



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

Synthèse

Septembre 2009

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 France Agrimer par BIO Intelligence Service

Coordination technique : – Département Bioressources

Direction des Energies Renouvelables, des Réseaux et Marchés Energétiques - ADEME

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble des acteurs ayant participé à cette étude, tant pour leur disponibilité, que pour la qualité des informations qu'ils nous ont délivrées. Le tableau ci-dessous rassemble l'ensemble des organismes ayant contribué à cette étude. En grisé apparaissent les membres du comité de pilotage.

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	MAP	TOTAL
FNE	MEEDDAT	VEOLIA ENVIRONNEMENT

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à 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 oeuvre 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 oeuvre et ce, 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

Sommaire

1. Contexte, objectif et organisation de l'étude	1
2. Principaux choix méthodologiques de cette ACV.....	2
2.1. Le référentiel 2008.....	2
2.2. Un large choix de filières étudiées	2
2.3. Cinq Indicateurs d'impacts environnementaux suivis	3
2.4. Unité fonctionnelle	4
2.5. Frontières du système.....	5
2.6. Règles d'allocation.....	5
2.7. Sources de données	6
3. Limites de l'étude	7
3.1. La modélisation des émissions de protoxyde d'azote N ₂ O et des apports d'engrais	7
3.2. La prise en compte du changement d'affectation des sols (cas)	8
3.3. Les amortissements	8
3.4. Constitution des inventaires d'émissions.....	8
3.5. Le modèle de caractérisation utilisé	8
4. Résultats	10
4.1. Résultats pour l'unité fonctionnelle.....	10
4.2. Les éthanol.....	11
4.3. Les esters.....	13
4.4. Bilans désagrégés par étape	14
5. Analyse de ces résultats	16

1. CONTEXTE, OBJECTIF ET ORGANISATION DE L'ETUDE

La directive 2009/28/CE du 29 avril 2009 sur les Energies Renouvelable (directive EnR) fixe un objectif contraignant demandant à ce que chaque Etat membre veille à ce que la part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans toutes les formes de transports soit au moins égale à 10% de sa consommation finale d'énergie dans le secteur des transports d'ici 2020. Cet objectif est donné sous la réserve que la production ait un caractère durable et que les biocarburants de la seconde génération soient disponibles sur le marché.

Parmi les critères de durabilité, il en est un majeur portant sur la réduction avérée des émissions de gaz à effet de serre d'au moins 35 % par rapport aux équivalents fossiles. La détermination de ce gain nécessite de conduire une analyse de cycle de vie du biocarburant produit. Un tel travail est complexe et nécessite des hypothèses de calcul influençant de manière non négligeable le résultat. L'existence d'effets indirects sur les marchés ajoute à cette complexité. Ces difficultés alimentent la critique et la diffusion de messages contradictoires sur le caractère bénéfique ou non de ces filières.

Dans ce contexte et pour éviter les écueils et critiques des méthodologies de calculs mobilisées, les pouvoirs publics français ont d'abord souhaité disposer d'un référentiel méthodologique d'analyse des impacts des filières biocarburants sur les gaz à effet de serre et les consommations d'énergie liés à ces filières au niveau français. Ce travail a été conduit en 2007-2008 et a abouti à la rédaction d'un référentiel définissant des recommandations pour la réalisation d'ACV pour les biocarburants.

La présente étude s'est vu confiée l'objectif de **réaliser l'analyse de cycle de vie des filières biocarburants actuellement consommées en France** (appelées aussi « de première génération ») en appliquant les principes retenus dans le référentiel de 2008.

Ce travail a été réalisé avec l'accompagnement d'un comité technique, à la composition large (acteurs industriels, instituts techniques, centres de recherches, associations environnementales, et commanditaires institutionnels de l'étude). Ses deux rôles principaux ont été de :

- fournir des contacts, données et éléments techniques,
- valider les choix techniques proposés par le prestataire.

La participation active de chacun a permis au prestataire de disposer de données réelles issues de sites représentatifs français actuellement en fonctionnement ou en phase d'installation et de compilations bibliographiques récentes pour certaines des filières d'importation (éthanol de canne à sucre).

2. PRINCIPAUX CHOIX METHODOLOGIQUES DE CETTE ACV

2.1. LE REFERENTIEL 2008

L'étude préparatoire de 2008 visait à revisiter les questions méthodologiques faisant débat lors de la réalisation d'ACV sur les biocarburants, pour en proposer une synthèse et préconiser une approche quant à la manière d'aborder cette question. Cette synthèse méthodologique a donné lieu à l'élaboration d'un référentiel définissant ainsi des recommandations pour la réalisation d'ACV sur ce domaine. Toute personne désirant un niveau de détail plus fin peut utilement se reporter au référentiel, disponible en téléchargement sur le site Internet de l'ADEME :

<http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=54210&p2=14228&ref=14228>.

La présente étude s'appuie sur ces recommandations pour réaliser les ACV des filières carburants. Elle élargit lorsque nécessaire le champ d'étude. Elle a ainsi nécessité l'intégration de filières comme l'ETBE et les filières graisses animales et huiles alimentaires usagées. Les questions méthodologiques afférentes à ces nouvelles filières sont développées dans une partie spécifique.

2.2. UN LARGE CHOIX DE FILIERES ETUDIEES

Le champ de la présente étude couvre l'ensemble des biocarburants disponibles sur le marché avec des technologies éprouvées. Les filières bioéthanol (betterave, maïs, blé et canne à sucre, en incorporation directe ou sous forme d'ETBE), les filières biodiesel (colza, tournesol, soja, palme, graisses animales et huiles alimentaires usagées) ainsi la filière Huiles Végétales Pures (HVP) ont ainsi été étudiées.

En cherchant à quantifier le gain des filières biocarburants, il a bien entendu été nécessaire de s'intéresser aux carburants fossiles. Les filières pétrolières de production de diesel et d'essence ont été prises en compte, sous deux spécifications : EURO4 et EURO5.

Enfin, cette étude a couvert deux types de carburant pour chaque biocarburant :

- un niveau d'incorporation de 10% en volume : E10 (mélanges de 90% en volume d'essence et 10% d'éthanol ou de son équivalent en ETBE) et B10 (la même chose entre 90% de diesel et 10% de biodiesel en volume)
- un niveau d'incorporation plus élevé : E85 pour l'essence (85% d'éthanol en volume) et B30 pour les gasoils (30% de biodiesel en volume).

L'essence et le diesel fossile ont parfois la dénomination d'E0 et de B0 respectivement.

2.3. LES CINQ INDICATEURS D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX SUIVIS

Afin de s'assurer qu'on n'assiste pas à un transfert de pollution vers d'autres types d'impacts environnementaux et sanitaires, il a été décidé d'étudier 5 catégories d'impacts représentant un spectre large de problématiques environnementales.

■ Indicateur de réchauffement climatique : les émissions de Gaz à Effet de serre

Cet indicateur caractérise l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne en substances d'origine anthropique telles que le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), ou le protoxyde d'azote (N₂O). Ces émissions perturbent les équilibres atmosphériques et participent au réchauffement climatique. L'unité retenue est le kg éq CO₂.

Tableau 1 – Pouvoirs de Réchauffement Global (PRG) utilisés

Composés contributeurs au réchauffement climatique	Pouvoir de réchauffement sur 100 ans
Dioxyde de carbone, fossile	1
Méthane, biogénique	23
Méthane, fossile	23
Protoxyde d'Azote N ₂ O	296
1,1,1,2-tétrafluoroéthane (HFC-134a)	1300
bromochlorodifluorométhane (Halon 1211)	1300
chlorodifluorométhane (HCFC-22)	1700

■ Indicateur d'impact contribuant à l'épuisement des ressources non renouvelables : la Consommation d'énergie non renouvelable

Il comprend toutes les sources d'énergie qui sont extraites des réserves naturelles (charbon, gaz naturel, pétrole et uranium). L'unité est le MJ. Il figure souvent sous forme MJf dans les tableaux, MJ « fossile » par abus de langage.

