



# Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France

## Synthèse

Février 2010

*Etude réalisée pour le compte de l'Agence de l'environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, du Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, et de FranceAgriMer*

*par BIO Intelligence Service*

Coordination technique : ADEME - Service Bioressources

Direction Productions et Énergies Durables (DPED) - ADEME

## REMERCIEMENTS

L'ADEME remercie vivement les membres du comité technique et du comité de pilotage pour leur participation, leurs apports à l'étude, la relecture des documents, leurs commentaires et suggestions. Les nombreux échanges ont permis de mettre en évidence différents points de vue et interprétations possibles des études disponibles. Ils ont été riches et essentiels à l'élaboration du rapport final de l'étude.

Malgré la rigueur apportée à la collecte des données, des erreurs, omissions ou inexactitudes peuvent apparaître perdurer dans l'étude. Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs. Les interprétations, positions et recommandations figurant dans ce rapport ne peuvent être attribuées aux membres du comité technique.

ADEME	France Ester / AKIOLIS	FranceAgriMer (ex ONIGC)
AGROGENERATION	IFP	PROLEA
ARVALIS	INEOS	PSA
BENP-TEREOS	INRA	RAC-F
BIOCAR	INVIVO	RENAULT
CETIOM	ITB	SARIA
CIRAD	LYONDELLBASELL	SIFCO
CRISTAL-UNION	MAAP	TOTAL
FNE	MEEDDM	VEOLIA ENVIRONNEMENT

TOUTE REPRESENTATION OU REPRODUCTION INTEGRALE OU PARTIELLE FAITE SANS LE CONSENTEMENT DE L'AUTEUR OU DE SES AYANTS DROIT OU AYANTS CAUSE EST ILLICITE SELON LE CODE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE (ART. L 122-4) ET CONSTITUE UNE CONTREFAÇON REPRIMEE PAR LE CODE PENAL. SEULES SONT AUTORISEES (ART. 122-5) LES COPIES OU REPRODUCTIONS STRICTEMENT RESERVEES A L'USAGE PRIVE DE COPISTE ET NON DESTINEES A UNE UTILISATION COLLECTIVE, AINSI QUE LES ANALYSES ET COURTES CITATIONS JUSTIFIEES PAR LA CARACTERE CRITIQUE, PEDAGOGIQUE OU D'INFORMATION DE L'ŒUVRE A LAQUELLE ELLES SONT INCORPOREES, SOUS RESERVE, TOUTEFOIS, DU RESPECT DES DISPOSITIONS DES ARTICLES L 122-10 A L 122-12 DU MEME CODE, RELATIVES A LA REPRODUCTION PAR REPROGRAPHIE.

### L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

# SOMMAIRE

<b>1. Contexte, objectif et organisation de l'étude .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Principaux choix méthodologiques de l'ACV .....</b>	<b>9</b>
2.1. Le référentiel 2008.....	9
2.2. Les filières étudiées .....	9
2.3. Les indicateurs d'impacts environnementaux suivis .....	10
2.4. Les frontières du système.....	11
2.5. L'unité fonctionnelle .....	13
2.6. Les règles d'allocation .....	13
2.7. Les sources de données.....	14
<b>3. Les limites de l'étude .....</b>	<b>16</b>
3.1. La modélisation des émissions de protoxyde d'azote et des apports d'engrais.....	16
3.2. La prise en compte du changement d'affectation des sols (CAS).....	16
3.3. Les amortissements .....	18
3.4. La constitution des inventaires d'émissions .....	19
3.5. Le modèle de caractérisation utilisé pour les impacts eutrophisation, oxydation photochimique et toxicité humaine .....	19
3.6. La modélisation de l'étape « véhicule » .....	19
<b>4. Présentation et analyse des résultats .....</b>	<b>20</b>
4.1. La consommation d'énergie non renouvelable.....	21
4.2. Les émissions de gaz à effet de serre .....	23
4.3. Le potentiel d'eutrophisation .....	28
4.4. Le potentiel d'oxydation photochimique .....	29
4.5. Le potentiel de toxicité humaine .....	31
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>33</b>

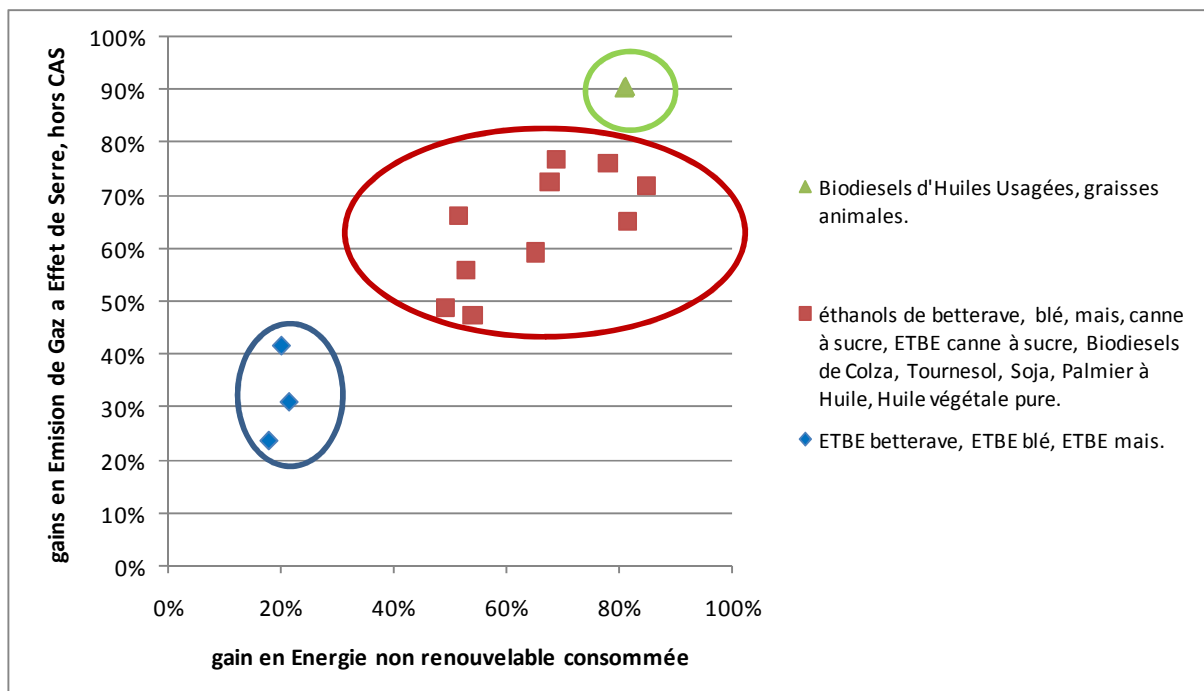
## RESUME

L'étude sur les analyses de cycle de vie (ACV) appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France constitue la première expertise d'une telle ampleur au niveau national. Elle permet de livrer non seulement une actualisation aussi complète que possible des bilans énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre des biocarburants, mais aussi de disposer d'une évaluation de trois nouveaux indicateurs d'impacts (potentiel d'eutrophisation, photo-oxydation, toxicité humaine). Elle a donné lieu à des choix méthodologiques, mais la plus grande rigueur a été recherchée et mise en œuvre pour s'assurer que ces choix n'étaient pas arbitraires. Les étapes du raisonnement ont été explicitées et une large place a été laissée à la contradiction, compte-tenu de l'état actuel des connaissances scientifiques.

Cette étude réalisée avec le concours étroit d'un comité de pilotage et d'un comité technique associé à une expertise technique est l'illustration concrète du mode de gouvernance voulue dans le cadre du Grenelle de l'environnement. L'étude éclaire de façon significative notre connaissance des biocarburants de première génération et met en évidence l'extrême complexité du processus d'évaluation du bilan énergétique et environnemental, "du puits à la roue", des biocarburants de première génération.

De façon générale, **sans tenir compte des effets de changements d'affectation des sols**, les biocarburants produits en France (biodiesel et bioéthanol) affichent des bilans énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre plus favorables que ceux des carburants fossiles de référence (gazole et essence).

Plus précisément, la comparaison des bilans énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre (hors changement d'affectation des sols) issus de l'étude permet de regrouper les biocarburants en trois catégories, comme représenté sur le graphe ci-dessous.



◆	Filières avec des bilans plus mitigés (réduction inférieure à 25 % pour la consommation d'énergie non renouvelable et inférieure à 50 % pour les émissions de GES) : ETBE de blé, de maïs et de betterave
■	Filières avec des bilans corrects (réduction de 49 à 85 % pour la consommation d'énergie non renouvelable et de 47 à 77 % pour les émissions de GES): éthanol de blé, maïs, betterave, canne à sucre, ETBE de canne à sucre, biodiesels de colza, de tournesol, de palme, de soja, huile végétale pure (colza).
▲	les filières présentant les meilleurs bilans (réductions supérieures à 80 % pour la consommation d'énergie non renouvelable et à 90 % pour les émissions de GES) : biodiesels à partir d'huiles alimentaires usagées et de graisses animales.

**L'étude souligne également l'impact des "changements d'affectations des sols" qui peut être discriminant. Lorsque le développement de cultures énergétiques aboutit, directement ou indirectement, à la disparition de prairies, de zones humides, ou de forêts primaires, le bilan de gaz à effet de serre des biocarburants peut s'avérer négatif.**

D'autres paramètres peuvent avoir des incidences significatives sur le bilan global de gaz à effet de serre de la filière, telles les émissions de protoxyde d'azote, qui dépendent du contexte local (pratiques agronomiques, sols, climat, météorologie).

Enfin, la complexité des impacts environnementaux et la difficulté de leur modélisation rendent délicate la lecture des résultats des trois indicateurs complémentaires :

- le potentiel d'eutrophisation des filières des biocarburants semble être confirmé, d'un niveau proche à celui des cultures alimentaires ;
- en ce qui concerne l'oxydation photochimique, les esters (biodiesel) ont des niveaux équivalents aux carburants fossiles, alors que les éthanol présentent des gains plus ou moins favorables, en fonction de la modélisation de l'étape « véhicule » ;
- quant au potentiel de toxicité, les réductions liées à l'étape « véhicule » semblent compenser les effets négatifs des produits phytosanitaires pour les esters (biodiesel). Les bioéthanol offrent un bilan plus défavorable pour cet indicateur que l'essence, mais le niveau d'écart calculé reste inférieur à la marge d'incertitude.

L'étude va permettre à la France et aux opérateurs économiques de disposer d'éléments d'évaluation pour mettre en œuvre le système de certification des biocarburants prévu par la directive européenne sur la promotion des énergies renouvelables, à partir de décembre 2010.

# 1. CONTEXTE, OBJECTIF ET ORGANISATION DE L'ETUDE

Les impacts de nos activités sur l'environnement sont de plus en plus préoccupants. Nos activités ont ainsi des effets sur les émissions de gaz à effet de serre, sur la biodiversité, sur les milieux naturels et peuvent aussi avoir des effets sur la santé humaine. La prise de conscience des transformations en cours conduit nos sociétés à imaginer des pistes de solution vers un fonctionnement plus durable. La lutte contre le changement climatique est aujourd'hui devenue une priorité affirmée des agendas politiques. Au plan communautaire, et au sein du paquet « climat-énergie », la directive 2009/28/CE du 29 avril 2009 fixe des objectifs ambitieux d'utilisation des énergies renouvelables pour 2020 : une part de 20 % dans la consommation finale brute d'énergie de la Communauté.

**Les biocarburants participent à cet objectif, puisqu'ils constituent une des alternatives possibles aux carburants fossiles dans la lutte contre le changement climatique.** Ces produits, développés à partir de ressources renouvelables issues de matières premières végétales ou animales (agriculture, élevage, sylviculture ou déchets), offrent une source alternative d'énergie dont les transports actuels ne peuvent se passer. Cependant, la mobilisation des ressources naturelles, et aujourd'hui principalement agricole, pose un certain nombre de questions.

De nombreuses voix se sont élevées pour évoquer les risques que peut présenter le développement incontrôlé des biocarburants. A côté des questions économiques (tensions sur les marchés agricoles), éthiques (problème de la bonne utilisation des ressources agricoles), les biocarburants sont accusés de ne pas présenter les bilans avantageux qu'on leur avait prêtés dans un premier temps en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des ressources fossiles consommées. En effet, produire des biocarburants nécessite de consommer des ressources fossiles, que ce soit directement via les machines agricoles et via la transformation de la matière agricole en carburant, mais aussi en quantité non négligeable pour la production des engrais et autres intrants.

Pour tenter de répondre à cette dernière objection, il est nécessaire de chercher à objectiver le débat. Cela peut se faire par l'utilisation d'une analyse de cycle de vie des carburants fossiles et biocarburants produits, permettant la comparaison des deux filières et donc la détermination du niveau de réduction d'émission de gaz à effet de serre de l'un par rapport à l'autre. Un tel travail est complexe et les hypothèses de calcul influencent de manière non négligeable le résultat. L'existence d'effets indirects sur les marchés ajoute à cette complexité.

Dans ce contexte, il est apparu nécessaire de mettre en place des cadres législatifs adaptés cherchant à limiter les risques environnementaux (voir encadré en fin du présent chapitre).

Ainsi le Grenelle de l'environnement a recommandé que soit réalisée une évaluation exhaustive et contradictoire des impacts des biocarburants consommés en France. **Une première étude a été menée en 2007-2008 visant à déterminer la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV) des biocarburants** à partir d'une comparaison de diverses études menées dans le monde sur ce sujet. Toutes les parties prenantes concernées par le développement des biocarburants ont été associées à la conduite de l'étude : organisations du secteur agricole, du secteur pétrolier, de l'automobile et associations environnementales. Ce travail a abouti à la rédaction d'un référentiel définissant des recommandations pour la réalisation d'ACV pour les biocarburants consommés en France.

C'est ce référentiel qui a été utilisé pour dresser un bilan exhaustif et actualisé des bilans environnementaux de ces filières. **L'étude vise à remettre à jour les données et les résultats d'analyse de cycle de vie des filières biocarburants consommés en France, en tenant compte des recommandations de l'étude méthodologique. L'étude doit ainsi apporter les éléments pour éclairer les décisions des pouvoirs publics en la matière.**

Sur ce sujet transversal et complexe, et comme dans le premier volet, le travail a été réalisé avec l'accompagnement d'un comité de pilotage et d'un comité technique.

Le comité de pilotage, composé du MEEDDM, du MAAP, et de FAM, a assisté l'ADEME dans la conduite, la coordination du projet, et dans la validation des choix méthodologiques.

