquons alors pourquoi les études montrent de telles différences.

3.6.1. Présentation du problème d'allocation.

Les filières agrocarburants ne génèrent pas uniquement des agrocarburants. Chaque filière génère en plus des coproduits. Ces coproduits étant valorisés en alimentation animale, engrais, énergie ou dans l'industrie, il est légitime de s'interroger sur l'affectation d'une partie des charges environnementales des filières agrocarburants dont ils sont issus.

Il existe différentes méthodes d'allocation pour répartir les charges environnementales entre produits et coproduits, et le choix de la méthode influence fortement les résultats d'ACV. Or, à l'heure actuelle, il n'existe pas de consensus sur les règles d'allocation les plus adaptées au contexte des agrocarburants.

3.6.1.1. Les méthodes de proratas.

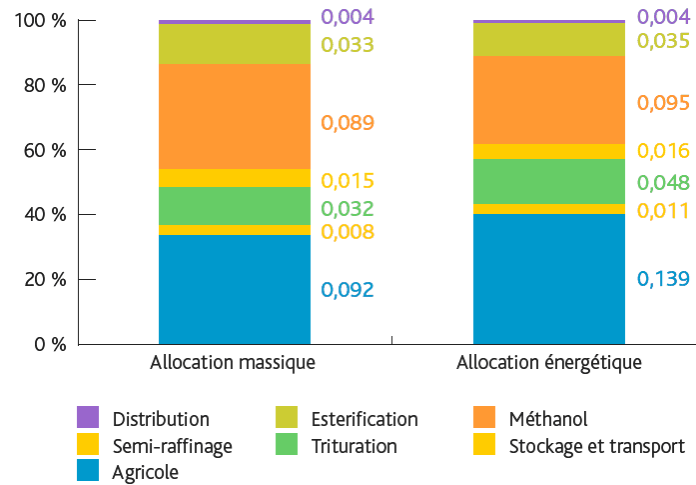
Les méthodes d'allocation par proratas ont pour objet de répartir les charges d'une filière entre les différents produits/coproduits générés, selon leur valeur relative. Le principe est que la part des charges de la filière supportée par un produit doit être d'autant plus importante que le produit génère de la valeur (relativement aux autres produits de la filière).

Afin de comparer les produits/coproduits d'une filière entre eux et de répartir les charges de la filière par prorata, il est nécessaire de choisir une base commune de comparaison (définition de la « valeur » considérée). Dans le cadre d'une allocation des impacts environnementaux, plusieurs clés de répartition sont envisageables :

- ✓ Prorata sur **la base des masses valorisées** de produits/coproduits générés
- ✓ Prorata sur **la base des contenus énergétiques** des produits/coproduits générés



- ✓ Prorata sur la **base des valeurs économiques** des produits/coproduits générés
- ✓ Prorata sur la **base des volumes** de produits/coproduits générés



Document 32 : Coût énergétique des différentes étapes de production de l’EMHV de colza (en pourcentage et en MJ/MJ d’EMHV) Source : PWC SOFIPROTEOL 2007

On remarque grâce à ce document qu’en adoptant soit l’allocation massique ou énergétique, nous n’obtenons pas les mêmes résultats même s’ils sont assez proches. En effet, pour l’étape du méthanol, les deux allocations montrent la plus grande différence à savoir un écart type de 7%. Concernant les carburants fossiles (essence et diesel), l’allocation entre les différents produits et coproduits est basée sur des équivalences massiques ou énergétiques.

3.6.1.2. La méthode de substitution.

La méthode de substitution consiste à étendre les frontières du système aux filières de production des produits substitués, pour prendre en compte l’effet environnemental induit par les coproduits.

Cette méthode consiste :

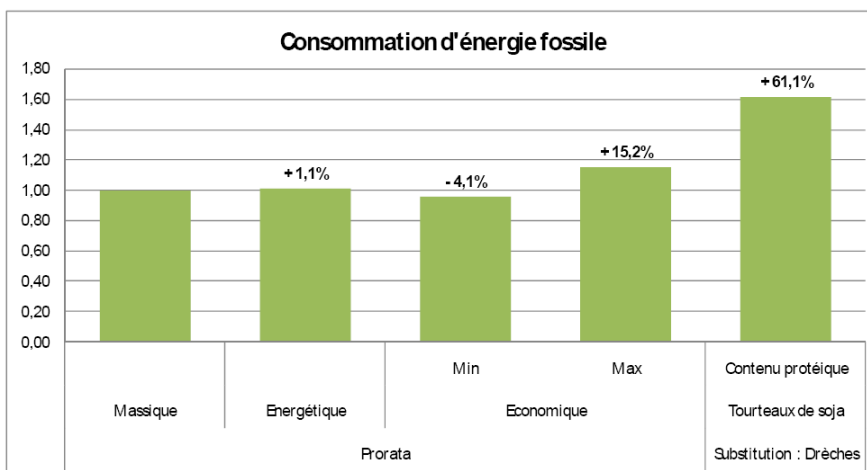
- ✓ Dans un 1er temps : à imputer la totalité des charges environnementales de la filière de production du agrocarburant et des coproduits, à l’agrocarburant lui-même.
- ✓ Dans un 2ème temps : à déduire les impacts environnementaux évités en raison de la valorisation des coproduits (exemple du tourteau valorisé en épandage).