■ Deux Indicateurs d'impacts sur la santé humaine :

▶ Oxydation photochimique

Cet indicateur caractérise les impacts dus aux substances organiques. Il est exprimé en kg éq C₂H₄ (éthylène). Il traduit un ensemble de réactions complexes entre les composés organiques volatils et les oxydes d'azote conduisant à la formation d'ozone de basse atmosphère. L'ozone troposphérique a des effets néfastes sur la santé humaine et sur les végétaux.

▶ Toxicité humaine

Cet indicateur évalue les effets toxicologiques chroniques sur la santé humaine des substances cancérigènes et non cancérigènes. Il est exprimé en kgéq 1.4 DB (Di chlorobenzène).

2.4. L'UNITE FONCTIONNELLE

Cette 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 « **parcourir un km** ».

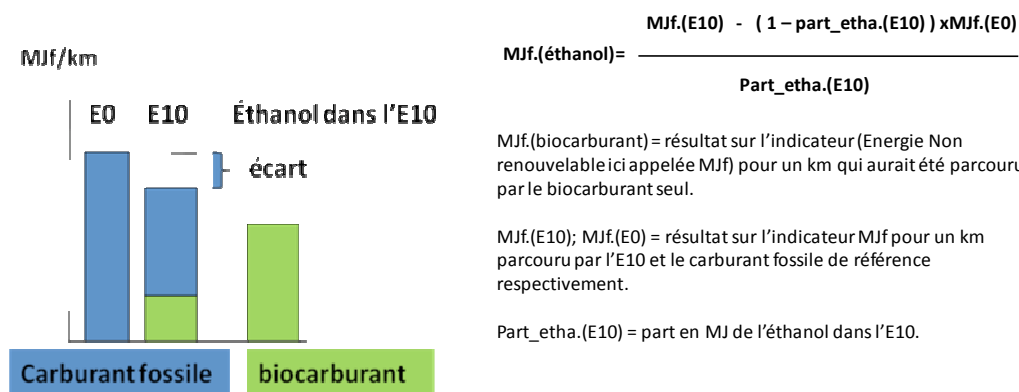
Tous les calculs ont été faits pour cette unité fonctionnelle. Mais afin de présenter des valeurs sur une base plus commune et permettant une interprétation plus aisée des résultats, notamment pour la comparaison avec la directive EnR et l'étude JRC qui lui sert de base pour les biocarburants, il a été décidé de présenter la majorité des résultats « par MJ de carburant ».

Aussi, les biocarburants ne sont pas utilisés purs dans nos voitures (à l'exception de l'huile végétale pure, mais qui nécessite des adaptations moteurs), mais en mélange avec des carburants fossiles. Les émissions mesurées en sortie d'échappement sont donc issues de ces mélanges. Afin de proposer un bilan qui ne porte que sur la partie biocarburant de ce mélange, il a donc été nécessaire de réaliser une seconde étape de traitement des résultats. Le tableau ci-dessous explicite les calculs qui ont été réalisés.

Tableau 2 – Lien entre les résultats par km parcouru et par MJ

Les calculs ont été réalisés en fonction de l'unité fonctionnelle définie par le fait de parcourir un km. L'étape véhicule prend donc en compte les données d'émissions vers l'air mesurées sur carburant réel comme le E10, E85 ou le B10 ou B30. Ces carburants contiennent tous une part de carburant fossile, les effets attendus du biocarburant sont donc proportionnellement réduits. Il est donc nécessaire de réaliser un retraitement des résultats pour vraiment donner l'impact sur un cycle de vie du biocarburant seul et non en mélange.

Le principe retenu pour le passage « bilan d'un E10 » au « bilan de l'éthanol seul utilisé dans un E10 » est le suivant : l'écart **mesuré entre les émissions sur le cycle de vie d'un carburant contenant une partie de biocarburant (E10, B10,...) par rapport aux émissions du carburant fossile de référence est à imputer en totalité au biocarburant**, selon la formule ci-dessous. Cela revient à dire que seule la perturbation (l'incorporation de biocarburant) porte les écarts engendrés au niveau des émissions véhicule. Un niveau d'impact par « km parcouru par le biocarburant seul » est ainsi calculé, selon la formule ci-dessous.



Un second traitement paraît aussi nécessaire : le MJ de carburant est bien souvent l'unité la plus utilisée des études réalisées sur le sujet comme de la Directive. Il a ainsi été nécessaire de convertir ce résultat dans une seconde unité. La majorité des résultats sont d'ailleurs présentés sous ce format là. De manière plus simple ici, le résultat issu du premier traitement est divisé par la consommation moyenne du carburant étudié pour obtenir le résultat par MJ de carburant.

Soulignons l'existence d'un « effet de levier du mélange » lors de la phase véhicule. Des flux ou des indicateurs négatifs peuvent apparaître pour cette étape lorsque le résultat est ramené au biocarburant du mélange. En effet, en imaginant que l'incorporation de 10% d'ester (B10) fait passer les émissions du véhicule de 100 pour le carburant fossile pur à 80 pour le B10, on considère que non seulement l'ester n'émet rien (l'émission du B10 serait alors de 90), mais aussi qu'il a permis de réduire de 10 les émissions de la part fossile du mélange. Ce sont ces -10 qui sont attribués au 10% de biocarburant, soit -1 pour chaque unité. Cet effet existe aussi pour l'ETBE, l'incorporation de composants fossiles avec l'éthanol (propène, isobutène) sous forme d'ETBE remplaçant une quantité d'essence plus importante que la seule part de l'éthanol. L'écart de bilan entre cette essence remplacée et les molécules fossiles intégrant l'ETBE a été attribué à l'éthanol.

2.5. LES FRONTIÈRES DU SYSTÈME

L'étape agricole :	le système considéré est la parcelle agricole. Sont pris en compte: <ul style="list-style-type: none"> - la consommation de fioul pour la culture et pour son transport, - les intrants de fertilisation, de défense des végétaux, - le séchage ou l'irrigation le cas échéant, les semences. - Les émissions de N₂O, 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
L'étape industrielle :	De la même façon que précédemment, 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 flux d'intrants principaux sont l'énergie consommée pour la production et les réactifs nécessaires. Les émissions des bio raffineries sont aussi intégrées.
Les étapes transports et distribution :	les consommations et émissions liées aux transports des produits étudiés : distance parcourue, type de transport,.... La distribution comprend uniquement l'électricité nécessaire au fonctionnement des stations services
L'étape de production de l'ETBE :	l'ETBE est fabriqué à partir d'éthanol pour ses propriétés intéressantes de carburant (volatilité, indice d'octane,...). Pour cette étape supplémentaire, les flux d'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.
L'étape véhicule :	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 cette étude. Les amortissements et réparation du véhicule sont considérés identiques ou en tout cas de variation marginale, quel que soit le carburant.
Pour les filières fossiles,	Ces mêmes étapes sont prises en compte et intègrent la production du pétrole brut, son transport, son raffinage, sa mise à disposition et les émissions afférentes.

2.6. LES RÈGLES D'ALLOCATION

Un des points sensibles de toute ACV réside dans les règles définies pour répartir les charges environnementales entre produits étudiés et éventuel(s) coproduit(s). Ce choix mérite d'être clairement explicité de part son influence sur le résultat.

Les règles d'allocation utilisées pour les coproduits sont celles définies dans le référentiel 2008. Le tableau ci-dessous synthétise les recommandations faites, les explications plus détaillées des raisons conduisant à ces choix sont à lire dans le référentiel lui-même.