Le comité technique, largement ouvert (acteurs industriels, instituts techniques, centres de recherches, associations environnementales, et commanditaires institutionnels de l'étude) s'est vu confié les deux rôles suivants :

- fournir des contacts, des données et des éléments techniques sur les différentes filières de production des biocarburants en France en respectant les clauses de confidentialité nécessaires au développement industriel des filières ;
- discuter les différents choix techniques possibles.

La participation active de chacun des membres a permis de collecter des données aussi fiables et complètes que possible, issues de sites représentatifs français actuellement en fonctionnement ou en phase d'installation et de compilations scientifiques récentes pour certaines des filières d'importation.

Par ailleurs, conformément aux exigences de la norme ISO 14040 décrivant la méthodologie des ACV, les méthodes utilisées et les résultats ont été soumis à une revue critique réalisée par un cabinet indépendant. Enfin, chacun des membres du comité technique a pu compléter ces travaux en donnant sa propre perception de l'étude et les pistes d'améliorations envisageables.

Cette note fournit une version synthétique des résultats présentés dans le rapport complet. Pour éclairer l'analyse des résultats, les grands choix méthodologiques ainsi que leurs principales limites seront tout d'abord rappelés.

## Tableau 1 – Rappels des cadres législatifs imposant des critères de durabilité aux biocarburants

**Conscients des limites que pouvait présenter un développement incontrôlé des biocarburants, les Etats membres ont souhaité que soient pris en compte et définis des critères de durabilité des biocarburants consommés en Europe.**

La directive EnR fournit un cadre législatif à l'utilisation de chaque type d'énergie. Elle fixe, dans un premier temps, un objectif ambitieux et exigeant à chaque Etat membre. La part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans toutes les formes de transports doit être au moins égale à 10 % de la consommation finale d'énergie dans le secteur des transports d'ici 2020. Deux conditions importantes encadrent cet objectif européen :

- La production de biocarburants doit respecter des critères de durabilité,
- La production de biocarburants de 2ème génération doit être opérationnelle en 2020.

Les principaux critères de durabilité à respecter sont les suivants :

- Réduction d'au moins 35% des émissions de GES en 2010, puis 50% en 2017,
- Pas de production de biocarburants sur des terres de grande valeur en terme de biodiversité (forêts primaires, zones protégées, zones de protection d'espèces, prairies à forte biodiversité), ni sur des terres présentant un important stock de carbone ou des tourbières,
- Les biocarburants (européens) doivent être issus de productions agricoles respectant les règles d'éco-conditionnalité de la PAC,
- Obligation de provenance de pays ayant ratifié et mis en œuvre certaines conventions internationales relatives au travail et à l'environnement en relation avec les critères de la Directive EnR,
- Production par des opérateurs pouvant justifier de mesures prises pour la protection des sols, de l'eau, de l'air, et la restauration des terres dégradées.

La loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement prévoit déjà, à son article 18, que « la production en France des biocarburants est subordonnée à des critères de performances énergétiques et environnementales comprenant en particulier leurs effets sur les sols et la ressource en eau. »

Les opérateurs économiques des différentes filières biocarburants devront démontrer le respect des critères de durabilité et en assurer un contrôle régulier. A défaut, les biocarburants produits ne pourront pas être comptabilisés dans les objectifs. Ils ne pourront pas non plus bénéficier d'aides publiques. Ces critères s'appliquent aux productions nationales comme aux importations.

*Il est rappelé que cette étude s'inscrit dans le cadre d'une démarche post-Grenelle, cherchant une compréhension partagée des enjeux de ces filières. La directive EnR a été validée en cours de réalisation de l'étude et est présentée dans cette étude afin d'en souligner un point de contexte structurant.*



## 2. PRINCIPAUX CHOIX METHODOLOGIQUES DE L'ACV

### 2.1. LE REFERENTIEL 2008

L'étude s'appuie sur les recommandations du référentiel défini en 2008 pour réaliser les ACV des filières carburants. Toute personne désirant une présentation détaillée de l'étude « 2008 » peut utilement se reporter au référentiel, disponible en téléchargement sur le site Internet de l'ADEME : <http://www2.ademe.fr>. L'étude a également nécessité de prolonger les travaux de 2008 en intégrant des filières comme l'ETBE et les filières biodiesels de graisses animales et huiles alimentaires usagées, non étudiées dans le précédent travail. Les bilans de ces filières, qui posent des questions spécifiques, font l'objet de parties détaillées développées dans l'étude ACV.

### 2.2. LES FILIERES ETUDIEES

Le champ de l'étude couvre les différents biocarburants consommés sur le marché français avec des technologies éprouvées. Ce large champ d'étude recouvre les filières suivantes :

#### Bioéthanol

- Ethanol de blé, de betterave et de maïs (France),
- Ethanol de canne à sucre (importation),
- ETBE obtenu à partir d'éthanol de blé, betterave, maïs et canne à sucre.

#### Biodiesels

- Esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV) de colza, de tournesol, d'huiles alimentaires usagées (EMHAU) et de graisses animales (EMGA) (France),
- Esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV) de palme et de soja (importation),
- Huile végétale pure (HVP) de colza en filière courte (France).

Ces filières ont été comparées aux carburants fossiles de références : **Essence SP95** (spécifications 2009) et **Gazole** (spécifications 2009).

Pour chaque filière de biocarburant et de carburant fossile, un scénario prospectif a été étudié, à partir des évolutions attendues sur les différentes étapes du cycle de vie dans un horizon de 5 ans.

Le tableau ci-dessous rappelle les principaux éléments des filières de production de biocarburants étudiées.

**Tableau 2 - Détail des filières de production étudiées**

Biocarburant	Filière principale considérée
<b>Biodiesel de colza</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Production française ; Extraction d'huile et transestérification en France</li><li>• Raffinage chimique en catalyse homogène, séparation de l'ester et de la glycérine par lavage à l'eau</li></ul>

Biocarburant	Filière principale considérée
<b>Biodiesel de tournesol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production française ; Extraction d'huile et trans-estérification France</li> <li>• Raffinage chimique en catalyse homogène, séparation de l'ester et de la glycérine par lavage à l'eau</li> </ul>
<b>Biodiesel de soja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production du soja aux USA (1/3) et au Brésil (2/3)</li> <li>• Extraction d'huile localement puis transport vers la France, où a lieu la trans-estérification</li> <li>• Raffinage chimique en catalyse homogène, séparation de l'ester et de la glycérine par lavage à l'eau</li> </ul>
<b>Biodiesel de palme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production de l'huile en Malaisie (60%) et en Indonésie (40%)</li> <li>• extraction d'huile localement puis transport vers la France, où a lieu la trans-estérification</li> <li>• Raffinage physique, séparation de l'ester et de la glycérine par lavage à l'eau</li> </ul>
<b>Huile végétale pure (HVP) de colza</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production française</li> <li>• extraction d'huile sur l'exploitation</li> <li>• presse à froid, de 7 à 10 kWh, presse à la ferme</li> </ul>
<b>Biodiesel d'huiles alimentaires usagées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production en France</li> <li>• Pré-estérification acide, puis trans-estérification basique - Séparation de l'ester par lavage à l'eau</li> <li>• Fonctionnement réel du site avec la chaleur issue de la récupération ou valorisation de l'énergie issue de l'incinération des déchets : cela a été modélisé dans une filière « actuelle France », la filière principale étant calculée à partir de gaz naturel</li> </ul>
<b>Biodiesel de graisses animales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production en France.</li> <li>• Pré-estérification acide, puis trans-estérification basique - Séparation de l'ester par distillation</li> <li>• La graisse animale est considérée comme un déchet : l'amont agricole et l'étape de transformation des sous-produits animaux en graisse ne sont pas pris en compte dans le bilan proposé de cette filière (cependant, l'étape de préparation des graisses est donnée à titre indicatif, sur la base d'un inventaire ECOINVENT)</li> </ul>
<b>Ethanol de blé</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production en France</li> <li>• Dry mill, sans cogénération (données communiquées).</li> <li>• Une sous-filière avec cogénération est calculée par BIO IS à partir de ce jeu de données.</li> </ul>
<b>Ethanol de maïs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production en France</li> <li>• Dry mill, sans cogénération (un seul site en France achetant sa vapeur à l'extérieur).</li> </ul>
<b>Ethanol de betterave</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Production en France</li> <li>• Sucrierie et distillerie attenantes, avec cogénération</li> <li>• Calculs BIO IS pour une simulation sans cogénération.</li> </ul>
<b>Ethanol de canne à sucre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sucrierie et distillerie attenantes</li> <li>• Culture et production Brésil</li> </ul>
<b>ETBE de blé, maïs, betterave et canne à sucre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deux voies de fabrication ont été modélisées :</li> <li>• Une voie à partir d'isobutène issu du raffinage (sites de TOTAL ELF FINA) pour un quart de la production</li> <li>• Une voie en tant que valorisation d'un coproduit de la fabrication d'oxyde de propylène (site de LYONDELL BASELL), représentant les ¾ du marché</li> </ul>

### 2.3. LES INDICATEURS D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX SUIVIS

Afin d'évaluer les impacts environnementaux et sanitaires, il a été décidé d'étudier cinq types d'indicateurs environnementaux. Ces indicateurs ont été retenus pour le large spectre de

problématiques environnementales qu'ils couvrent et pour leur pertinence pour les filières carburants.

**Tableau 3 - détail des 5 indicateurs d'impact étudiés**

Indicateur d'impact	Impactant sur	Signification	Exprimé en
<b>Consommation d'énergie non renouvelable</b>	Epuisement des ressources naturelles	caractérise la consommation des sources d'énergie extraites des réserves naturelles (charbon, gaz naturel, pétrole, uranium) nécessaire à la production du biocarburant	Méga Joule d'Énergie non renouvelable (MJf)
<b>Emission de gaz à effet de serre (GES)</b>	Réchauffement climatique	caractérise l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne en substances d'origine anthropique telles que le dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ), le méthane (CH <sub>4</sub> ), ou le protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	kg eq. CO <sub>2</sub>
<b>Potentiel d'eutrophisation aquatique</b>	Qualité des écosystèmes	évalue la quantité de nutriments favorisant la prolifération de micro algues, plancton,....	kg eq. PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (phosphate)
<b>Potentiel d'oxydation photochimique</b>	Santé humaine	caractérise les impacts dus aux substances organiques (composés organiques volatils et oxydes d'azote) émises et conduisant à la formation d'ozone de basse atmosphère	kg eq. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (éthylène)
<b>Potentiel de toxicité humaine</b>		évalue les effets toxicologiques chroniques sur la santé humaine des substances cancérigènes et non cancérigènes	kg eq. 1,4 dichlorobenzène (DB)

## 2.4. LES FRONTIÈRES DU SYSTÈME

Les bilans ont été calculés sur les étapes successives de fabrication des biocarburants (du puits au réservoir), puis lors de leur utilisation (du réservoir à la roue). Le diagramme ci-après (figure 1) présente de manière générique les étapes du cycle de vie considérées dans l'étude, ainsi que les principaux intrants et coproduits. Quelques précisions sont apportées ci-dessous sur les périmètres et intrants considérés à chaque étape.

**Etape agricole** : à ce stade, le système considéré est la parcelle agricole.

Les intrants suivants sont pris en compte :

- la consommation de fioul pour la culture et pour le transport de la récolte,
- les intrants de fertilisation, de défense des végétaux,
- le séchage ou l'irrigation le cas échéant,
- les semences,

Les émissions de N<sub>2</sub>O, de nitrate, d'ammoniac, de pesticide vers l'eau, l'air ou le sol, ainsi que les molécules liées à la combustion du gasoil lors des travaux agricoles sont aussi comptabilisées.

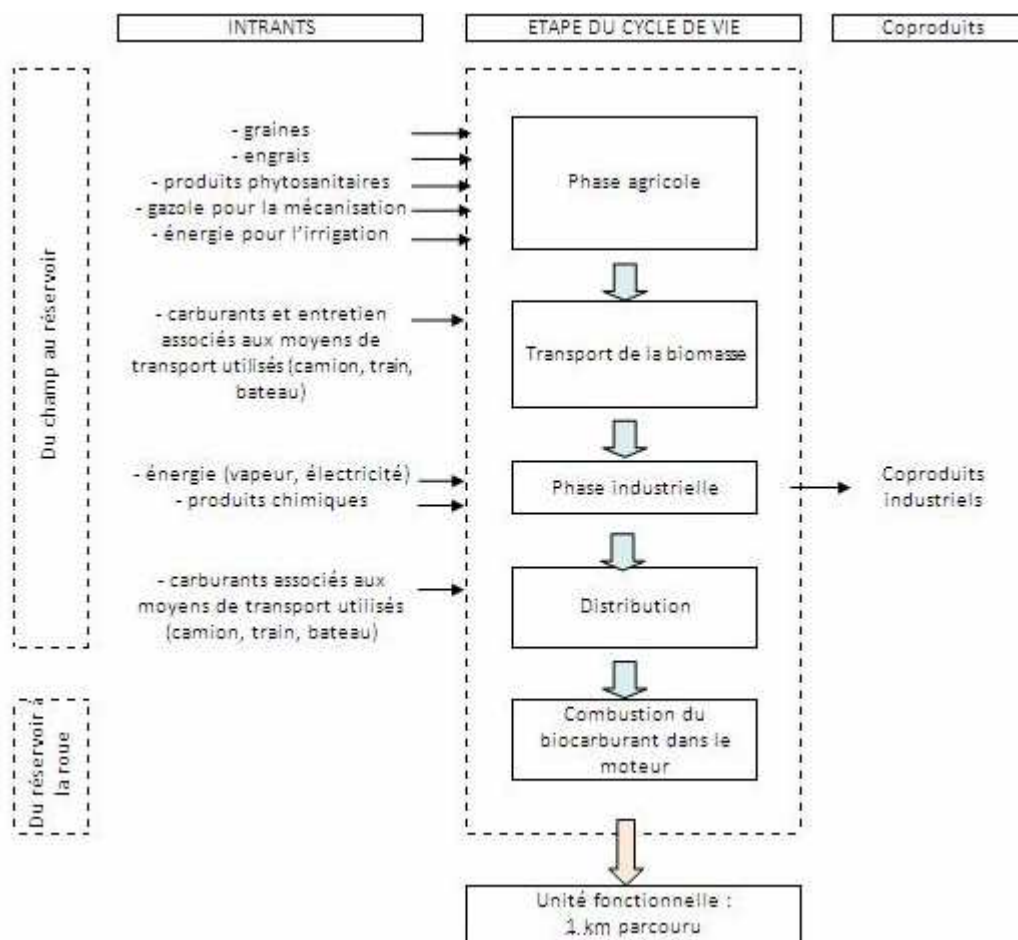
**Etape industrielle** : Tous les flux entrants et sortants du périmètre du site de fabrication sont comptabilisés, à l'exception de ceux liés au personnel (déplacement, éclairage des locaux...). Les intrants principaux sont l'énergie consommée pour la production et les réactifs nécessaires. Les émissions des bio-raffineries sont aussi intégrées.