3.6.2. Des analyses de sensibilité nécessaire.

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats des Analyses de Sensibilité des bilans environnementaux des filières de production des agrocarburants, selon le choix des modes d’allocation. Dans tous les graphiques présentés, les résultats de l’allocation massique sont rapportés à la valeur 1, et les résultats des autres modes d’allocation sont positionnés par rapport aux résultats de l’allocation massique.



3.6.2.1. L'exemple de l'éthanol de blé.

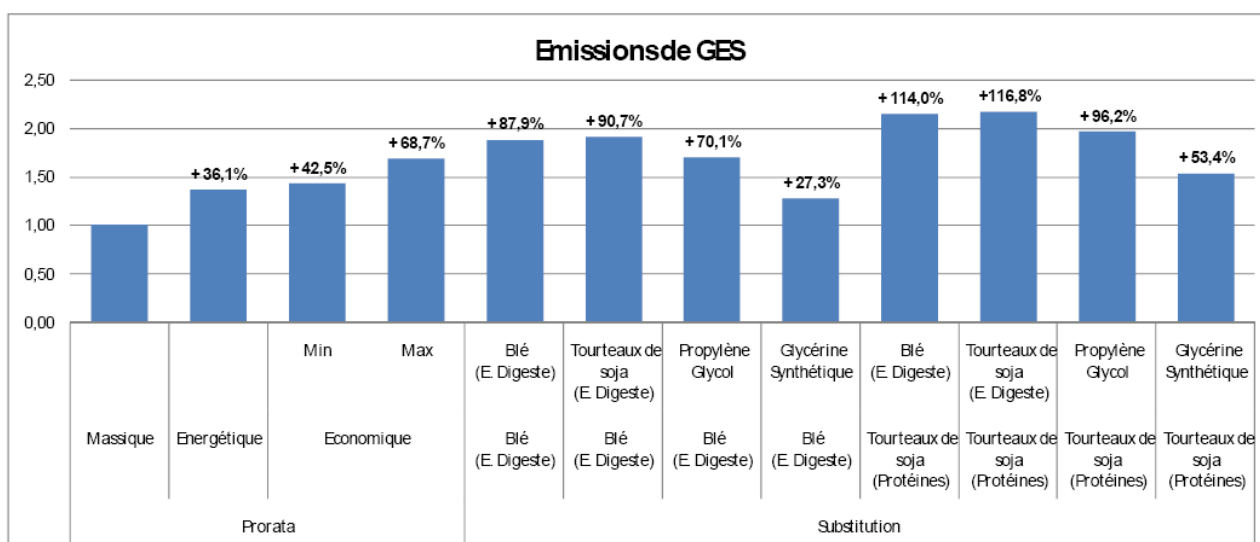


Document 33 : Résultats des analyses de sensibilité relatives aux méthodes d'allocation pour l'éthanol de blé – Bilans Energie fossile Source : Bio Intelligence Service.

Ce dernier document nous montre donc très bien que selon la méthode adoptée pour l'étude des ACV, le résultat peut être très différent. La substitution, jugée plus précise, montre une différence de 61% avec l'allocation massique. Parfois, certaines données sont donc incomparables d'une étude à l'autre. Il est donc important de préciser à chaque document comment ont été effectuées les études.

3.6.2.2. L'exemple de l'EMHV de colza.

Pour la présentation des analyses de sensibilité sur la filière EMHV, pour les résultats par substitution, la ligne du bas présente le produit substitué par les tourteaux, tandis que la ligne du haut, le produit substitué par la glycérine.



Document 34 : Résultats des analyses de sensibilité relatives aux méthodes d'allocation pour l'EMHV de colza – Bilans GES Source : Bio Intelligence Service.

Cette fois ci encore, l'analyse de sensibilité révèle les différences immenses entre la méthode d'allocation et la méthode de substitution. Certaines différences atteignent même +117%.



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

✓ Conclusions sur le travail réalisé

En somme, comme présenté en introduction, l'objectif de ce projet était de réaliser l'ACV des différents agrocarburants en donnant leurs caractéristiques principales et en les comparant. Et cela, pour pouvoir à la fin de notre étude tenter de connaître si les agrocarburants répondent à nos attentes.