Tableau 3 – Synthèses des recommandations concernant les méthodes d'allocation

Les coproduits sont...	La méthode recommandée est	Précaution
...épanchés	Substitution	...
... utilisés en alimentation animale	Prorata énergétique entre coproduits d'une étape	Faire une analyse de la réalité physique du procédé en amont
...utilisés dans l'industrie		
...utilisés à des fins énergétiques	Substitution	Mix énergétique si export d'électricité

Ainsi, pour l'allocation entre biocarburants et tourteaux alimentaires, les prorata énergétiques ont été appliqués pour cette ACV. Cela signifie que les charges d'une étape considérée sont attribuées à un produit au prorata de sa quote-part énergétique, obtenue en multipliant les masses des produits par leur PCI à sec, dont les valeurs sont données en annexe 3.

Les filières fossiles n'ont pu être traitées sous ce principe. La complexité de l'étape de raffinage présentant une multiplicité d'étapes et de coproduits rend les approches d'allocation délicates. Il a été préféré l'utilisation des travaux de l'étude JEC 2007. Ces derniers, par calcul incrémental sur le gasoil et l'essence, attribuent à ces productions l'écart de consommations et d'émissions de la raffinerie lorsque cette dernière cherche à augmenter leur production d'une unité. Ainsi, sur le total des consommations d'énergie et des émissions de CO₂, il est retenu les valeurs ci-dessous pour un MJ de gazole et d'essence.

Tableau 4 – Bilans EF et GES des carburants pétroliers - Résultats de l'étude [JEC 2007]

Données considérées dans l'étude JEC 2007	Gazole	Essence
Consommation d'énergie	0,10 MJ / MJ	0,08 MJ / MJ
Emissions de GES	8,6 g eqCO ₂ / MJ	6,5 g eqCO ₂ / MJ

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 cette étude, à savoir ARVALIS (céréales), le CETIOM (oléagineux), et l'ITB (betterave). La majorité d'entre elles proviennent des données annuelles ou des enquêtes « pratiques culturales » réalisées par le SCEES, service statistique du Ministère de l'agriculture.

La majorité des données d'entrée des sites de production de biocarburant ont été fournies par les grands industriels du secteur (cf. tableau ci-dessous).

Tableau 5 – Sources des données utilisées

Type de biocarburant	Transmis par, partie agricole	Transmis par, partie industrielle	Type de biocarburant	Transmis par, partie agricole	Transmis par, partie industrielle
EMHV Colza EMHV Tournesol	CETIOM	PROLEA	HVP	CETIOM	Bibliographie + FNCUMA
EMHV SOJA	Bibliographie	PROLEA	Ethanol Blé	ARVALIS	TEREOS
EMHV huile de palme	Bibliographie + validation CIRAD	PROLEA + BIOCAR	Ethanol Betterave	ITB	CRISTAL-UNION
EMGA	/	SARIA	Ethanol Maïs	ARVALIS	ABENGOA
EMHAU	/	VEOLIA	Ethanol Canne à sucre	Bibliographie + validation CIRAD	Bibliographie + validation TEREOS
ETBE	//	TOTAL LYONDELLBASELL			

3. LES LIMITES DE L'ETUDE

Pour comprendre et objectiver les résultats de toute ACV, il est important d'en connaître précisément les choix méthodologiques, leurs raisons et les limites qu'ils induisent. En complément des points méthodologiques précédents, sont ici rappelés ce qui nous semble être les points principaux de vigilance à avoir dans la compréhension des hypothèses sous-tendant les résultats obtenus.

3.1. LA MODELISATION DES EMISSIONS DE PROTOXYDE D'AZOTE N_2O ET DES APPORTS D'ENGRAIS

Il n'existe pas au niveau français de valeurs de facteurs d'émissions ou de modèle actualisé, validé et reconnu au niveau international dans la même mesure que le GIEC. Ainsi, le référentiel méthodologique recommande l'utilisation des facteurs d'émissions du GIEC. Il a été retenu les émissions suivantes :

- ▶ **Facteur d'émissions directes** : 1 % $kgN_2O-N/kg N$, dont azote contenu dans les résidus de culture
- ▶ **Facteur d'émissions indirectes** : 0,75 % $kgN_2O-N/kg NO_2-N$ de l'azote lessivé, et 1 % $kgN_2O-N/kg NH_3-N$ de l'azote volatilisé.

Deux points ont cependant fait l'objet d'adaptations, comme proposés par le GIEC au sein des approches Tier 2 :

- ▶ 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.

Il est dommageable qu'un des points clés de la quantification des émissions de gaz à effet de serre soit entaché de tant d'incertitude quant à son niveau réel d'émission. **Devant ces 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, la présente étude adopte une position prudente en restant dans une lecture assez proche des travaux du GIEC, avec des valeurs d'émissions semblant plutôt dans la fourchette haute des émissions mesurées aux champs.**

Concernant les apports d'azote, il a été cherché à prendre en considération l'impact de chaque culture sur la disponibilité d'azote dans la rotation. En effet, certaines cultures vont nécessiter des apports importants mais laisser une partie de cet azote disponible dans le sol pour les cultures suivantes (cas de la betterave par exemple). Afin de réaliser une attribution plus juste des charges environnementales d'une culture, le différentiel d'azote entre l'azote contenu dans les résidus du précédent et l'azote des résidus de la culture étudiée a été ajouté aux apports d'engrais minéraux azotés. On substitue ainsi l'azote des résidus par un apport minéral, équilibrant mieux les apports sur une rotation au besoin des cultures. Ce redécoupage des apports entre cultures est neutre sur une rotation, les cultures bénéficiaires nettes et excédentaires se compensant.

Cette modélisation, bien qu'elle cherche à améliorer la pratique courante d'attribution à une culture des apports d'engrais sur l'année où cette culture est en place, est de premier niveau et pourra bien entendu être améliorée. Une réflexion basée sur les exportations d'azote par culture serait une voie se rapprochant encore de la notion de « besoin physiologique de la plante ».

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

Devant l’absence de modélisation faisant référence sur ces sujets, il n’a pas été envisagé d’intégrer pleinement dans le cadre de cette étude un modèle traitant du sujet et proposant une valeur plausible et consensuelle. Ainsi, le principe retenu a été d’aborder cette question de manière plus modeste à travers une analyse de sensibilité servant à alerter des impacts potentiels que peuvent prendre les biocarburants via ces questions de changements des sols. Cette analyse de sensibilité a consisté à introduire des valeurs d’émission de Gaz à Effet de Serre sensées représenter les deux composantes du problème :

- ▶ les émissions liées à la déforestation et changements dans le stock de carbone
- ▶ l’attribution via une chaîne de causalité de ces effets attribuables aux biocarburants.

3.3. LES AMORTISSEMENTS

Conformément au référentiel, l’amortissement des sites industriels (raffineries et bio raffineries), 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’EMISSIONS

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 DRIRE par les industriels et figurant sur le site internet du Registre des Polluants (iREP : site www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php). Même si elles sont officielles, ces données ne semblent pas toujours remplies ou fournies 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 (voir rapport complet) 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 limitations sont d’autant plus importantes que cette étude montre le poids important de ces postes dans le résultat des filières biocarburants pour l’indicateur « toxicité humaine » .

3.5. LE MODELE DE CARACTERISATION UTILISE

La présente étude a utilisé le modèle 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) pour quantifier les deux indicateurs de santé humaine et l’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 se rapportant à la santé humaine qui nécessitent d’agrèger 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 étant intégrée indirectement seulement par deux jeux de valeurs « milieu avec une concentration de NOx élevés » et « milieu avec une concentration de NOx faibles »). La modélisation de premier niveau sur l'eutrophisation ne permet pas de moduler selon les facteurs locaux du milieu d'émission.