**Etape de production de l'ETBE (spécifique à la filière éthanol) :** l'ETBE est fabriqué à partir d'éthanol pour ses propriétés intéressantes pour une utilisation en carburant (volatilité, indice d'octane...). Pour cette étape supplémentaire, les intrants principaux sont l'énergie consommée pour la production de l'ETBE et les réactifs nécessaires. Les émissions des sites de fabrication sont aussi intégrées.

**Etapes transports et distribution des carburants :** Les consommations et émissions liées aux transports des produits étudiés (distance parcourue, type de transport...) sont prises en compte. La distribution comprend uniquement l'électricité nécessaire au fonctionnement des stations services.

**Etape véhicule (utilisation) :** Seuls les flux liés à la combustion ont été pris en compte (consommation de carburant et émissions vers l'air). Ce choix a été fait en raison de l'objectif comparatif dédié à l'étude. Les amortissements et réparation du véhicule sont considérés identiques ou en tout cas de variation marginale, quel que soit le carburant.

Figure 1 – Périmètre retenu : Schéma générique



Pour les **filiales fossiles**, les étapes prises en compte intègrent l'extraction du pétrole brut, son transport, son raffinage, sa mise à disposition et l'ensemble des émissions afférentes à ces étapes.

Enfin, ce périmètre a été ponctuellement élargi au cours d'une analyse de sensibilité visant à simuler les effets potentiels des changements indirects d'affectation des sols sur les bilans calculés. Il est alors nécessaire d'intégrer dans ce périmètre les terres nécessaires à satisfaire un niveau de demande équivalent de demande alimentaire.

## 2.5. L'UNITE FONCTIONNELLE

L'étude concerne l'ensemble du cycle de vie des carburants, depuis l'extraction des ressources ou la production de la biomasse jusqu'à la combustion des carburants dans les moteurs. L'unité fonctionnelle qui en découle est donc « **Permettre le déplacement d'un véhicule sur 1 km** ». Tous les calculs ont été faits pour cette unité fonctionnelle.

Mais afin de présenter des valeurs sur une base plus commune et permettre une interprétation plus aisée des résultats, notamment pour la comparaison avec la directive EnR et l'étude JEC<sup>1</sup> qui lui sert de base pour les biocarburants (étude européenne présentée au chapitre 2.7), il a été décidé de présenter la majorité des résultats « par MJ de carburant consommé ». Le résultat par km parcouru est donc divisé par la consommation moyenne du véhicule pour aboutir à des impacts par MJ de carburant. Cela est rendu possible par le fait qu'un MJ de carburant ou de biocarburant fournit le même travail (des écarts très légers peuvent exister mais sont en général du second ordre. Se reporter au rapport complet pour plus de détail).

## 2.6. LES REGLES D'ALLOCATION

Les filières biocarburants ne génèrent pas uniquement des biocarburants. Chaque filière génère également 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 biocarburants 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 peut influencer significativement les résultats numériques des ACV.

**Tableau 4 - Descriptif synthétique des méthodes d'allocation existantes**

Méthode d'allocation	Description
<b>Substitution</b>	<p>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.</p> <p>Cette méthode consiste :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Dans un 1er temps : à imputer la totalité des charges environnementales de la filière de production du biocarburant et des coproduits, au biocarburant lui-même.</li><li>• Dans un 2ème temps : à déduire les impacts environnementaux évités en raison de la valorisation des coproduits, qui se substituent à la production d'autres types de produits. Les impacts évités correspondent aux charges environnementales liées à la production évitée des produits substitués.</li></ul>
<b>Prorata</b>	<p>Les méthodes d'allocation « au prorata » 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 de la filière doit être d'autant plus importante que le produit génère de la valeur (relativement aux autres produits de la filière). Pour illustrer le raisonnement, nous pouvons considérer le cas des déchets : un déchet a une valeur nulle, et aucune charge ne doit lui être affectée.</p>

<sup>1</sup> Concawe/Eucar/JRC "Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Version 2c"

	Plusieurs méthodes existent : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prorata sur <b>la base des masses valorisées</b> de produits/coproduits générés (intermédiaires ou finaux)</li> <li>• Prorata sur <b>la base des contenus énergétiques</b> des produits/coproduits générés (intermédiaires ou finaux)</li> <li>• Prorata sur <b>la base des valeurs économiques</b> des produits/coproduits générés (intermédiaires ou finaux)</li> <li>• Prorata sur la base des volumes de produits/coproduits générés (intermédiaires ou finaux)</li> </ul>
--	---

Les règles d'allocation utilisées pour les coproduits de l'étude sont celles définies dans le référentiel méthodologique. Le tableau ci-après synthétise les recommandations faites dans ce document, les explications plus détaillées des raisons conduisant à ces choix sont à lire dans le référentiel lui-même.

**Tableau 5 – Synthèse des recommandations du référentiel méthodologique concernant les méthodes d'allocation**

Les coproduits sont...	La méthode recommandée est...
...épanchés	la substitution
... utilisés en alimentation animale	le prorata énergétique entre coproduits d'une étape
...utilisés dans l'industrie	
...utilisés à des fins énergétiques	la substitution

Les filières fossiles n'ont pu être traitées selon ce principe. La complexité de l'étape de raffinage, présentant une multiplicité d'étapes et de coproduits, rend les approches d'allocation délicates. Pour ces filières, il a été préféré l'utilisation des travaux de l'étude JEC 2007.

## 2.7. LES SOURCES DE DONNEES

Les données agricoles des productions françaises ont été fournies par les trois instituts techniques membres du comité technique de l'étude, à savoir ARVALIS (céréales), le CETIOM (oléagineux), et l'ITB (betteraves). La majorité d'entre elles proviennent des données annuelles ou des enquêtes « pratiques culturales » réalisées par le SSP, service statistique du ministère de l'agriculture.

Certaines sont construites à partir de données issues de réseaux d'exploitations suivies au sein de ces structures (consommation de fioul par ha notamment). Des valeurs moyennes sur les dernières années ont été privilégiées à partir de trois grands types de sources de données :

- les données issues des enquêtes annuelles du service statistique du ministère de l'agriculture (SSP), comme le rendement,
- les données rassemblées avec l'enquête « pratiques culturales » pluriannuelle, plus poussées quant aux intrants suivis (engrais, produits phytosanitaires, consommations de carburant, irrigation, CIPAN,...),
- les données construites par les instituts à partir de différents travaux et de réseaux de fermes (consommation de carburant, itinéraires techniques) ont servi à combler les quelques manques ou à croiser les données.

Les données d'entrée des sites de production de biocarburant ont été fournies par les principaux acteurs industriels du secteur. Les données des filières d'importation sont élaborées à partir de données bibliographiques, construites à partir de données moyennées sur plusieurs années et sur une zone géographique assez large.

Par ailleurs, des études européennes ont également servi de sources de données ou de comparaison. Parmi elles, l'étude JEC citée à plusieurs reprises dans ce document correspond à l'étude européenne menée par les 3 structures JRC, Concawe et Eucar, portant notamment sur l'analyse du cycle de vie de biocarburants en Europe (cf. référence : JRC/Eucar/Concawe "Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, Version 2c"). L'étude JEC a servi de base aux valeurs d'émissions de GES de l'annexe V de la directive EnR. Les versions 2007 et 2008 de l'étude JEC, mise à jour annuellement ont été utilisées pour réaliser l'étude ACV.

## 3. LES LIMITES DE L'ETUDE

Pour comprendre les résultats de toute ACV, il est important d'en connaître précisément les choix méthodologiques et leurs limites. En complément, les principaux points de vigilance sont rappelés ici.

### 3.1. LA MODELISATION DES EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE ET DES APPORTS D'ENGRAIS

Le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) est un gaz à fort pouvoir de réchauffement global : un kg de ce gaz présente un pouvoir équivalent à près de 300 fois celui d'un kg de  $CO_2$ . Ce gaz est majoritairement émis par le fonctionnement biologique des sols agricoles en lien avec les apports de fertilisants azotés. Son niveau d'émission est donc un élément clé du bilan des produits agricoles. Ce paramètre constitue l'une des contributions les plus importantes à l'estimation des émissions de gaz à effet de serre de la phase agricole des filières biocarburants.

Il n'existe pas encore aujourd'hui au niveau français de valeurs d'émissions ou de modèle suffisamment validé et reconnu. Ainsi, le référentiel méthodologique de 2008 recommande l'utilisation des facteurs d'émissions proposés par le GIEC. Ce dernier retient les émissions suivantes :

- Facteur d'émissions directes : 1 % de l'azote apporté par les engrais et de l'azote contenu dans les résidus de la culture étudiée est émis sous forme d'azote dans la molécule de  $N_2O$ .
- Facteur d'émissions indirectes : 0,75 % de l'azote lessivé est réémis sous forme d'azote dans la molécule de  $N_2O$ , de même pour 1 % de l'azote volatilisé sous forme ammoniacal.

Deux points ont cependant fait l'objet d'adaptations à partir de données plus spécifiques, comme proposés par le GIEC:

- Le lessivage de l'azote a été adapté à des données plus représentatives des mesures existantes en France (notamment essais Thybie de l'INRA).
- Les quantités d'azote contenues dans les résidus (racines incluses) ont été estimées sur la base de données françaises pour le blé, le maïs et le colza.

Devant les difficultés à trouver des valeurs d'émission qui fassent consensus et dans l'attente de mesures d'émission ou de simulations plus adaptées aux régions françaises, l'utilisation des travaux du GIEC est une position prudente, les valeurs d'émissions de ce modèle étant plutôt dans la fourchette haute des émissions mesurées aux champs ou estimées via des modèles de calculs tel que le modèle DNDC utilisé pour l'étude JEC. **Des travaux complémentaires étaient absolument nécessaires afin de lever cette incertitude scientifique importante. Ils sont aujourd'hui en cours au niveau français à travers le GIS  $N_2O$  piloté par le CETIOM et l'INRA.**

### 3.2. LA PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS (CAS)

Deux types de changement d'affectation des sols (CAS) sont considérés :

- direct : conversion d'une surface cultivée ou non vers une culture qui sera destinée à la production de biocarburants (ex: forêt convertie pour la culture de biocarburant),



- indirect : une culture énergétique dont la matière première approvisionne des usines de biocarburant remplace des terres autrefois dédiées à des cultures alimentaires. La culture alimentaire devra être produite ailleurs dans l’hypothèse d’un maintien d’un même niveau de consommation alimentaire.

Les travaux existants ou en cours n’ont pas encore réussi à créer des références méthodologiques sur ces sujets. L’étude n’ayant pas vocation à résoudre cette question complexe, le principe retenu a été de calculer les bilans d’émissions de GES sans intégrer les changements d’affectation des sols dans le résultat de référence conformément aux recommandations du référentiel de réalisation d’ACV pour les biocarburants (cf synthèse dans les tableaux ci-dessous). Par contre, l’impact potentiel de différents scénarii de CAS sur les bilans de GES a été examiné ensuite au travers d’une analyse de sensibilité.

**Tableau 6 – Récapitulatif des recommandations pour le CAS direct**

Zone géographique	Changement direct d’Affectation des Sols	Prise en compte dans l’ACV ?
Europe	Supposé nul	Pas de changement d’affectation dans le cadre d’une production européenne de biocarburants issus de cultures européennes
Amérique du Nord	Fortes incertitudes	En l’absence d’études permettant de définir un scénario de référence de CAS direct, il est proposé d’approfondir les études pour définir un mode de prise en compte explicite de ces changements potentiels d’usage directs des sols, indispensable pour une évaluation exhaustive des impacts potentiels des biocarburants. Si, grâce à des travaux particuliers, il est possible de définir un scénario de CAS robuste, l’étude doit d’ores et déjà en tenir compte.
Amérique du Sud		
Asie		

**Tableau 7 - Récapitulatif des recommandations pour le CAS indirect**

Zone géographique	Changement indirect d’Affectation des Sols	Prise en compte dans l’ACV ?
Europe	Fortes incertitudes	En l’absence d’études permettant de définir un scénario de référence de CAS indirect, par défaut, il est proposé d’approfondir les études existantes dans l’objectif d’aboutir à un mode de prise en compte explicite. Si, grâce à des travaux particuliers, il est possible de définir un scénario de CAS robuste, l’étude doit d’ores et déjà en tenir compte.
Amérique du Nord		
Amérique du Sud		
Asie		

Cette analyse de sensibilité a été conduite en considérant l’hypothèse d’un CAS direct pour les filières d’importation et d’un CAS indirect pour deux exemples de filières France. Elle a cherché à répondre à la question suivante : comment évoluent ces bilans lorsqu’on leur intègre des valeurs plausibles d’émissions liées à ces changements d’occupation ? La construction de valeurs « plausibles » a reposé sur des scénarii simplifiés et gradués, allant du plus pessimiste jusqu’à une situation favorable.

Le scénario le plus pessimiste, appelé « CAS maximal », de CAS direct correspondrait au remplacement d’un ha de forêt primaire tropicale humide par un hectare de canne à sucre ou de palmier à huile, en supposant que toutes les émissions de CO<sub>2</sub> générées seraient affectées à la canne à sucre avec un lissage sur 20 ans.

Puis des scénarii «CAS intermédiaires », « CAS modérés » et enfin, «CAS optimistes », ont été construits en faisant varier certaines données du problème (les hectares remplacés ne sont plus de la forêt primaire, mais un mix de différents sols ; le lissage est fait sur 50 ans au lieu de 20,...). Le scénario optimiste imagine, par exemple, le remplacement par le coproduit alimentaire du

biocarburant (tourteaux de colza, drèches de blé,...) d'importations de produits destinés à l'alimentation animale qui auraient entraîné la déforestation de surfaces supplémentaires.