Donc, on a vu précédemment que les filières biodiesel comme les filières bioéthanol présentent des bilans énergétiques et environnementaux très intéressants : réductions de l'émission des GES, une EE améliorée ...

De plus, il ne faut pas oublier que les agrocarburants produits ne sont incorporés dans nos réservoirs qu'en de faibles pourcentages. Par conséquent, cela nous oblige à reconsidérer les différents effets de l'utilisation des agrocarburants : les réductions de GES ne sont plus si importantes (de l'ordre de 3%), l'efficacité énergétique plonge mais reste supérieure à celle des carburants fossile.

En outre, sur le point de vue économique, les agrocarburants sans aucune aide de l'Etat (exonération de taxes) ne sont pas compétitifs face aux carburants fossiles.

Un autre argument à la décharge des agrocarburants est que leur production nécessite de grandes surfaces agricoles. Cependant, en France, il n'y a pas suffisamment de terres pour pouvoir produire suffisamment de denrées alimentaires et en même temps produire des agrocarburants. Donc, des terres autrefois utilisées pour nourrir la population se retrouvent aujourd'hui mobilisées pour produire des agrocarburants : la production d'agrocarburants rentre donc en compétition avec l'agriculture.

Toutefois, la sauvegarde de notre planète est une question des plus sérieuses qui demande beaucoup de sacrifices et de compromis.

Ainsi, il semble très difficile de décider pour nous, si un des agrocarburants étudié vaut le coup d'être produit. Si l'on restreint notre champ de vision aux seules conséquences, on peut se dire que l'amélioration de l'EE et les réductions d'émission de GES (aussi faibles soient elles) semblent valoir le coup. Cependant, si l'on regarde tous les investissements, toute la logistique déployée, et les conséquences de la culture de masse, prendre une décision devient plus difficile.

✓ Conclusions sur l'apport personnel de cette U.V. projet

Outre la connaissance sur les agrocarburants et la méthodologie d'une ACV, ce projet nous a permis à tous de découvrir véritablement le travail en groupe. En effet, on a fait face tout au long de ce semestre à des désaccords, des tensions : Concrètement, on a du apprendre à échanger avec les autres. En effet, nous avons appris à chaque situation délicate à laquelle nous nous sommes confrontés, nous avons appris, par exemple, à faire des concessions et accepter que le point de vue d'autrui soit différent du notre.

De plus, une fois dans la vie active, on va sûrement devoir travailler en projets ce qui fait de cette UV une expérience enrichissante : elle nous a donné un avant goût de ce qui pourra nous attendre plus tard.



✓ Perspectives pour la poursuite de ce projet

En somme, au cours de nos recherches, nous avons vu que les agrocarburants de seconde génération offrent de nouvelles perspectives. En effet ces derniers sont issus de filières ligno-cellulosiques. En clair, ils peuvent être produits à partir de déchets, ou de matière organique non destinée à l'alimentation.

De plus, les agrocarburants de seconde génération ne requièrent pas une culture de masse, la biodiversité n'en sera que peu affectée et les impacts sur l'environnement ne seront que minimales.

Toutefois, il faudra attendre encore quelques années pour pouvoir tirer les premiers bilans et ainsi voir si ces agrocarburants de seconde génération sont rentables.



5. BIBLIOGRAPHIE

➤ Sites Internet :

- **Site complet d'information sur le bioéthanol en France et dans le monde :**
www.bioethanolcarburant.com
 - **Site de la collective dédiée aux céréales et à leurs producteurs:**
http://www.passioncereales.fr/Pages/cereales-utilisations/bioethanol3.html
 - **Encyclopédie en ligne :**
www.wikipedia.fr
 - **Site du groupe agro-alimentaire Tereos :**
www.tereos.com
 - **Site scientifique de Spectro science:**
<http://www.spectrosciences.com/spip.php?article77>
 - **Site de Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi:**
<http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/enjeuxagrocarburants.html>
 - **Site sur l'extraction du pétrole :**
www.sitetechno.info/Sixieme/flash/05-extraction-petrole.html
 - **Raffinerie de pétrole :**
http://www.encyclopediefrancaise.com/Raffinerie_de_p%C3%A9trole.html
- Rapports et dossiers de presse sur Internet :
- **« Le bioéthanol » : Dossier de presse, octobre 2008.**
www.bioethanolcarburant.com
 - **« Impacts environnementaux des agrocarburants » : Rapport de l'Institut pour un développement durable (IDD), août 2005.**
http://users.skynet.be/idd/documents/divers/biofuelsenv.pdf