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

4. LES RESULTATS

Les résultats principaux de cette étude sont présentés ci-dessous. Ils sont structurés en quatre parties, la première proposant les valeurs calculées pour l'unité fonctionnelle « parcourir un km avec un véhicule ». Les deux suivantes proposent des résultats **par MJ de biocarburant** et **pour des E10 et B10**, carburants amenés à être les plus répandus. Ils sont calculés sur l'ensemble du cycle de vie sur les 5 indicateurs étudiés, et ce pour les filières principales (i.e. les filières majoritaires en France) dans leur fonctionnement actuel et prospectif. La dernière partie offre, pour plusieurs filières, un zoom sur la contribution de chaque étape à ce résultat.

Davantage de résultats peuvent être trouvés dans le rapport complet (filières esters méthyliques végétales dont la séparation se fait par distillation, soja brésilien ou américain,...).

4.1. RESULTATS POUR L'UNITE FONCTIONNELLE

Tableau 6 – Résultats du « champ à la roue » : valeurs « par km parcouru » pour les éthanol

par km parcouru, E10	Energie primaire non-renouvelable (MJf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻ eq/MJ)
Essence EURO 4	2,327E+00	1,935E-01	3,853E-05	4,283E-02	3,445E-05
E10 éthanol Betterave	2,244E+00	1,839E-01	3,529E-05	4,442E-02	5,741E-05
E10 éthanol Blé	2,247E+00	1,861E-01	3,532E-05	4,678E-02	8,553E-05
E10 éthanol maïs	2,242E+00	1,851E-01	3,529E-05	4,545E-02	8,141E-05
E10 éthanol Canne à sucre	2,191E+00	1,832E-01	5,431E-05	4,477E-02	6,055E-05
E10 ETBE de Blé	2,298E+00	1,889E-01	3,531E-05	4,651E-02	8,494E-05
E10 ETBE de maïs	2,293E+00	1,880E-01	3,528E-05	4,518E-02	8,076E-05

Tableau 7 – Résultats du « champ à la roue » : valeurs « par km parcouru » pour les esters

par km parcouru, B10	Energie primaire non-renouvelable (MJf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻ eq/MJ)
Diesel EURO 4	1,996E+00	1,535E-01	1,815E-05	6,997E-01	6,121E-05
B10 de colza	1,878E+00	1,450E-01	1,876E-05	5,319E-01	1,100E-04
B10 de tournesol	1,872E+00	1,432E-01	1,873E-05	5,328E-01	1,138E-04
B10 de soja	1,862E+00	1,423E-01	1,816E-05	5,307E-01	7,956E-05
B10 de palme	1,839E+00	1,423E-01	1,759E-05	5,319E-01	8,311E-05
B10 d'huiles Alimentaires Usagées	1,846E+00	1,405E-01	1,694E-05	5,272E-01	6,026E-05
B10 de Graisse Animale	1,845E+00	1,405E-01	1,689E-05	5,271E-01	6,014E-05
HVP	3,887E-01	5,818E-02	1,032E-05	7,497E-01	6,337E-04

4.2. LES ETHANOLS

Figure 1 –Emissions de Gaz à Effet de Serre du « champ à la roue » des filières éthanols et ETBE ; incorporées sous forme d'E10

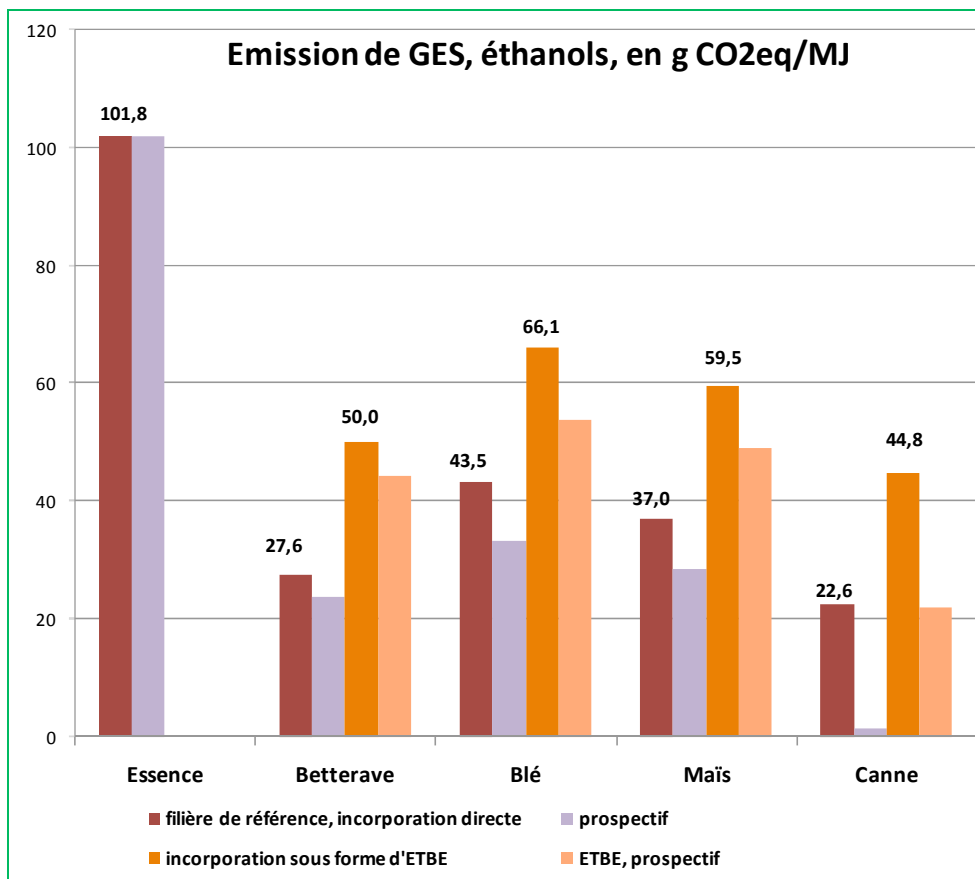


Tableau 8 - Tableau de synthèse des résultats : filières principales des éthanols en incorporation directe¹

par MJ de biocarburant, incorporé dans un E10	Energie primaire non-renouvelable (MJf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ ³⁻ eq/MJ)
Essence EURO 4	1,22E+00	1,02E-01	2,03E-05	2,25E-02	1,81E-05
Ethanol de Betterave	5,92E-01	2,76E-02	-4,67E-06	3,47E-02	1,95E-04
Ethanol de Blé	6,20E-01	4,35E-02	-4,47E-06	5,27E-02	4,11E-04
Ethanol de maïs	5,75E-01	3,70E-02	-4,68E-06	4,27E-02	3,79E-04
Ethanol de Canne à sucre	1,83E-01	2,26E-02	1,42E-04	3,74E-02	2,19E-04

¹ Cf. tableau 2 pour l'explication sur des valeurs négatives lorsque le résultat est donné pour le biocarburant seul et non plus en mélange

Tableau 9 - Tableau de synthèse des résultats : filières principales des éthanol incorporés sous forme d'ETBE

par MJ de biocarburant incorporé dans un E10	Energie primaire non-renouvelable (MJf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ -eq/MJ)
Essence EURO 4	1,22E+00	1,02E-01	2,03E-05	2,25E-02	1,81E-05
ETBE de betterave	9,80E-01	5,00E-02	-4,74E-06	3,25E-02	1,87E-04
ETBE de blé	1,01E+00	6,61E-02	-4,53E-06	5,08E-02	4,06E-04
ETBE de maïs	9,63E-01	5,95E-02	-4,75E-06	4,05E-02	3,74E-04
ETBE de Canne à sucre	5,64E-01	4,48E-02	1,44E-04	3,53E-02	2,11E-04