Des ordres de grandeurs plausibles, mais sans prétention de refléter la réalité et la totalité du phénomène, ont ainsi été calculés sur ces bases et sont présentés dans les tableaux ci-dessous. Ces valeurs ont été introduites dans les bilans calculés sans CAS pour étudier l'effet de cette prise en compte dans les résultats d'émission de gaz à effet de serre de l'ensemble de chacune des filières.

**Tableau 8 – Valeurs pour le Changement d'Affectation des Sols directs**

Par ha de biocarburant considéré	Ethanol de Canne à Sucre kg CO <sub>2</sub> /ha/an	Ester d'Huile de Palme kg CO <sub>2</sub> /ha/an	Ester de Soja brésilien kg CO <sub>2</sub> /ha/an
Ordre de grandeur maximal	27 000	23 000	32 000
Ordre de grandeur scénarii intermédiaires	10 000	7 000	12 000
Ordre de grandeur scénarii modérés	3 000	1 500	5 000
Scénarii optimistes	-6 000 à -2 000 (valeur utilisée pour le calcul : -4 000)	-10 000 à -2 000 (valeur utilisée pour le calcul : -6 000)	0

**Tableau 9 – Valeurs pour le changement d'affectation des sols indirects**

Par ha de biocarburant considéré	Esters méthyliques kg CO <sub>2</sub> /ha/an	Ethanol kg CO <sub>2</sub> /ha/an
Ordre de grandeur maximal	7 500	27 000
Ordre de grandeur scénarii pessimistes intermédiaires	3 000	10 000
Ordre de grandeur scénarii pessimistes modérés	800	3 000
Ordre de grandeur de scénarii optimistes modérés	-1000	-1 000
Ordre de grandeur de scénarii très optimistes (basés sur les tourteaux)	-10 000 à -2 000 (valeur utilisée pour le calcul : -6 000)	-8 000 à -2 000 (valeur utilisée pour le calcul : -4 000)

On peut noter une différence de niveau pour les esters méthyliques entre CAS direct et indirect alors qu'ils sont assez proches, voire identiques pour les éthanol. Cela résulte des différences intrinsèques entre effet direct et indirect : dans le cas de l'effet direct et pour le scénario le plus défavorable considéré, un hectare de palme remplace un hectare de forêt primaire et donne donc un surcoût GES à l'hectare très fort. Dans le cas du changement indirect, c'est un kg d'huile qu'il convient de remplacer. Les différences de rendement d'huile à l'hectare entre colza et palme font que l'hectare de colza cultivé en France n'a besoin au maximum que de 0,20 hectare en zone potentielle de déforestation.

### 3.3. LES AMORTISSEMENTS

Conformément au référentiel, l'amortissement des sites industriels (raffineries et bioraffineries), l'amortissement du véhicule, ainsi que l'amortissement du matériel agricole et des bâtiments agricoles, n'ont pas été pris en compte. Cela est lié à la difficulté de pouvoir chiffrer précisément ces matériels, tant en terme de durée de vie (matériel agricole notamment) que d'allocation entre un nombre important de coproduits (raffineries).

### 3.4. LA CONSTITUTION DES INVENTAIRES D'ÉMISSIONS

Afin d'intégrer l'ensemble des polluants émis, des inventaires d'émission des sites industriels ont été élaborés. Ils sont issus des données déclarées en DREAL<sup>2</sup> par les industriels et figurant sur le site Internet du Registre des Polluants (iREP : site [www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php](http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php)). Même si elles sont officielles, ces données ne semblent pas toujours complètes pour certaines molécules. Un travail plus direct et plus fin avec les industriels permettrait de confirmer et d'affiner ces niveaux d'émission.

Les émissions vers l'environnement de l'étape agricole (pesticides, éléments traces,...) sont construites à partir de facteurs moyens issus de la bibliographie. La modélisation des apports phytosanitaires à l'environnement peut notamment être améliorée et affinée. De même, les apports d'éléments trace ont été estimés à partir de valeurs moyennes issues de la littérature et extrapolées pour chaque kg d'engrais apporté. Ces deux limites sont d'autant plus importantes que l'étude souligne le poids important de ces paramètres dans le résultat des filières biocarburants pour l'indicateur « toxicité humaine ».

### 3.5. LE MODELE DE CARACTERISATION UTILISE POUR LES IMPACTS EUTROPHISATION, OXYDATION PHOTOCHEMIQUE ET TOXICITE HUMAINE

Un modèle de caractérisation est une représentation d'un problème environnemental. Il propose ainsi une description de l'impact des différentes molécules émises sur ce problème. Il permet de construire des indicateurs qui en agrégeant des flux de molécules émises ou consommées, offrent une quantification du niveau d'impact. A titre d'exemple, le pouvoir de réchauffement global est l'indicateur caractérisant le problème du réchauffement climatique. Sur cette base, des facteurs de caractérisation ou facteurs d'impact sont calculés pour chaque gaz selon un protocole précis et fournissent un facteur de conversion vers une unité unique, le kg équivalent CO<sub>2</sub>.

Le modèle de caractérisation mis en place par l'université de Leiden et connu sous le nom de CML (version 3.4, dernière mise à jour de mai 2008) a été utilisé pour quantifier les indicateurs de santé humaine, d'oxydation photochimique et d'eutrophisation. Très répandu et utilisé dans le monde des ACV, ce modèle, comme tous ceux existants, présente ses limites et son parti pris de modélisation. Son rôle est pourtant primordial sur le résultat des indicateurs, notamment ceux qui se rapportent à la santé humaine et qui nécessitent d'agréger un nombre important d'hypothèses pour arriver à quantifier un risque sanitaire.

Sur l'indicateur « photo-oxydation », on peut souligner à titre illustratif le facteur d'impact nul accordé aux oxydes d'azote, malgré leur rôle de précurseur dans ce phénomène. Leur influence est intégrée indirectement seulement par deux jeux de valeurs « milieu avec une concentration élevée de NOx » et « milieu avec une concentration de NOx faible ». Sur l'eutrophisation, la modélisation de premier niveau ne permet pas de moduler selon les paramètres locaux du milieu d'émission, alors que ces derniers sont primordiaux (quel est le facteur limitant du milieu par exemple ?).

**Il faut donc lire les résultats sur ces indicateurs comme des niveaux « potentiels d'impact ».**

### 3.6. LA MODELISATION DE L'ETAPE « VEHICULE »

L'étape d'utilisation du carburant dans un véhicule est une étape complexe à modéliser. Elle est souvent négligée ou fortement simplifiée par les ACV sur les biocarburants. Pourtant, et surtout pour

<sup>2</sup> Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

des niveaux d'incorporation faibles, le moindre écart lors de cette étape peut peser sur le bilan du puits à la roue du carburant. Le choix d'un cycle de fonctionnement moteur pour mesurer les effets du changement de carburant, le choix des niveaux d'émissions ou la manière de gérer les émissions du mélange sont autant de questions qu'il convient de trancher pour réaliser une modélisation précise et objective de cette étape.

Sur ces sujets, les choix suivants ont été effectués pour conduire l'étude :

- ▶ Tout écart d'émission ou de composition par rapport au carburant initial résultant du mélange avec le biocarburant, est affecté au biocarburant.
- ▶ Les mesures des effets ont été limitées sur les véhicules légers, les véhicules lourds ayant des tendances globalement assez proches et n'ayant pas les mêmes disponibilités de cycles de référence ou de mesures.
- ▶ Les changements techniques des véhicules ne sont pas pris en compte car ils sont marginaux, notamment pour des incorporations en teneur modérée.
- ▶ Les mesures des émissions sont prises sur le cycle NDEC (Cycle Européen Normalisé), qui est le plus répandu pour les véhicules légers.
- ▶ Les niveaux d'émissions de référence des carburants fossiles des véhicules essence et diesel sont issus de deux études de l'IFP sur des véhicules récents répondant aux normes EURO 4 (Renault Clio III sans FAP et Citroën C4).
- ▶ Les évolutions des émissions lors de l'utilisation de biocarburant en mélange sont des tendances discutées et validées avec l'IFP à partir des diverses études conduites dans des situations de « stratégie constructeur » ou de motorisation variée.

Sur ce dernier point, il est important d'en souligner les limites. En effet, les données d'émission des véhicules, voire potentiellement les tendances, sont spécifiques à chaque application (moteur + véhicule). Les niveaux réels d'émissions véhicule sont liés à des stratégies d'optimisation du constructeur pour passer les normes au mieux et optimiser leur véhicule. Ces émissions dépendent de l'âge du véhicule. Il est donc difficile de faire la part entre tendances théoriques liées au carburant et niveaux réels d'émissions liés à des stratégies moteur. Les tendances d'évolution proposées ici sont un intermédiaire entre ces deux évolutions.

Sur ce sujet des émissions véhicule, il convient de souligner la prise en compte pour les éthanols d'un léger gain d'émission de CO<sub>2</sub>. Ce gain d'un gramme de CO<sub>2</sub> par km parcouru par rapport aux émissions théoriques, n'est pas neutre sur le résultat. Il crée une baisse de 4 g CO<sub>2</sub>/MJ d'éthanol dans les bilans complets présentés. A la limite de la mesurabilité, il doit ainsi être affiné par des mesures plus nombreuses pour être confirmé à plus grande échelle.

**Les écarts apparaissant lors de l'étape véhicule doivent donc être appréhendés comme des indications de sources potentiellement discriminantes, mais qui restent à confirmer par de plus amples mesures.**

## 4. PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

L'objectif premier de l'étude était de positionner les biocarburants par rapport aux carburants fossiles. Ainsi, les résultats de cette synthèse sont proposés dans cette optique comparative entre filières biocarburant et références fossiles.

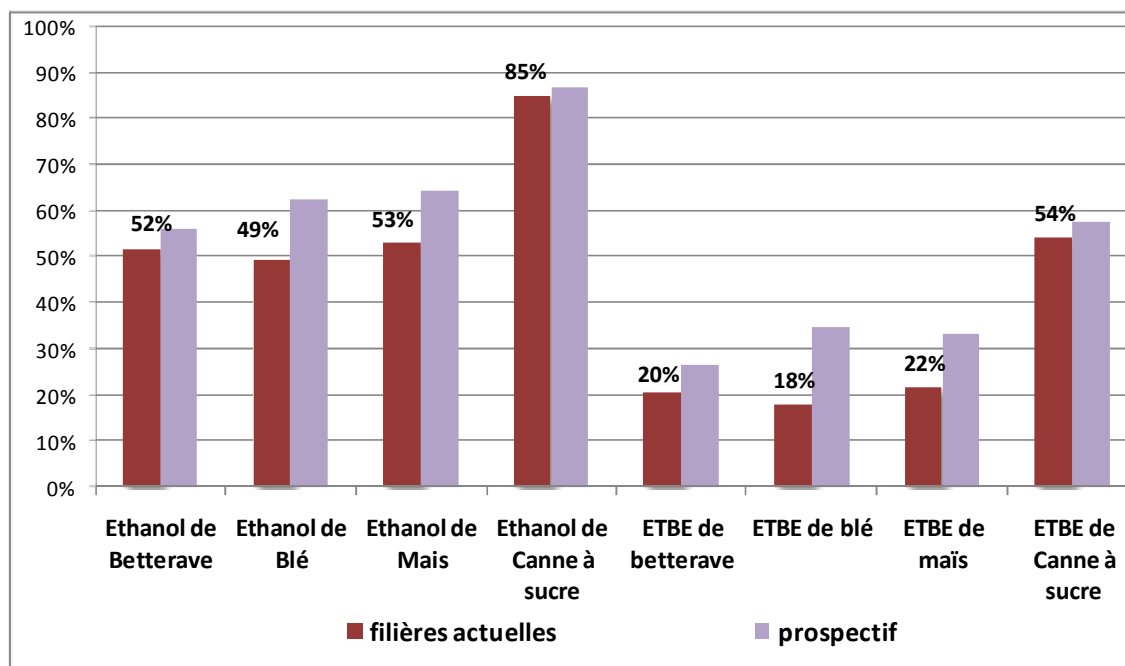
Prolongeant des études déjà réalisées sur le sujet, les résultats **par MJ de biocarburant** ont été privilégiés. Ils sont présentés pour chacun des 5 indicateurs étudiés et pour les filières principales (i.e. les filières majoritaires en France) dans leur fonctionnement actuel et prospectif (évolution possible à 5 ans).

## 4.1. LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE NON RENOUVELABLE

Les graphiques ci-dessous présentent respectivement la réduction de consommation d'énergie non renouvelable des bioéthanol par rapport à l'essence pure et des biodiesels par rapport au gazole pur pour la situation actuelle et pour le scénario prospectif

### 4.1.1. LES ETHANOLS

Figure 2 - réduction de la consommation d'énergie non renouvelable (en % de réduction par rapport à la référence fossile) : E10 (résultats identiques pour un E85)

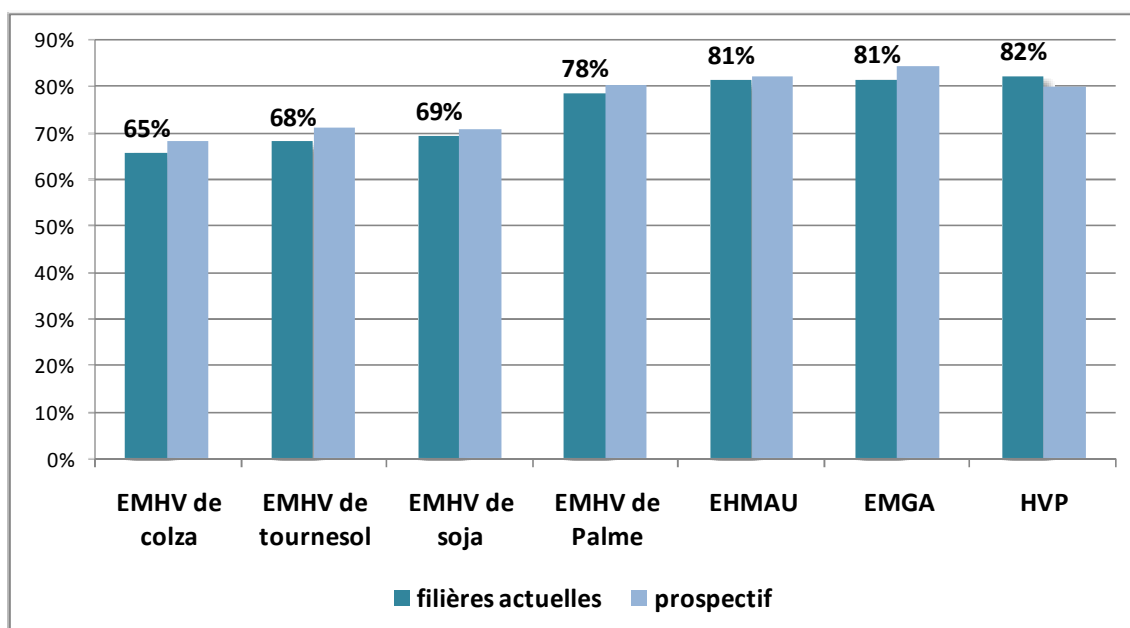


Pour l'éthanol de betterave, la consommation d'énergie non renouvelable du puits à la roue est inférieure de 52 % à celle d'une essence fossile. L'éthanol de blé et l'éthanol de maïs présentent des niveaux de réductions proches. Cette réduction atteint 85 % dans le cas de l'éthanol de canne à sucre. Elle devrait pouvoir atteindre 60 % dans quelques années pour les filières françaises (scénarii prospectifs). La réduction observée pour l'éthanol incorporé sous forme d'ETBE est inférieure à celle de l'éthanol incorporé directement (autour de 20 % de réduction par rapport à la filière fossile). Or, l'ETBE reste encore actuellement la forme majeure d'incorporation de l'éthanol dans l'essence en raison de ses facilités de mélange à l'essence fossile. On peut toutefois noter que cette part recule régulièrement depuis 2006.