- « **Production et utilisation du bioéthanol** » : Dossier interne de l'European Renewable Energy Council.
http://www.eubia.org/uploads/media/RESTMAC_Bioethanol_FRENCH.pdf
- « **Les agrocarburants:** »: Rapport de l'Energie Durable en Normandie (EDEN), 2006.
http://www.rac-f.org/IMG/pdf/Agrocarburants_Synthese_EDEN_Decembre_2006.pdf
- « **Bilan 'GES' des agrocarburants: cas de la filière éthanol-céréales** » : Rapport de la société Energy Concept.
http://www.eners.ch/downloads/eners_0801_seminaire_add_article.pdf
- « **Analyse critique des études existantes sur la production et l'utilisation des carburants végétaux** » : Rapport final (2ème partie) du centre énergétique des Mines de Paris, mai 2008.
[http://www.arf.asso.fr/index.php/content/download/2662/36873/file/\[ARF\]%20Rapport%20final%20-%20Partie%20II.pdf](http://www.arf.asso.fr/index.php/content/download/2662/36873/file/[ARF]%20Rapport%20final%20-%20Partie%20II.pdf)
- « **Elaboration d'un référentiel méthodologique pour la réalisation d'Analyses de Cycle de Vie appliquées aux agrocarburants de première génération en France** » : Rapport final de l'ADEME, avril 2008.
<http://www.planetegagnante.fr/servlet/getBin?name=C734DFFAFDD6BF4F737A712AD222EB751213881543624.zip>
- « **Analyse économique des filières agrocarburants françaises à l'aide d'un modèle d'équilibre partiel** »: Rapport de l'Institut National de Recherche agronomique (INRA), novembre 2000.
<http://www.inra.fr/internet/Departements/ESR/vie/animations/Ecoprod/pdf/sourie.pdf>

➤ **Livres sur Internet :**

- « **Le plein de agrocarburants ? Enjeux et réalités** » de Daniel Ballerini, édition technip.
<http://books.google.fr/books?id=HFpgZcA4FREC&pg=PA103&dq=production+gazole&lr=#PPP1,M1>
- « **Les agrocarburants : états des lieux, perspectives et enjeux du développement** » de Daniel Ballerini, édition technip.
<http://books.google.fr/books?id=8dSeVDpOxr4C&pg=PA17&dq=production+gazole#PPR17,M1>
- « **Carburants et moteurs, tome 1** » de J.C Guibet, édition technip.
<http://books.google.fr/books?id=lpUnMfB27i4C&pg=PA393&dq=production+gazole#PPR24,M1>



➤ Livre :

- « La biomasse énergie » d'Alain Damien, L'usine nouvelle (série environnement et sécurité).



6. ANNEXES.

Les pressions sur l'environnement et leurs liens à la biodiversité des zones cultivées

Pression environnementale	Liens avec la biodiversité des terres agricoles
Erosion	Provoque une perte de substances organiques et conduit à une diminution des habitats. De plus, la filtration des eaux est diminuée avec des effets potentiellement négatifs pour la biodiversité. Il en résulte des pertes de nutriments qui provoquent l'eutrophisation des eaux de surface, ce qui affecte la flore et la faune sauvage.
Tassement du sol	La dégradation de la structure du sol peut réduire l'abondance / la diversité de la biodiversité du sol et de la flore sauvage.
Augmentation des concentrations de nutriments en surface et dans les eaux souterraines	Provoque l'eutrophisation des eaux de surface et des sols, ce qui affecte la flore sauvage et la faune et peut aussi avoir des effets toxiques directs sur la flore et la faune.
Pollution des sols et des eaux par les Pesticides	Les substances toxiques affectent directement et indirectement la flore et la faune
Prélèvements d'eau	Les pertes d'eau peuvent provoquer des changements dans la flore et la faune.

Source : AEE, 2007.

Catégorie	Hypothèse	Influence observée sur le résultat final		Remarques
		Energie	GES	
Affectation	Règle d'affectation	100 %		-
	Méthode des impacts évités : voie de substitution	40 %	20 %	-
	Méthode des impacts évités, substitution en alimentation animale : bilan de la filière soja	1 %	-	-
Données agricoles	Rendement agricole : spécificités locales	5 %	7 %	Les résultats finaux considérés pour la quantification de l'influence ont été pris avant affectation
	Rendement agricole : prospectives	3 %	4 %	
	Engrais : dose d'application (dont l'azote N)	4 % (3 %)	1 % (1 %)	
	Engrais : contenu des doses (dont l'azote N)	3 % (2 %)	10 % (10 %)	
	Mécanisation : consommation de gazole à l'hectare	2 %	3 %	
	Incertitudes sur les émissions de N ₂ O par les sols	-	10 %	
Données industrielles	Choix des frontières du système	70 %	-	

Document 20 : Principales sources de variations énergétiques et environnementales pour la production d'éthanol de blé.

Source : Rapport des Mines de Paris, 2008