Tableau 10 - Tableau de synthèse des résultats : valeurs prospectives des éthanol incorporés directement

par MJ de biocarburant incorporé dans un E10	Energie primaire non-renouvelable (MJf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ -eq/MJ)
Essence EURO 5	1,22E+00	1,02E-01	2,03E-05	2,25E-02	1,81E-05
Ethanol de Betterave, prospectif	5,38E-01	2,37E-02	-4,34E-06	3,12E-02	1,62E-04
Ethanol de Blé, prospectif	4,58E-01	3,32E-02	-3,47E-06	4,99E-02	3,15E-04
Ethanol de maïs, prospectif	4,38E-01	2,86E-02	-4,10E-06	3,79E-02	3,64E-04
Ethanol de Canne à sucre, prospectif	1,61E-01	1,60E-03	-7,70E-06	3,51E-02	2,21E-04

Tableau 11 - Tableau de synthèse des résultats : valeurs prospectives des éthanol incorporés sous forme d'ETBE

par MJ de biocarburant incorporé dans un E10	Energie primaire non-renouvelable (MJf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ -eq/MJ)
Essence EURO 5	1,22E+00	1,02E-01	2,03E-05	2,25E-02	1,81E-05
ETBE de Betterave, prospectif	8,94E-01	4,42E-02	-4,66E-06	2,84E-02	1,51E-04
ETBE de Blé, prospectif	8,14E-01	5,38E-02	-3,79E-06	4,72E-02	3,03E-04
ETBE de maïs, prospectif	7,94E-01	4,91E-02	-4,42E-06	3,52E-02	3,53E-04
ETBE de Canne à sucre, prospectif	5,17E-01	2,21E-02	-8,02E-06	3,24E-02	2,10E-04

4.3. LES ESTERS

Figure 2 - Emissions de Gaz à Effet de Serre « champ à la roue » des filières esters, incorporées dans des B10

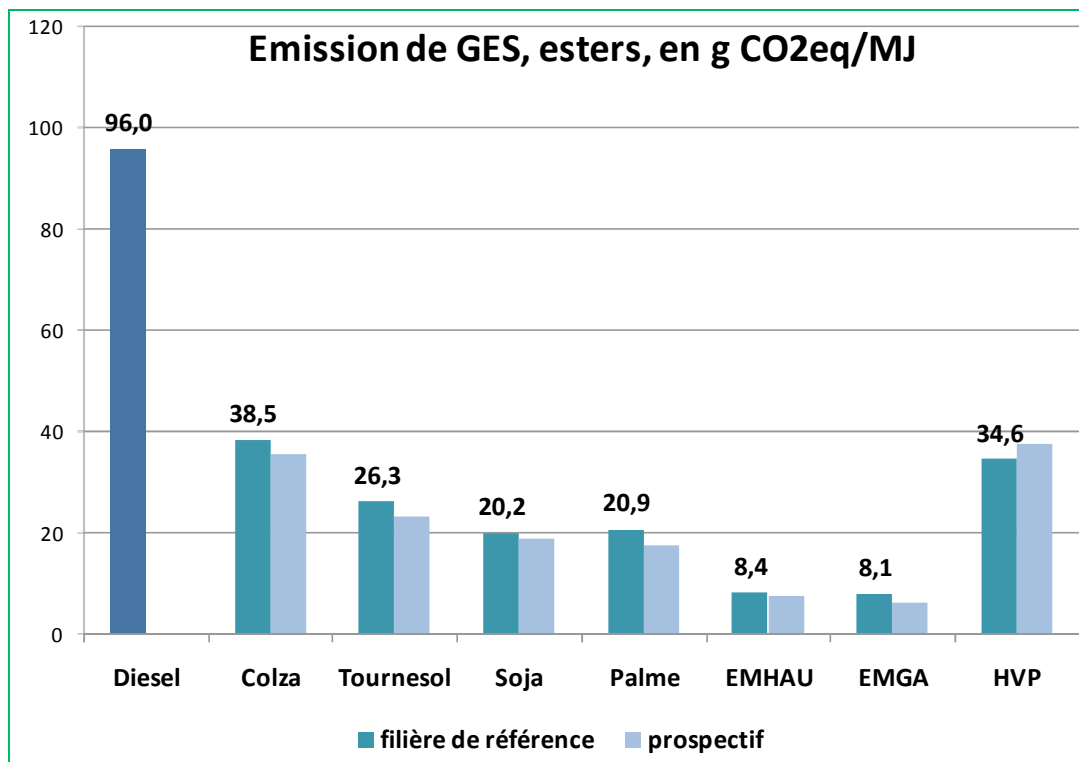


Tableau 12 – Tableau de synthèse des résultats : filières principales des esters méthyliques et huile pure

par MJ de biocarburant	Energie primaire non-renouvelable (MJf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ -eq/MJ)
Diesel EURO 4	1,25E+00	9,60E-02	1,13E-05	4,37E-01	3,83E-05
EMHV de colza	4,55E-01	3,85E-02	1,54E-05	-6,90E-01	3,66E-04
EMHV de tournesol	4,13E-01	2,63E-02	1,52E-05	-6,84E-01	3,91E-04
EMHV de soja	3,48E-01	2,02E-02	1,14E-05	-6,98E-01	1,61E-04
EMHV de Palme	1,92E-01	2,09E-02	7,56E-06	-6,90E-01	1,85E-04
EHMAU	2,40E-01	8,40E-03	3,19E-06	-7,22E-01	3,18E-05
EMGA	2,38E-01	8,11E-03	2,88E-06	-7,22E-01	3,10E-05
HVP	2,31E-01	3,46E-02	6,14E-06	4,46E-01	3,77E-04

Tableau 13 - Tableau de synthèse des résultats : filières prospective des esters méthyliques et huile pure

par MJ de biocarburant	Energie primaire non-renouvelable (Mjf/MJ)	Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	Eutrophisation (kg PO ₄ -eq/MJ)
Diesel EURO 5	1,25E+00	9,60E-02	1,13E-05	4,37E-01	3,54E-05
EMHV de colza	4,21E-01	3,55E-02	1,37E-05	-6,96E-01	2,55E-04
EMHV de tournesol	3,74E-01	2,32E-02	1,26E-05	-6,93E-01	2,20E-04
EMHV de soja	3,27E-01	1,90E-02	1,02E-05	-7,03E-01	1,55E-04
EMHV de Palme	1,70E-01	1,76E-02	7,28E-06	-6,90E-01	1,77E-04
EHMAU	2,31E-01	7,52E-03	3,32E-06	-7,22E-01	3,24E-05
EMGA	2,05E-01	6,16E-03	2,81E-06	-7,22E-01	2,73E-05
HVP	2,54E-01	3,76E-02	6,65E-06	4,44E-01	2,95E-04

4.4. LES BILANS DESAGREGES PAR ETAPE

Tableau 14 - Bilans désagrégés par étape : Energie Primaire non Renouvelable

Energie primaire non-renouvelable (Mjf/MJ)	TOTAL	AGRICOLE	INDUSTRIEL	TRANSPORT-DISTRIBUTION	ETBE	VEHICULE
Diesel EURO 4	1,25E+00	1,12E-01	1,14E-01	2,12E-02		1,00E+00
Essence EURO 4	1,22E+00	1,12E-01	9,10E-02	2,12E-02		1,00E+00
EMHV de colza	4,55E-01	1,66E-01	2,50E-01	3,87E-02		0,00E+00
EMHV de soja	3,48E-01	8,44E-02	1,78E-01	8,61E-02		0,00E+00
EHMAU	2,40E-01		1,99E-01	4,12E-02		0,00E+00
ETBE Betterave	9,80E-01	4,53E-02	4,74E-01	8,22E-02	3,78E-01	0,00E+00
ETBE Blé	1,01E+00	1,69E-01	3,87E-01	7,37E-02	3,78E-01	0,00E+00