Une autre manière de lire ces résultats consiste à regarder les rendements énergétiques (énergie contenue dans le carburant rapportée à l'énergie non renouvelable nécessaire à sa production), paramètre illustrant plus facilement le transfert entre énergie non renouvelable et énergie issue de ressources renouvelables. Ainsi, plus ce rendement est élevé et au dessus de 1, plus l'énergie produite pourra venir remplacer des énergies non renouvelables. Les éthanol présentent des rendements autour de 1,7 en incorporation directe, signifiant que pour un MJ d'énergie fossile investie, on arrive à produire 1,7 MJ d'énergie renouvelable. Avec un rendement autour de 5,5, l'éthanol de canne à sucre présente un transfert conséquent de ressource non renouvelable. Ce bilan se situe autour de 1 lorsque l'éthanol est mélangé sous forme d'ETBE. Mais cela reste supérieur au 0,82 MJ/MJf de l'essence. L'utilisation de 0,82 MJ d'essence aura au total consommé 1 MJ de ressources non renouvelables.

### 4.1.2. LES BIODIESELS

Figure 3 - réduction de la consommation d'énergie non renouvelable (en % de réduction par rapport à la référence fossile)



Les esters végétaux (EMHV) présentent des niveaux de réductions de l'ordre de 65 à 78 % par rapport au diesel fossile. L'huile végétale pure offre même une réduction de plus de 80 % par rapport à la consommation d'énergie non renouvelable d'un gazole. Les esters d'huiles usagées (EMHAU) et de graisses animales (EMGA) présentent eux aussi des bilans très intéressants les situant à plus de 80 % de réduction. Il convient cependant de garder à l'esprit pour cette dernière filière que la partie amont de production des graisses animales, assez consommatrice d'énergie, n'est pas intégrée au périmètre retenu, conformément aux recommandations de la Commission Européenne (statut de déchet accordé à ces matières).

Avec des rendements énergétiques entre 2,2 pour l'EMHV de colza et 4,2 pour les esters de graisses et huiles usagées, voire 5 pour l'EMHV de palme, les esters se positionnent très bien sur cet indicateur et loin devant le 0,80 MJ/MJf du gazole fossile.

### 4.1.3. COMMENTAIRES ET ANALYSES

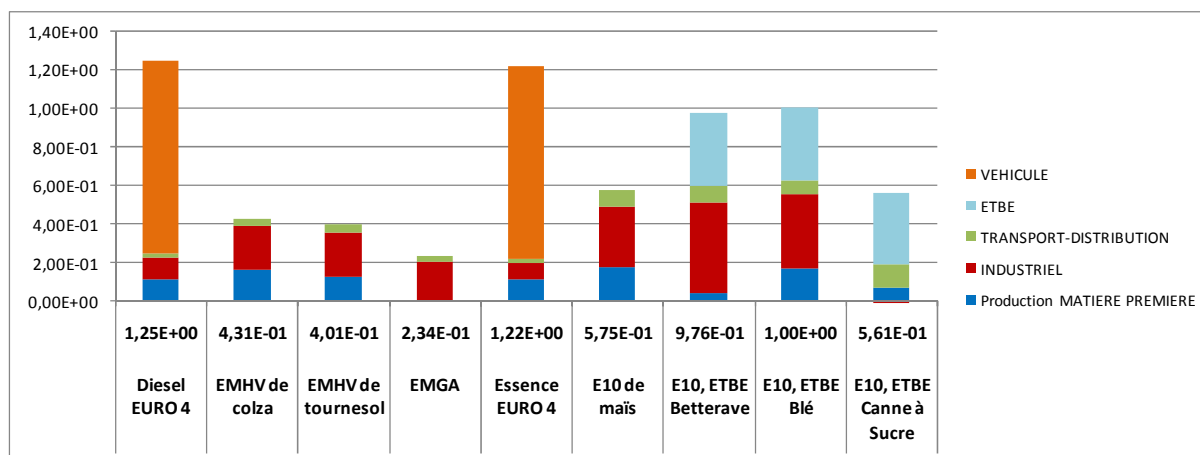
Les biocarburants affichent des bilans positifs par rapport aux carburants fossiles avec une réduction de 18 à 85 % de la consommation d'énergie non renouvelable du puits à la roue soit supérieure à la variabilité estimée de l'ordre de 10 % (variabilité à périmètre et méthodologie fixés, estimée à partir de la variabilité estimées des données sources). Les réductions sont plus importantes pour les biodiesels que pour les éthanol. Les bilans les moins bons sont observés pour les éthanol incorporés sous forme d'ETBE.

Les retours énergétiques des esters et des éthanol incorporés directement sont avérés et dépassent respectivement des rendements de 2 MJ et 1,7 MJ par MJ fossile investi.

Les étapes de transformation industrielle sont les premières à contribuer à cette consommation d'énergie fossile. Cela explique les rendements inférieurs des éthanol, qui nécessitent des étapes de fabrication plus consommatrices en énergie. Les engrais agricoles et la mécanisation, puis les

transports viennent ensuite, sauf pour les filières d'importation pour lesquelles les transports représentent le second poste contributeur. L'étape d'extraction est la plus consommatrice pour les filières fossiles.

**Figure 4 - Contribution des étapes du cycle de vie : Consommation d'énergie non renouvelable (Mj / MJ de carburant)**



Les bons résultats des filières canne à sucre et palme, ainsi que les évolutions attendues à 5 ans, soulignent un point important sur l'indicateur énergie. Cet état n'est pas figé, étant donné que les sources d'énergie utilisées peuvent évoluer. On assiste effectivement à une utilisation plus poussée d'énergie renouvelable basée sur l'utilisation de biomasse pour les filières françaises (cf. scénarii prospectifs, pour lesquels cet indicateur est celui qui évolue le plus). On peut même imaginer à terme des filières sans consommation d'énergie non renouvelable<sup>3</sup>.

Cet indicateur est considéré comme le plus robuste parmi ceux évalués lors d'une démarche d'ACV : complexité limitée de la mesure de ces consommations, données d'impacts des différentes sources d'énergie disponibles et relativement fiables. Des sources de variabilité existent cependant, associées aux données utilisées (les données des filières d'importation sont moins bien connues que celles collectées auprès des industriels du secteur), aux choix d'allocation ou de méthodologie retenus.

## 4.2. LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

Les graphiques ci-dessous présentent respectivement la réduction des émissions de GES des bioéthanol par rapport à l'essence pure et des biodiesels par rapport au gazole pur, pour la situation actuelle et le scénario prospectif. Les gains fournis en valeurs entières, doivent être lus comme des ordres de grandeur, du fait des limites inhérentes à l'étude. Il convient de noter aussi que les résultats sont donnés sans tenir compte de scénarii de changement d'affectation des sols.

<sup>3</sup> Ce transfert vers d'autres sources d'énergies, même renouvelables, ne doit pas toutefois occulter le besoin d'avoir des filières énergétiquement efficiente, produisant donc le plus d'énergie possible pour chaque unité d'énergie consommée, et donc la nécessité d'optimiser toujours plus les procédés pour réduire la consommation de toutes les formes d'énergie dans leur ensemble.

#### 4.2.1. POSITIONNEMENT DES DIFFERENTS ETHANOLS EN MATIERE D'EMISSION DE GES

Figure 5 - réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre pour les filières éthanol (en % de réduction par rapport à la référence fossile), sans prise en compte de changement d'affectation des sols

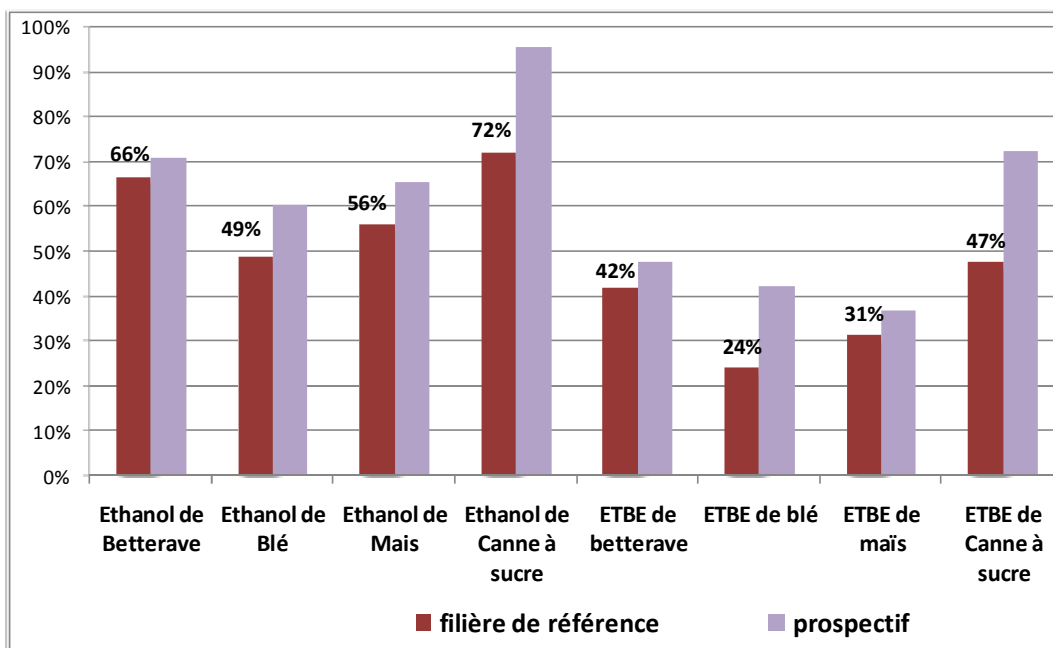
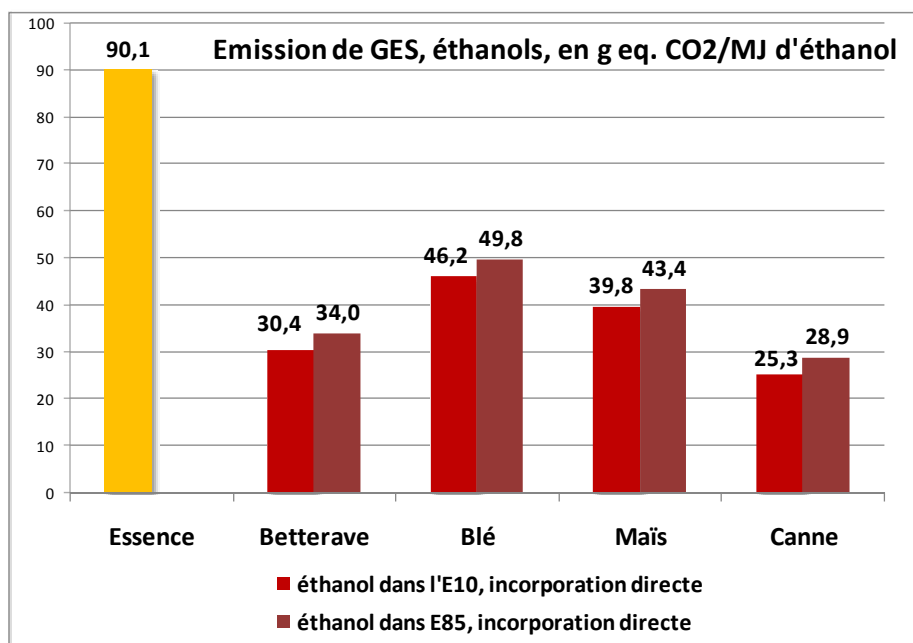


Figure 6 – Valeurs des bilans d'émissions de GES des filières éthanol, en incorporation directe dans un E10 ou un E85 (sans changement d'affectation des sols)

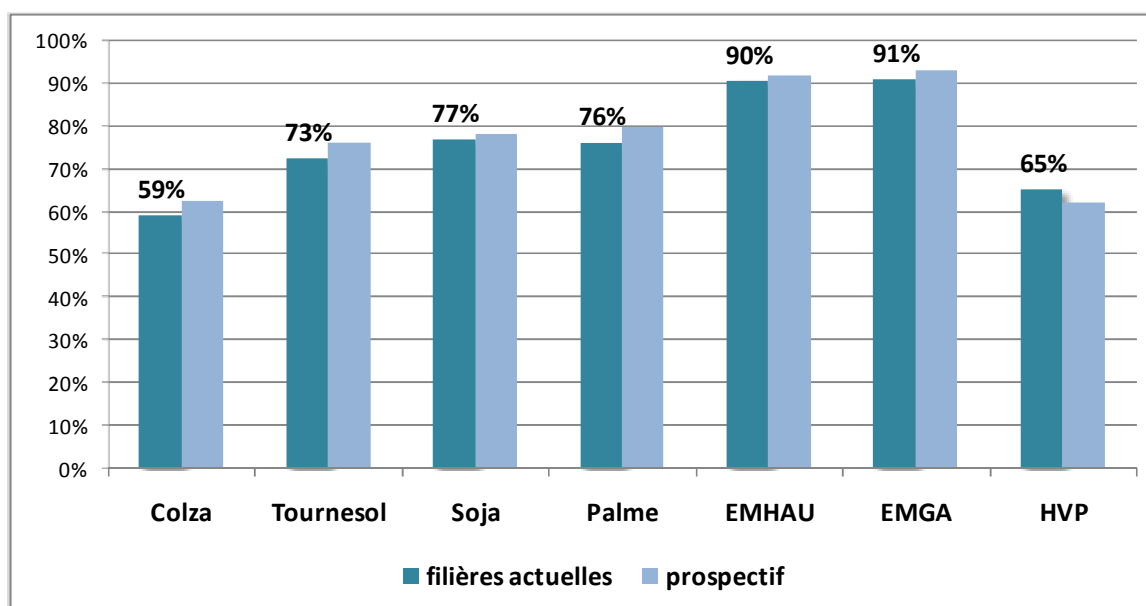


L'écart entre les résultats d'un E10 et d'E85 provient de l'étape véhicule. L'E85 est quasiment neutre sur cette étape alors que l'E10 permet de gagner légèrement sur les émissions totales de dioxyde de carbone. Ce crédit qui lui est ainsi accordé devra être confirmé par de plus amples mesures.