Tableau 15 - Bilans désagrégés par étape : Emission de GES

Emissions de gaz à effet de serre (kg CO ₂ eq/MJ)	TOTAL	AGRICOLE	INDUSTRIEL	TRANSPORT-DISTRIBUTION	ETBE	VEHICULE
Diesel EURO 5	9,60E-02	7,63E-03	9,67E-03	5,23E-04		7,81E-02
Essence EURO 4	1,02E-01	7,63E-03	7,34E-03	5,22E-04		8,64E-02
EMHV de colza	3,85E-02	2,87E-02	8,37E-03	1,47E-03		0,00E+00
EMHV de soja	2,02E-02	1,04E-02	5,42E-03	4,39E-03		0,00E+00
EHMAU	8,40E-03		6,79E-03	1,62E-03		0,00E+00
ETBE Betterave	5,00E-02	9,06E-03	2,29E-02	3,39E-03	2,18E-02	-7,13E-03
ETBE Blé	6,61E-02	2,84E-02	1,95E-02	3,57E-03	2,18E-02	-7,13E-03

Tableau 16 - Bilans désagrégés par étape : oxydation Photochimique

Oxydation photochimique (kg C ₂ H ₄ eq/MJ)	TOTAL	AGRICOLE	INDUSTRIEL	TRANSPORT-DISTRIBUTION	ETBE	VEHICULE
Diesel EURO 5	1,13E-05	5,60E-06	3,68E-06	1,61E-07		1,91E-06
Essence EURO 4	2,03E-05	5,60E-06	2,79E-06	1,60E-07		1,17E-05
EMHV de colza	1,54E-05	3,03E-06	1,08E-05	5,25E-07		1,06E-06
EMHV de soja	1,14E-05	1,64E-06	6,41E-06	2,32E-06		1,06E-06
EHMAU	3,19E-06		1,63E-06	4,98E-07		1,06E-06
ETBE Betterave	-4,74E-06	1,19E-06	6,31E-06	1,12E-06	-2,09E-07	-1,31E-05
ETBE Blé	-4,53E-06	3,02E-06	4,98E-06	8,12E-07	-2,09E-07	-1,31E-05

Tableau 17 - Bilans désagrégés par étape : Toxicité humaine

Toxicité humaine (kg 1,4-DB eq/MJ)	TOTAL	AGRICOLE	INDUSTRIEL	TRANSPORT-DISTRIBUTION	ETBE	VEHICULE
Diesel EURO 5	4,37E-01	6,13E-03	1,53E-03	1,75E-04		4,29E-01
Essence EURO 4	2,25E-02	6,13E-03	1,17E-03	1,74E-04		1,51E-02
EMHV de colza	-6,90E-01	3,15E-02	1,88E-03	5,02E-04		-7,24E-01
EMHV de soja	-6,98E-01	2,27E-02	1,25E-03	2,17E-03		-7,24E-01
EHMAU	-7,22E-01		1,75E-03	4,67E-04		-7,24E-01
ETBE Betterave	3,25E-02	1,56E-02	3,29E-03	1,04E-03	-2,57E-03	1,51E-02
ETBE Blé	5,08E-02	3,45E-02	2,98E-03	7,92E-04	-2,57E-03	1,51E-02

Tableau 18 - Bilans désagrégés par étape : Eutrophisation

Eutrophisation (kg PO ₄ - eq/MJ)	TOTAL	AGRICOLE	INDUSTRIEL	TRANSPORT-DISTRIBUTION	ETBE	VEHICULE
Diesel EURO 5	3,83E-05	1,51E-05	2,48E-06	3,56E-07		2,03E-05
Essence EURO 4	1,81E-05	1,51E-05	1,91E-06	3,55E-07		7,53E-07
EMHV de colza	3,66E-04	3,17E-04	2,08E-05	1,35E-06		2,69E-05
EMHV de soja	1,61E-04	1,08E-04	2,11E-05	5,91E-06		2,69E-05
EHMAU	3,18E-05		3,69E-06	1,30E-06		2,69E-05
ETBE Betterave	1,87E-04	7,21E-05	1,23E-04	2,44E-06	-1,13E-05	7,53E-07
ETBE Blé	4,06E-04	2,82E-04	1,31E-04	4,24E-06	-1,13E-05	7,53E-07

5. ANALYSE DE CES RESULTATS

Cette étude complète la vision du fonctionnement des filières biocarburants et de leur bilan environnemental. Grâce au travail sur le référentiel 2008, elle cherche à minimiser les points de désaccords possibles entre les différentes visions existantes. Les constats suivants méritent d'être soulignés.

« Consommation d'Énergie Non renouvelable »	
Niveau des écarts	<p>L'ensemble des filières biocarburants présentent des bilans plus favorables que leur homologue fossile sur ce point.</p> <p>Ainsi, avec des rendements (MJ récupéré sur MJ fossile fourni) entre 2,2 pour le colza et 4,2 pour les graisses et huiles usagées, voire 5 pour la palme, les esters se positionnent très bien sur cet indicateur et loin devant le 0,80 du diesel fossile.</p> <p>Les éthanol présentent des rendements plus faibles, autour de 1,7 en incorporation directe (exception faite de la canne à sucre qui avec un rendement autour de 5,5 présente le bilan le plus favorable) et autour de 1 lorsque mélangé sous forme d'ETBE. Mais cela reste supérieur au 0,82 d'une essence fossile.</p>
Sources et étapes justifiant ces écarts	<p>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 en général, sauf pour les filières d'importation pour lesquelles les transports représentent le second poste. L'étape d'extraction est la plus consommatrice pour les filières fossiles.</p> <p>Les très bons résultats des filières canne à sucre et palme soulignent un point important sur cet indicateur : 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 biomasse pour les filières françaises (cf. scénarii prospectifs, pour lesquels cet indicateur est celui évoluant le plus). On peut même imaginer à terme des filières sans consommation d'énergie non renouvelable. Ce transfert vers d'autres sources d'énergies ne doit pas toutefois occulter le besoin d'avoir des filières produisant le plus d'énergie possible pour chaque unité d'énergie consommée.</p>
Quel est le niveau de précision atteint ?	<p>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), les choix d'allocation ou de méthodologie retenus.</p> <p>En ordre de grandeur, on peut estimer ces résultats fiables à +/- 10% (incertitude généralement évoquée dans une démarche d'ACV)</p>
Que peut-on en conclure ?	<p>Les retours énergétiques des esters et des éthanol incorporés directement sont avérés et dépassent des rendements de 2 MJ par MJ investi pour l'ensemble des esters. Ces mêmes bilans montrent aujourd'hui un intérêt existant (l'écart dépasse la variabilité estimée) mais plus limité pour l'éthanol incorporé sous forme d'ETBE par rapport à l'essence fossile, équivalent à des économies d'énergies fossiles de l'ordre de 20%.</p>

« Emission de Gaz à Effet de Serre »