## 4.2.2. POSITIONNEMENT DES DIFFERENTS BIODIESELS EN MATIERE D'EMISSION DE GES

Figure 7 - réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre pour les filières Esters (en % de réduction par rapport à la référence fossile), sans changement d'affectation des sols.



## 4.2.3. COMMENTAIRES ET ANALYSES

Sans prendre en considération les changements d'affectation des sols, les biocarburants affichent des bilans positifs par rapport aux carburants fossiles, avec des réductions allant de 24 à 91 % du niveau d'émission de GES. A méthodologie fixée, ces gains dépassent les niveaux de variabilité des données et inventaires estimés de manière approchée par BIO IS aux alentours de 20 %, et principalement liés à l'incertitude sur le niveau d'émission du protoxyde d'azote. Les analyses de sensibilité menées pour tester les allocations confortent ces résultats. Seule la prise en compte de scénarii moyens à forts de changements d'affectation modifie de manière non négligeable ces résultats (voir paragraphe 4.2.4).

Pour les filières bioéthanol, les réductions observées sont plus importantes pour les biocarburants issus de plantes à sucre par rapport à ceux issus de céréales, les rendements élevés à l'hectare des premières expliquant cet écart. L'introduction de l'étape ETBE réduit ces gains en ajoutant environ 22 g eq CO<sub>2</sub>/MJ d'éthanol aux bilans respectifs des différentes filières de production d'éthanol. L'écart observé entre un E10 et un E85 provient des émissions de l'étape véhicule avec une réduction de 4 g CO<sub>2</sub>/MJ attribuée à l'E10 (contre 0,75 g CO<sub>2</sub>/MJ seulement pour l'E85). Du fait des limites de mesurabilités de cette réduction et de son extrême sensibilité dans le bilan, il sera nécessaire de confirmer cet élément dans des études ultérieures.

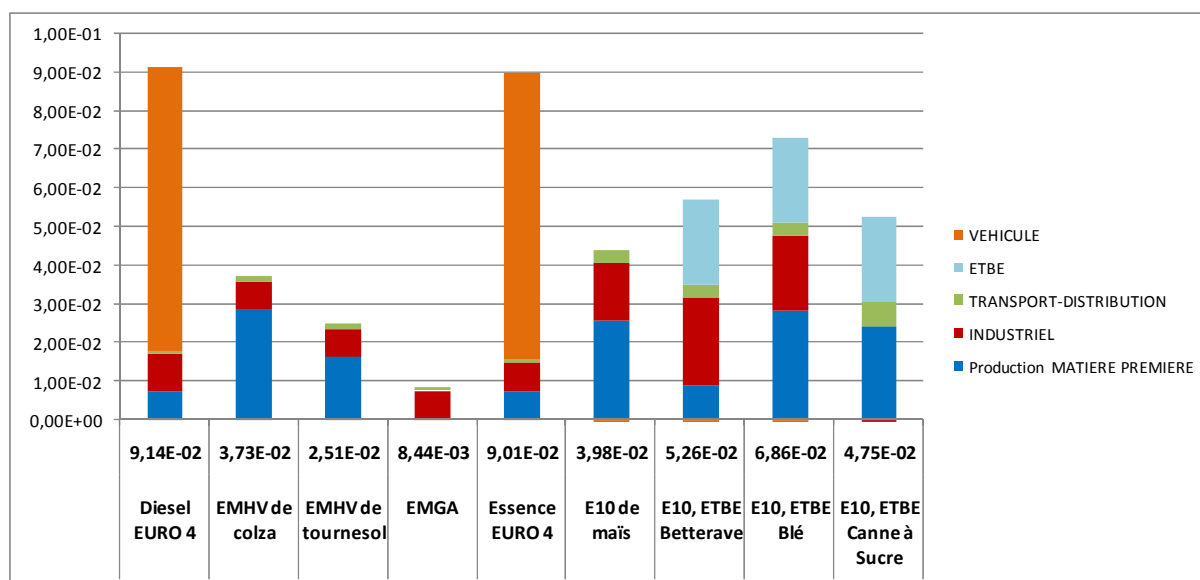
Pour la filière biodiesel, les réductions observées sont conséquentes pour l'ensemble des voies (entre 60 et 90 %). Elles sont plus importantes pour les biocarburants à base de déchets (huiles alimentaires usagées, graisses animales) que pour les biocarburants issus des matières premières agricoles. Ceci s'explique principalement par le fait que le statut de déchet conduit à ne pas prendre en compte d'impacts environnementaux avant l'étape de collecte (collecte auprès des usagers d'huiles alimentaires et collecte des graisses animales une fois extraites des autres sous-produits).

La comparaison des résultats de l'étude avec les valeurs de la directive EnR montre que les émissions globales de GES des biocarburants( sans prendre en compte le CAS) restent en deçà des valeurs par défaut définies à l'annexe V de la directive EnR 2009/28/CE. Il convient cependant d'être prudent, les

valeurs d'émission de N<sub>2</sub>O prises en compte dans le calcul sur lequel s'appuie la directive étant plus faibles (utilisation du modèle DNDC). Des éléments détaillés comparant à deux autres études sont proposés dans le rapport complet.

En termes d'étapes contributrices, les émissions des carburants fossiles ont lieu très majoritairement lors de la combustion avec l'émission de CO<sub>2</sub> d'origine fossile, ce qui n'est pas le cas des biocarburants qui émettent du CO<sub>2</sub> d'origine biogénique (i.e. capté par la plante depuis l'atmosphère, et donc neutre sur le bilan global). Pour les biocarburants végétaux, l'étape agricole est prépondérante à travers la fabrication des engrais et les émissions de protoxyde d'azote des sols. L'étape industrielle est importante, voire majoritaire pour l'éthanol de betterave ou les esters issus de déchets. Cette étape n'apparaît pas pour la filière canne à sucre dans la mesure où les industriels utilisent la bagasse (coproduit de la culture de canne) comme combustible, qui émet du CO<sub>2</sub> d'origine biogénique. Enfin, on peut noter que l'étape fabrication de l'ETBE à partir d'éthanol, consommatrice d'énergies fossiles, représente une part significative du bilan de ces biocarburants.

**Figure 8 – Contribution des étapes du cycle de vie : Emission de Gaz à Effet de Serre (kg eq. CO<sub>2</sub>/MJ)**



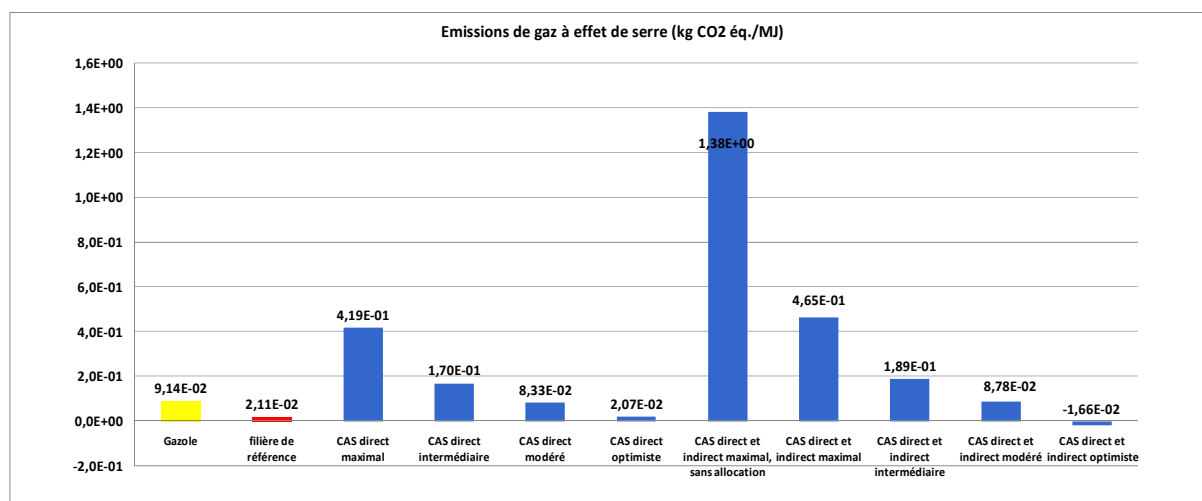
#### 4.2.4. SENSIBILITE DES BILANS GES AUX SCENARII DE CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS

Trois exemples de filières illustrent les résultats des analyses de sensibilité réalisées : le biodiesel de soja (CAS direct<sup>4</sup> pour le soja brésilien et indirect pour le soja américain) et les filières colza et betterave (CAS indirect<sup>5</sup>).

<sup>4</sup> CAS direct : conversion d'une surface cultivée ou non vers une culture biocarburants (ex: forêt par culture biocarburants)

<sup>5</sup> CAS indirect : une culture énergétique remplace une culture alimentaire. La culture alimentaire devra être produite ailleurs

**Figure 9 - Analyse de sensibilité : impact dans le bilan de la filière SOJA de scénarii de CAS direct (Soja brésilien) et indirect (soja américain)**

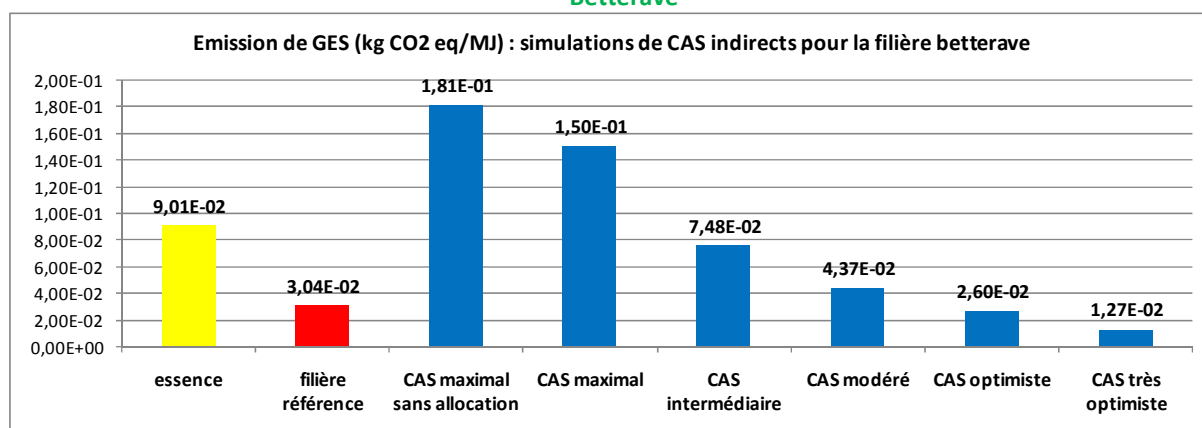


Dans le graphique ci-dessus, les termes « sans allocation » signifient que tous les impacts sont répercutés sur les biocarburants. On se reportera au paragraphe 4.7.4 du rapport pour plus de détails.

Les filières issues de cultures hors hexagone présentent en général des réductions des émissions de GES supérieures à celles des filières issues de cultures faites en France. Toutefois la prise en compte des hypothèses, moyenne à forte, de changements d'affectation directs des sols (CAS) pour ces filières inverserait ces bilans par rapport aux carburants fossiles.

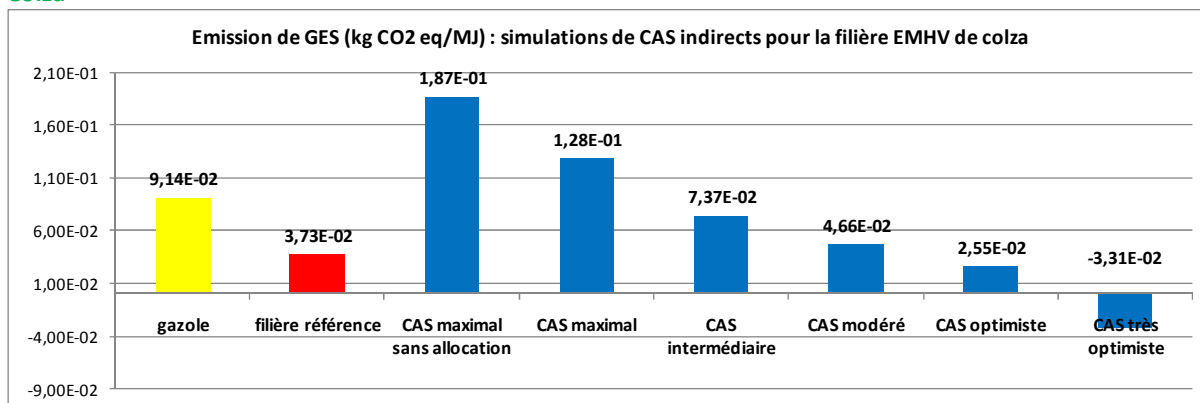
La filière la plus affectée est le biodiesel de soja, le bilan devenant défavorable dès la prise en compte d'un scénario intermédiaire. Les filières palme et canne à sucre sont dans des situations plus favorables, car seul le scénario le plus pessimiste leur fait perdre tout avantage par rapport au carburant fossile.

**Figure 10 - Analyse de sensibilité : impacts de différents scénarii de CAS indirect dans le bilan de la filière Betterave**



*Rappel : la filière de référence correspond à la valeur sans prise en compte de changement d'affectation*

**Figure 11 - Analyse de sensibilité : impacts de différents scénarii de CAS indirect dans le bilan de la filière Colza**



*Rappel : la filière de référence correspond à la valeur sans prise en compte de changement d'affectation*

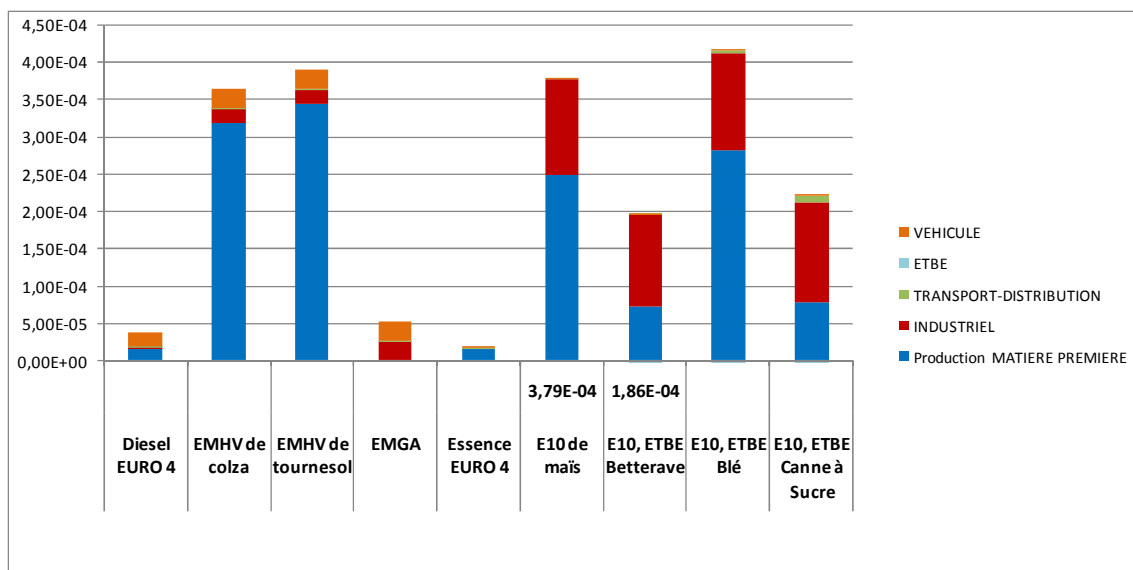
Le même constat peut être dressé lorsque l'on s'intéresse à l'impact potentiel du changement indirect d'affectation des sols sur le bilan des filières hexagonales. Les scénarii les plus pessimistes envisagés pour le changement indirect (remplacement d'1 kg d'huile de colza par 1 kg d'huile de palme produit entièrement à partir de cultures ayant remplacé une forêt tropicale humide) conduiraient à un bilan d'émissions de gaz à effet de serre plus négatif que celui des carburants fossiles. Les scénarii moins extrêmes pourraient ne pas renverser complètement le bilan par rapport aux carburants fossiles. Des scénarii optimistes (remplacement des imports de tourteaux de soja par les tourteaux européens et réduction d'autant de la déforestation liée à la progression du soja) conduiraient à un bilan très favorable. Les éthanol semblent plus sensibles au CAS indirect que les biodiesels avec les hypothèses utilisées pour construire ces scénarii.

L'importance de ces effets sur les bilans justifie de poursuivre les travaux afin de préciser la manière de prendre en compte le CAS dans les bilans de produits issus de matières premières agricoles.

### 4.3. LE POTENTIEL D'EUTROPHISATION

Avec des niveaux 10 fois plus élevés que les carburants fossiles, aussi bien pour les éthanol que pour les esters, les biocarburants présentent des bilans défavorables pour cet indicateur. Une fois transformé sous forme d'ETBE, le MJ d'éthanol montre un léger gain par rapport à l'incorporation sous forme brute mais qui est loin de contrebalancer la tendance globale.

Figure 12 - potentiel d'eutrophisation des différents carburants (en kg eq. PO<sub>4</sub><sup>3</sup> / MJ)



L'étape agricole est de loin la plus contributrice. Le lessivage des nitrates en est la cause première. Les émissions d'ammoniac vers l'air en raison des apports d'engrais conduisent à une contribution de près de 20 % de cette étape à cet impact. La légère augmentation des émissions de NOx lors de la combustion en véhicule (+3 %) est infime comparée aux lessivages en champ.

Les éthanolés présentent une répartition des émissions plus marquée par l'étape industrielle que les esters végétaux. Pour les éthanolés, cette étape dépasse même parfois l'amont agricole pour la betterave et la canne. Cela tient au niveau d'émission modélisé pour l'étape industrielle (notamment la demande chimique en oxygène, DCO : 0,04 kg DCO/kg éthanol contre 0,0018 kg DCO/kg EMHV). Cela est lié au traitement d'un nombre plus important d'effluents en éthanolerie, avec notamment les résidus (condensats...) du traitement des vinasses.

L'impact sur le potentiel d'eutrophisation est indéniablement en défaveur des filières biocarburants. Après avoir testé des hypothèses avec un lessivage des nitrates réduit à 0 unité par an, il est constaté que l'étape agricole pèsera toujours de manière prépondérante sur ces bilans à travers les émissions d'ammoniac ou de NOx lors de l'épandage.

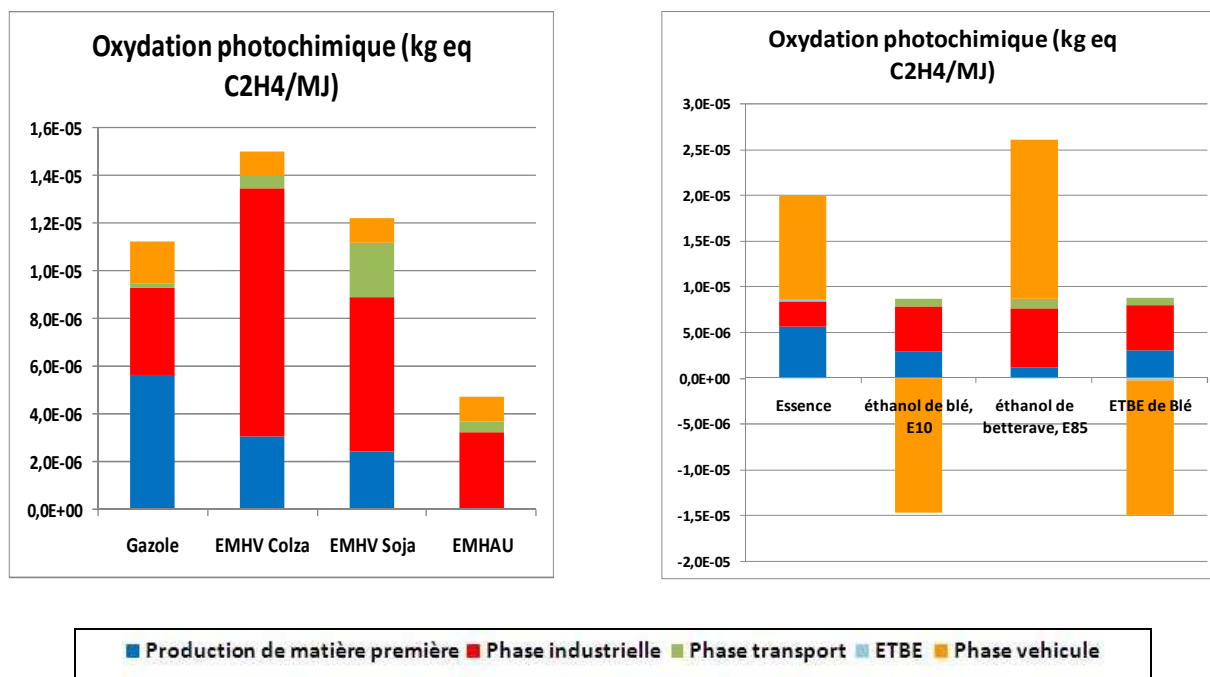
Il reste que le modèle utilisé ici est assez fruste et ne mesure qu'un potentiel d'eutrophisation. Une connaissance plus fine du milieu récepteur est seule à même de préciser le niveau réel de risque que présente cet écart sur l'environnement. L'amélioration des connaissances sur le lessivage et sur les cycles de l'azote (projet Nitro-Europe par exemple) contribuera à affiner la compréhension et la quantification de cet impact.

#### 4.4. LE POTENTIEL D'OXYDATION PHOTOCHIMIQUE

Pour cet indicateur et le suivant (toxicité humaine), moins robustes que les deux premiers (bilan énergétique et émissions des GES), il a été fait le choix d'une présentation plus qualitative des résultats. Le rapport complet fournira au lecteur les valeurs calculées.

La figure ci-dessous décrit les poids respectifs de chaque étape dans le bilan global et donne un aperçu des valeurs relatives entre filières. Attention, les échelles ne sont pas identiques.

Figure 13 – Photo-oxydation : résultats détaillés par étape du cycle de vie pour quelques filières



#### 4.4.1. LES ETHANOLS

Les éthanols incorporés dans l'essence en E10 présentent des bilans plus favorables que l'essence fossile qu'ils remplacent. Ces bilans montrent même en général des niveaux négatifs de potentiel d'impact. En effet, ils permettent, lors de l'étape de combustion, une réduction globale des émissions photo-oxydantes sur l'ensemble du carburant dans lequel ils sont mélangés, réduction qui contrebalance les émissions des autres étapes (voir figure ci-dessus). Cette réduction provient principalement de la diminution des émissions de monoxyde de carbone lors de l'étape véhicule. L'incorporation sous forme d'ETBE améliore légèrement ces bilans. En revanche, en raison d'émissions de COV augmentant avec la teneur en éthanol du mélange, les E85 ont des bilans légèrement supérieurs à ceux de l'essence (+30% environ).

Toutefois, il est important de rappeler que ces évolutions reposent sur trois paramètres de modélisation à préciser :

- la quantification des émissions de monoxyde de carbone lors de l'utilisation du carburant (quel niveau en moyenne sur un véhicule essence ? et quel facteur d'impact attribuer au kg de monoxyde carbone ?)
- les impacts relatifs attribués aux vapeurs d'éthanol par rapport aux autres COV émis lors de la combustion.
- Les valeurs tendanciennes « d'émissions véhicule » choisies, alors que les émissions réelles de chaque véhicule peuvent être très différentes selon les stratégies des constructeurs, le type et l'âge des véhicules.

Cela suppose aussi que l'on incorpore peu ou pas d'éthanol provenant de cultures sur brûlis, le bilan de l'éthanol devenant alors défavorable du fait de niveaux élevés d'émissions de CO.

#### 4.4.2. LES BIODIESELS

Les biodiesels issus de végétaux produits sur le sol français semblent légèrement plus émetteurs de molécules à pouvoir photo-oxydant que le carburant fossile de référence. Les esters produits à partir d'huiles usagées, de graisses animales, ou les HVP, présentent des niveaux inférieurs car n'utilisant pas d'hexane dans l'étape industrielle de production.

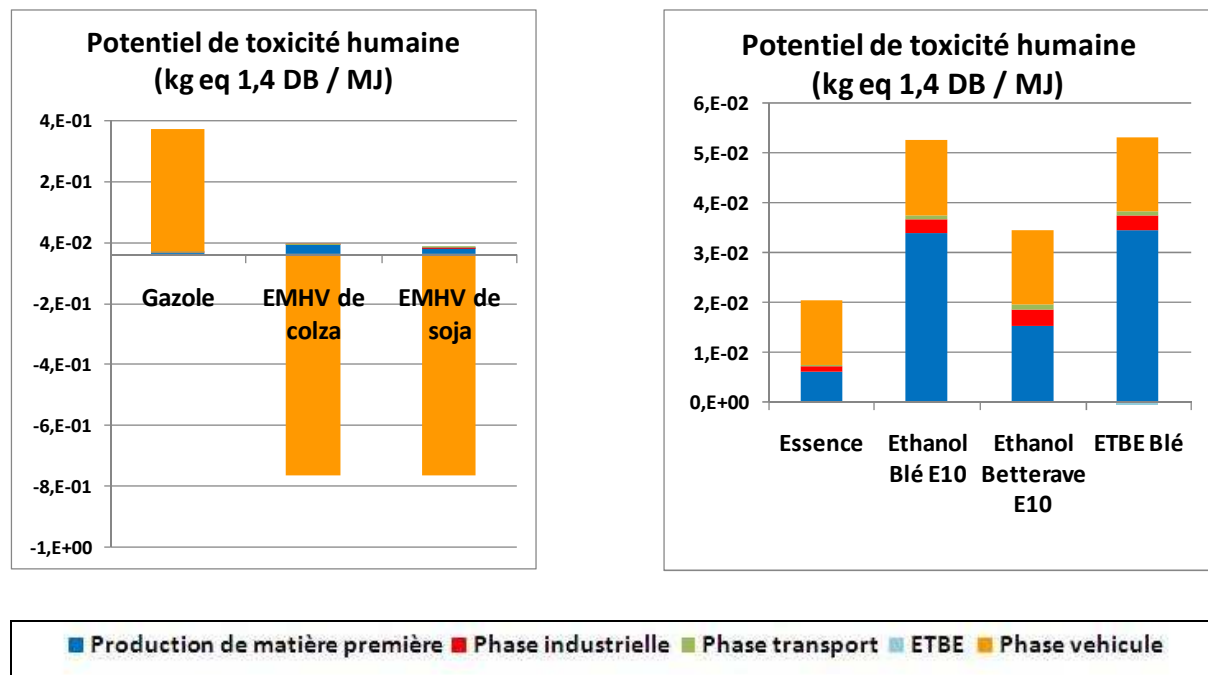
En effet, le bilan de l'ester de colza est lié à 70 % aux émissions d'hexane utilisé dans le procédé d'extraction de l'huile. L'étape agricole contribue au bilan de cet indicateur dans une moindre mesure, à travers la fabrication des engrais. Les transports jouent un rôle assez marqué pour les filières d'importation comme le soja, en augmentant la part des flux liés à la combustion (hydrocarbures, COV, SOx).

Compte tenu des exigences réglementaires plus fortes concernant la réduction des émissions de COV des sites industriels, ces calculs illustrent plutôt une équivalence sur cet indicateur entre esters et diesel, voire un gain des esters pour les filières utilisant des déchets.

#### 4.5. LE POTENTIEL DE TOXICITE HUMAINE

La figure suivante donne un aperçu des impacts des filières et des étapes contributives.