<p>Niveau des Ecart</p>	<p>L'ensemble des filières biocarburants présente des bilans moins émissifs que les carburants fossiles. La grande majorité d'entre eux se situent entre 20 et 40g CO₂eq/ MJ contre 96g et 100g respectivement pour le diesel et l'essence, soit des gains entre 60 et 80%. Sur cet indicateur là aussi, les éthanol sous forme d'ETBE ont des bilans légèrement moins favorables (entre 50g et 66g CO₂eq/MJ),</p>
<p>Sources et étapes justifiant ces écarts</p>	<p>Les émissions des carburants fossiles ont lieu très majoritairement lors de la combustion.</p> <p>Pour les biocarburants, l'étape agricole est prépondérante, principalement à travers la fabrication des engrais appliqués et les émissions de protoxyde d'azote dans les champs.</p> <p>Le second poste réside dans l'étape industrielle et ses émissions liées à la combustion d'énergies fossiles.</p>
<p>Quel est le niveau de précision atteint ?</p>	<p>Le modèle de caractérisation est ici plus largement consensuel (pouvoir de réchauffement global des gaz) et sert de base à l'ensemble des travaux sur le réchauffement climatique.</p> <p>Il convient de rappeler que le poste majeur d'émission dans ces bilans, à savoir le protoxyde d'azote reste encore mal connu (nous estimons à 50% la marge d'incertitude sur ce poste). Des travaux de mesures expérimentales et des modélisations sont en cours pour préciser les variations d'émission selon le type de couvert et de culture. En attendant ces éléments, toute comparaison de valeur absolue des présents résultats en matière de potentiel d'émission de gaz à effet de serre émis n'est pas recommandée si les modalités de prise en compte du protoxyde d'azote et des engrais n'ont pas été harmonisées. En raison de cette incertitude scientifique, cet indicateur n'est probablement fiable <i>a minima</i> qu'entre 15 et 25 %. La juste prise en compte des apports d'engrais est aussi un paramètre venant complexifier la modélisation et le niveau retenu d'émission.</p> <p>Notons aussi que les valeurs d'émission de N₂O ont plutôt été conservatrices dans cette étude, avec l'intégration de l'azote des résidus comme source d'émission de GES comme le préconise le GIEC. Cela se confirme aussi avec des analyses de sensibilité sur les allocations, qui montre que les valeurs ici proposées se situent probablement dans une gamme haute pour les esters (équivalente à des allocations économiques avec des prix très élevé de l'huile). N'ayant pu pratiquer ce test de l'allocation économique pour les éthanol en raison du nombre d'hypothèses à faire pour la conduire, on peut noter pour les éthanol que les allocations énergétique et massique conduisent à des résultats proches.</p> <p>Enfin, les changements d'affectation des sols peuvent venir modifier grandement ces résultats, voire pourraient potentiellement les inverser pour les bilans des filières d'importation mais aussi nationales par effets indirects. Le présent rapport ne traite de ce paramètre clé que via une analyse de sensibilité, afin de donner au lecteur des ordres de grandeurs d'effets potentiels selon les scénarii d'affectation de ces changements aux biocarburants.</p>
<p>Que peut-on en conclure ?</p>	<p>Hors changement d'affectation des sols, la réduction du niveau d'émission de gaz à effet de serre se confirme pour l'ensemble des filières, le gain qu'elles présentent étant supérieur à l'incertitude ou à l'influence des choix méthodologiques.</p> <p>Le niveau exact de réduction est plus délicat à évaluer et dépend fortement de différentes hypothèses. Les trois paramètres pilotant ces niveaux restent le rendement agricole à l'hectare, les apports d'engrais et émission N₂O afférentes), ainsi que l'intensité et les sources énergétiques du procédé de transformation.</p>

«Potentiel d'Oxydation Photochimique »

<p>Niveau des Ecart</p>	<p>Avec des niveaux totaux de potentiel d'émissions de 1,5 E-5 kg équivalent d'éthène par MJ, les biodiesel de végétaux produits sur le sol français semblent légèrement plus émetteurs de molécules à pouvoir photooxydant que le carburant fossile de référence (1,1 E-5 kg eq C₂H₄ par MJ). Les autres esters ont des niveaux inférieurs, notamment les huiles usagées et graisses animales car n'utilisant pas d'hexane.</p> <p>Les éthanol présentent en général des niveaux de potentiel d'impact négatifs, car ils permettent, lors de l'étape de combustion, un gain sur l'ensemble du carburant dans lequel ils sont mélangés et bénéficient ainsi de « l'effet de levier du mélange » lorsque ramené au seul éthanol. L'incorporation sous forme d'ETBE améliore ces bilans.</p>
<p>Sources et étapes justifiant ces écarts</p>	<p>Le bilan d'un B10 de colza est lié à 70% aux émissions d'hexane utilisé dans le procédé d'extraction de l'huile. L'étape agricole contribue 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).</p> <p>Pour les éthanol, le gain qu'apportent les mélanges E10 sur le carburant E0 provient principalement de la réduction du monoxyde de carbone lors de l'étape véhicule. En modifiant la composition des COV émis lors de la combustion (plus d'émissions d'éthanol au détriment de COV non spécifiés), l'E10 apporterait aussi un gain par rapport à l'E0 du fait d'un pouvoir oxydant estimé plus faible pour l'éthanol que pour les COV non spécifiés (moyenne des pouvoirs oxydants des COV). Mais la valeur faible de ce gain et la limite méthodologique d'une valeur de photooxydation moyenne attribuée au COV moyen appellent à la prudence sur ce second aspect.</p>
<p>Quel est le niveau de précision atteint ?</p>	<p>Les causes d'imprécision sur cet indicateur sont de 2 ordres :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le modèle de caractérisation utilisé (ici CML à travers le Potentiel d'Oxydation Photochimique POCP) et donc l'impact oxydant des molécules. Même si plus simple et robuste que pour la mesure de toxicité humaine, d'autres systèmes de mesure existent et proposent des valeurs différentes. Les valeurs attribuées aux oxydes d'azote peuvent notamment faire varier les bilans fortement (ils ne sont pas directement pris en compte par CML), ainsi que les SOx (non pris en compte dans d'autres méthodes), voire la valeur d'oxydation attribuée au monoxyde de carbone qui on l'a vu, présiderait au bilan des éthanol. - Les données d'entrée, le registre des polluants utilisés pour les filières fossiles notamment ne semblant pas encore assez homogène pour apporter une haute fiabilité sur le niveau d'émission considéré. <p>Compte-tenu de ces éléments, une position prudente consiste à imaginer des écarts de l'ordre de 30% entre filières comparés pour prétendre voir une réelle différence. Une manière d'éviter les problèmes de la mesure des pouvoir oxydant peut être de raisonner molécules émises par molécules émises. Mais cela rend difficile une vue d'ensemble.</p>
<p>Que peut-on en conclure ?</p>	<p>L'écart est assez peu marqué dans le cas des esters, l'analyse de sensibilité pratiquée avec une simulation de baisse de 33% du niveau d'émission des sites d'estérification suffit à rapprocher la valeur de ces filières de la valeur du diesel fossile. Avec un niveau d'émission COV utilisé ici dépassant la norme actuelle des 1 mg de COV / kg d'huile, et des normes allant vers la réduction des émissions de COV, il est probable que le constat à dresser ici soit plus celui d'une équivalence sur cet indicateur entre esters et diesel fossile.</p> <p>Pour les éthanol, la réduction estimée à 25% du niveau d'émission de monoxyde de carbone à l'échappement avec des carburants contenant des oxygénés est à l'origine de cette baisse de l'ordre de 8% de cet indicateur d'impact pour un km parcouru avec un E10. La connaissance fine de l'ensemble des molécules émises à l'échappement, ainsi que leurs facteurs d'oxydation respectifs, et ce notamment au niveau de l'éthanol et du reste des COV émis, apporterait les confirmations nécessaires à ces résultats. Mais il faut garder à l'esprit que l'incorporation d'un sixième d'éthanol provenant de culture utilisant le brûlis compenserait ces quelques pourcents de bénéfiques. En effet, les filières utilisant le brûlis présentent des bilans indéniablement plus défavorables que les filières fossiles par des niveaux d'émission de monoxyde de carbone très élevés.</p>