Figure 14 – Toxicité Humaine : résultats détaillés par étape du cycle de vie pour quelques filières



#### 4.5.1. LES ETHANOLS

Le potentiel de toxicité pour les éthanol et les essences est plus faible que pour les gazoles, les émissions véhicules étant moins pénalisantes. L'indicateur présente un niveau positif supérieur à celui de l'essence fossile de référence (deux fois et demi supérieur pour le blé, et 50 % plus fort pour la betterave). L'étape agricole est le contributeur principal, suivie à un niveau proche par la phase véhicule. Lorsque les éthanol sont incorporés sous forme d'ETBE, leur bilan présente une amélioration partielle sur cet indicateur, les produits fossiles composant l'ETBE bénéficiant d'inventaires d'émissions moins impactants pour leur fabrication.

Pour l'étape agricole, les apports de pesticides, puis ceux d'éléments traces métalliques via les engrais, apportent la contribution principale. La phase véhicule suit à un niveau proche par les très faibles émissions d'hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) attribuées à l'éthanol.

L'écart calculé reste cependant modéré et doit être fortement relativisé en raison de l'imprécision élevée de cet indicateur lié aux incertitudes de la méthode d'évaluation des impacts sur la santé humaine. On estime en général qu'un écart d'un facteur 10, voire 100, est nécessaire pour affirmer qu'une voie est meilleure qu'une autre.

#### 4.5.2. LES BIODIESELS

Les bilans présentent des valeurs négatives sur ce potentiel de toxicité. L'effet de levier (amélioration des émissions de l'ensemble du mélange) de la phase véhicule joue ici pour expliquer cette valeur. La phase agricole vient ensuite avec une contribution en défaveur des esters. Compte-tenu des facteurs d'impact utilisés, son potentiel d'impact est estimé vingt fois plus faible que les gains sur la phase véhicule.

On s'aperçoit que la réduction d'émissions d'hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) impacte le plus fortement cet indicateur de potentiel de toxicité. Ce paramètre explique quasiment à lui seul l'écart entre la filière fossile et les filières de biodiesel sur cette catégorie d'impact, et ce en raison d'un facteur de caractérisation du risque très fort pour les HAP dans la méthode CML retenue pour quantifier cet impact. En réduisant les émissions de HAP, les biodiesels semblent présenter un avantage par rapport au carburant fossile suffisamment intéressant pour contrebalancer les effets sur l'indicateur de potentiel de toxicité des apports de phytosanitaires. Cependant, il convient d'être prudent sur ce constat.

En effet, pour les deux filières, cet indicateur est celui présentant actuellement le plus d'incertitudes. Les facteurs de caractérisation à améliorer et l'impact fort de paramètres ayant un niveau de quantification et de modélisation moins fiables (pesticides, émissions mesurées en sortie de véhicule comme les HAP...) doivent être considérés avec précaution. L'utilisation d'autres méthodes de quantification des impacts potentiels à la place de CML apporterait un regard croisé permettant d'étayer ce premier résultat. Les travaux doivent aussi être poursuivis pour améliorer les connaissances sur les effets à long terme et à faibles doses de ces molécules. Aussi, comme pour tous les indicateurs où l'étape véhicule contribue fortement, la validation des tendances utilisées ici sur une échelle plus large est nécessaire pour confirmer les effets moyens simulés.



## 5. CONCLUSION

L'étude a permis de livrer une nouvelle « photographie » actualisée des bilans énergétiques, des émissions de gaz à effet de serre des biocarburants consommés en France par rapport aux carburants fossiles. Elle a également permis d'étudier 3 nouveaux impacts (potentiels d'eutrophisation, de photo-oxydation et de toxicité humaine). L'étude a été réalisée en prenant en considération l'état actuel des connaissances sur :

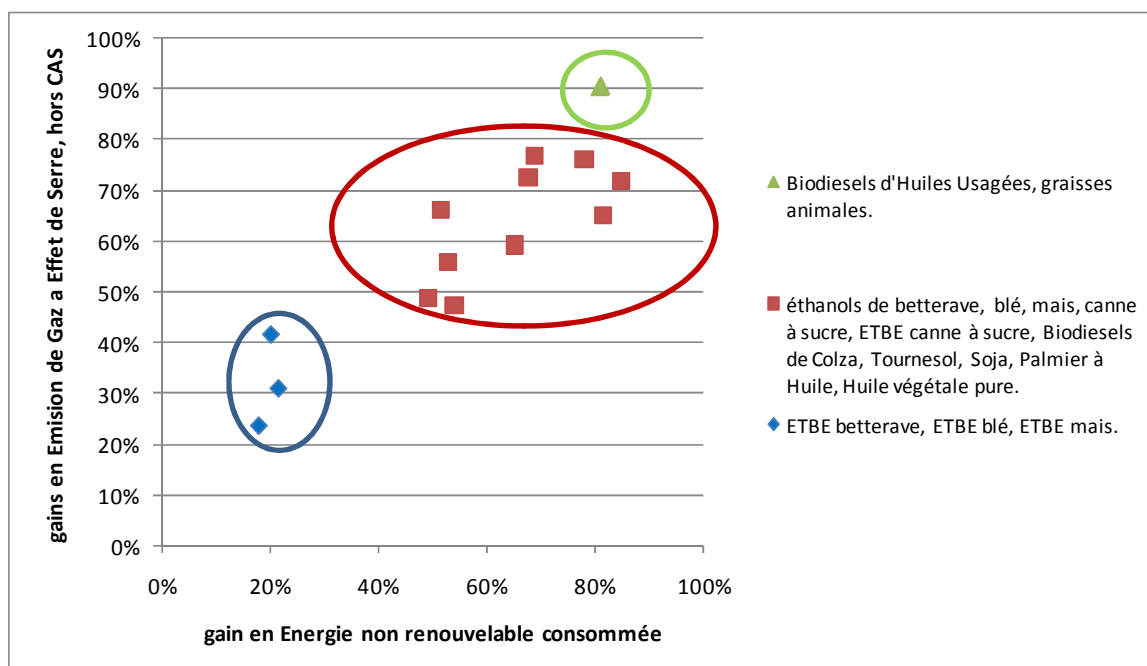
- les modes de production actuels des matières premières (agricoles ou non) et des biocarburants
- la simulation des émissions de N<sub>2</sub>O
- la modélisation et la quantification des impacts autres que la consommation d'énergie non renouvelable et les émissions de GES,
- une analyse de sensibilité concernant la prise en compte du changement d'affectation des sols

Sur ces bases, et sans prendre en compte des effets de changement d'affectation des sols, l'étude indique que les biodiesels et bioéthanol affichent des bilans énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre (GES) favorables que ceux des carburants fossiles de référence respectifs (gazole et essence).

La comparaison avec des études récentes (françaises ou européennes) montre une cohérence d'ensemble. Les réductions par rapport aux carburants fossiles sont en général inférieures à ceux de la précédente étude ADEME/DIREM de 2002 et supérieures à ceux de l'étude européenne ayant servi de base aux valeurs de la directive européenne. Les écarts relevés s'expliquent principalement par des différences méthodologiques (choix de méthodologie d'allocation des impacts, mais surtout modélisation des émissions de N<sub>2</sub>O) et de sources d'inventaires pour la production des intrants. Les données d'entrée diffèrent également mais les différences sont moins importantes dans la plupart des cas.

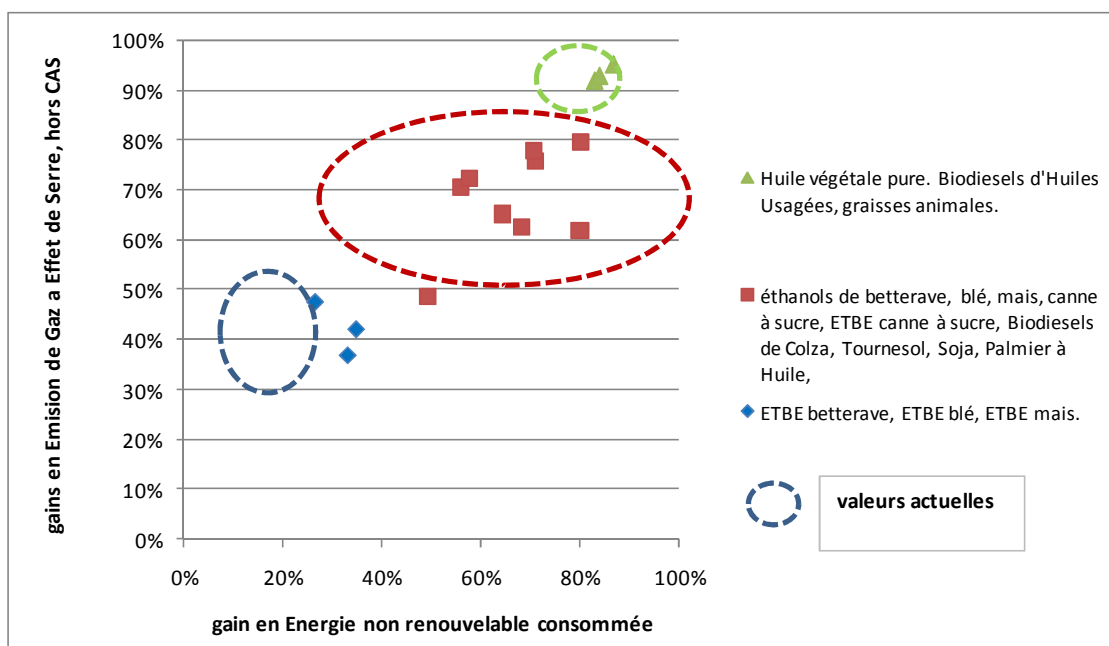
En résumé, la comparaison des bilans énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre issus de l'étude permet de regrouper les biocarburants en 3 catégories, comme représenté sur le graphique ci-dessous.

Figure 15 – % de réduction des émissions de GES par MJ en fonction du % de réduction de la consommation d'énergie non renouvelable des biocarburants par rapport aux carburants fossiles (sans prise en compte du changement d'affectation des sols)



- les filières présentant les meilleurs bilans (réductions supérieures à 80 % pour la consommation d'énergie non renouvelable et à 90 % pour les émissions de GES) : biodiesels à partir d'huiles alimentaires usagées et de graisses animales pour la filière gazole.
- les filières avec des bilans plus mitigés (réduction inférieure à 25 % pour la consommation d'énergie non renouvelable et inférieure à 50 % pour les émissions de GES) : ETBE de blé, de maïs et de betterave.
- entre les deux, les filières avec des bilans corrects (réduction de 49 à 85 % pour la consommation d'énergie non renouvelable et de 47 à 77 % pour les émissions de GES): éthanol de blé, maïs, betterave, canne à sucre, ETBE de canne à sucre, biodiesels de colza, de tournesol, de palme, de soja, huile végétale pure (colza).

Figure 16 – Evolutions possibles à 5 ans de ces bilans (sans prise en compte du changement d'affectation des sols)



- Ces bilans ne sont pas figés, comme l'illustre la figure ci-dessus. Contrairement aux filières fossiles pour lesquelles la majorité des impacts vient de la face consommation et présente des marges de progrès réduites, les bilans des filières biocarburants devraient s'améliorer avec une utilisation accrue des sources d'énergies renouvelables. De plus, des évolutions de méthodes culturales vers une accentuation de la limitation des intrants sont probables.

L'analyse des bilans d'émissions de GES des biocarburants sans tenir compte du changement d'affectation des sols, souligne de fait un bilan plus favorable des filières issues de cultures hors hexagone par rapport aux filières issues de cultures en France. Mais la prise en compte d'hypothèses moyenne à forte de changement d'affectation directs des sols (CAS) pour ces filières rend les bilans moins favorables par rapport aux carburants fossiles. La prise en compte de valeurs plus modérées de CAS pourrait permettre de conserver un gain pour la plupart des filières par rapport aux filières fossiles. L'importance et la variabilité de ce facteur imposent de construire des scénarii s'approchant au plus près de la réalité pour les différentes cultures. Il conviendra également de prévoir un suivi fiable des critères de durabilité avec les pays exportateurs.

L'étude s'est aussi penchée sur les transferts possibles de pollution. Les trois autres indicateurs offrent des bilans plus complexes à analyser mais dont les lignes principales sont les suivantes :

- Le potentiel d'eutrophisation des filières biocarburant semble se confirmer, à niveau proche de celui de nos cultures alimentaires, premier poste contributeur avant les étapes industrielles de transformation, et supérieur à celui des carburants fossiles.
- En ce qui concerne le potentiel d'oxydation photochimique, les esters ont des niveaux équivalents aux carburants fossiles, alors que les éthanol présentent des gains allant de favorables (E10) à moins favorables (éthanol de canne à sucre principalement) voire minimales (E85). Ces résultats, très liés aux émissions de l'étape véhicule, seraient à confirmer par des mesures véhicules plus élargies.
- Quant au potentiel de toxicité, l'étape véhicule pourrait venir compenser pour les esters les effets négatifs de l'utilisation de produits phytosanitaires pour produire la matière

première agricole. Il faut toutefois garder présent à l'esprit les mêmes réserves sur la mesure des émissions véhicule que pour le potentiel d'oxydation photochimique, ainsi qu'un besoin de confirmer la dangerosité comparée entre HAP et phytosanitaires. Les éthanol, en n'impactant pas les émissions de HAP, offrent des bilans plus défavorables pour cet indicateur que l'essence remplacée. Le niveau de l'écart calculé reste cependant inférieur à la précision estimée de cet indicateur complexe.

Ainsi, les grandes tendances attendues de ces trois indicateurs de potentiels d'eutrophisation, d'oxydation photochimique et de toxicité humaine se confirment globalement (poids fort du poste phytosanitaire, du lessivage d'azote). Mais d'autres points de réflexion apparaissent, avec notamment le rôle de l'étape véhicule qui semble pouvoir contrebalancer certaines des tendances attendues avec d'autres polluants dans les bilans de santé humaine comme les HAP, les émissions de CO.

La présente étude confirme les pistes de travail qui pourraient permettre l'amélioration de ces bilans, et notamment la nécessité de poursuivre des travaux sur la connaissance et la limitation du changement d'affectation des sols, ainsi que sur l'impact des produits phytosanitaires. D'autres pistes de réflexion ont aussi été identifiées au cours de cette étude, comme des travaux sur la toxicité des HAP ou du monoxyde de carbone. L'impact que peut avoir l'introduction des biocarburants sur le fonctionnement d'une raffinerie et l'amélioration des connaissances sur les émissions des véhicules mériterait des études dédiées.