«Potentiel de Toxicité Humaine »

<p>Niveau des Ecart</p>	<p>Pour les esters, les bilans présentent des valeurs négatives sur ce potentiel de toxicité. L'effet de levier de la phase véhicule joue ici pour expliquer cette valeur.</p> <p>Ce potentiel de toxicité pour les éthanols et les essences est plus faible que pour les diesels, les émissions véhicules étant moins pénalisantes. Pour les éthanols, l'indicateur présente un niveau positif supérieur à celui de l'essence fossile de référence (deux fois supérieur pour le blé, et 50% plus fort pour la betterave). L'étape agricole en est le contributeur principal, suivie à un niveau proche par la phase véhicule.</p> <p>Lorsqu'incorporés sous forme d'ETBE, le bilan des éthanols présente une amélioration partielle sur cet indicateur, les produits fossiles composant l'ETBE avec l'éthanol bénéficiant d'inventaires d'émissions plus faibles pour leur fabrication (cf. effet de levier).</p>
<p>Sources et étapes justifiant ces écarts</p>	<p>Pour les esters, la phase véhicule est prépondérante et présente une valeur négative. La phase agricole vient ensuite, dont les émissions sont estimées vingt fois plus faibles que les gains de la phase véhicule. L'étape de transport arrive en dernier, sauf pour les filières d'importation où elle dépasse la contribution de l'étape industrielle. On s'aperçoit que la réduction d'émission d'hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP) de 25% pour un B10 impacte le plus fortement cet indicateur de potentiel de toxicité. C'est ce poste qui positionne 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 dans CML Pour les HAP.</p> <p>Pour les éthanols, l'étape agricole en est le contributeur principal, avec les apports de pesticides puis d'éléments traces métalliques via les engrais, suivi à un niveau proche par la phase véhicule et les très faibles émissions de HAP attribuées à l'éthanol (l'E10 ne baissant pas a priori le niveau d'émission de HAP, l'éthanol est considéré émettre autant qu'un E0).</p>
<p>Quel est le niveau de précision atteint ?</p>	<p>Cet indicateur est celui présentant le plus d'incertitude actuellement : les facteurs de caractérisation à améliorer et l'impact fort de postes ayant un niveau de quantification et de modélisation moins fiables doivent rendre précautionneux le lecteur.</p> <p>Un facteur 10 voire 100 sont en général appliqués pour savoir si les écarts commencent à être significatifs.</p>
<p>Que peut-on en conclure ?</p>	<p>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, et malgré le facteur 30 qui existe entre impact favorable des HAP et impact défavorable des pesticides, il convient toutefois d'être prudent sur ce constat, le facteur d'impact des HAP et des pesticides pouvant évoluer avec les connaissances ou le type de modélisation de plusieurs unités.</p> <p>Du côté des éthanols, cet effet n'existant qu'à des taux de mélange assez élevés, ces filières ne bénéficient pas d'un effet compensant les apports de produits phytosanitaire, premier poste majeur différenciant les éthanols des filières fossiles sur cet indicateur, plaçant ainsi les bilans des éthanols consommés en France à des niveaux plus élevés de potentiel d'impact sur la santé humaine que la filière essence française.</p> <p>Un calcul permet cependant de mettre en perspective l'importance de cet écart de potentiel de toxicité supposé entre E10 et E0 par exemple : pour l'E10 d'éthanol de blé, ce différentiel sur 10 000 km équivaldrait en « équivalent toxique » à 69 µg de HAP, soit les émissions de HAP du véhicule diesel modélisé (Clio II sans FAP, EURO4) sur 77 km.</p>

«Potentiel d'Eutrophisation »

Niveau des Ecart	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.
Sources et étapes justifiant ces écarts	<p>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 a une contribution de près de 20% de cette étape. Soulignons que la légère augmentation des émissions de NOx lors de la combustion en véhicule (+3%) est infime comparée aux lessivages en champ.</p> <p>Les éthanol présentent une répartition des émissions marquée par l'étape industrielle. Cela tient au niveau d'émission modélisé pour l'étape industrielle (notamment la DCO : 0,04 kg DCO/kg éthanol contre 0,0018 kgDCO/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.</p>
Quel est le niveau de précision atteint ?	<p>Ce calcul mesure un potentiel d'eutrophisation des molécules émises. Ces potentiels sont eux-mêmes calculés avec une approche assez simple de ce phénomène (toute molécule contribue à l'eutrophisation à hauteur de son nombre d'azote et de phosphore). Apporter un jugement plus poussé sur le risque réel que présente des écarts ainsi mesurés nécessiterait alors de rentrer dans le détail du phénomène d'eutrophisation et d'y injecter des paramètres de localisation géographique (une même molécule n'a pas le même effet selon le milieu, l'époque pendant laquelle elle est émise, ...), ce qui sort du cadre de cette étude.</p> <p>Une fois ce modèle accepté pour quantifier des potentiels d'eutrophisation, la source d'incertitude principale réside dans les données d'entrée (quels niveaux de lessivage des nitrates et phosphates ?). L'imprécision sur ces données confère au résultat une imprécision globale de +/- 20% (cf. l'analyse de sensibilité conduite)</p>
Que peut-on en conclure ?	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 unités 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.

Éléments transversaux de discussion

<p>Sur la comparaison avec d'autres études</p>	<p>Un travail comparatif proposé dans le rapport complet montre que les résultats obtenus avec cette étude sont en cohérence avec d'autres études précédentes en termes de gain par rapport aux filières fossiles (étude du JRC-CONCAWE 2007 et ADEME-DIREM 2002).</p> <p>Cela est obtenu malgré une méthodologie spécifique (selon le référentiel de 2008) et des inventaires différents. Les ordres de grandeurs sont maintenus ainsi que les écarts déjà estimés entre filières.</p> <p>Il se dessine ainsi des gains en matière d'énergie non renouvelable consommée et de gaz à effet de serre émis pour l'ensemble des biocarburants étudiés, gains qui devraient progresser dans les prochaines années avec le développement de la cogénération biomasse sur ces sites.</p> <p>Ces gains peuvent être importants pour certaines filières comme les esters ou les éthanol en incorporation directe, plus limités mais avérés lors de l'incorporation des éthanol sous forme d'ETBE.</p>
<p>Sur les spécificités de cette étude</p>	<p>La partie utilisation du carburant permet à cette étude de compléter utilement la vision détaillée qui existait de l'amont par une compréhension plus fine des effets véhicules. Les effets attendus sur les modifications de polluants ont été quantifiés. Un effet de réduction légère des émissions de CO₂ des oxygénés est à souligner car venant peser favorablement dans le bilan des éthanol, tout comme la réduction du niveau d'émission des hydrocarbures aromatiques polycyclique (HAP) par l'introduction de biodiesel qui confère ainsi un bilan du « champ à la roue » favorable pour les esters. De même, la réduction des émissions de monoxyde de carbone lors de la combustion contribue à un bilan en faveur des éthanol sur l'ensemble de l'indicateur « potentiel d'oxydation photochimique ».</p> <p>Une lecture globale des résultats sur les trois indicateurs de santé humaine et d'eutrophisation reste difficile du fait d'impacts environnementaux plus complexes et donc très dépendante des choix des modèles de caractérisation utilisés. Les grandes tendances attendues se confirment (poids fort du poste phytosanitaire, du lessivage d'azote), mais d'autres points de réflexion apparaissent (rôle d'autres polluants dans les bilans de santé humaine comme les HAP, les émissions de CO) et sont autant de pistes à confirmer plus an avant.</p>
<p>Sur les pistes de travail à poursuivre...</p>	<p>La présente étude réaffirme les pistes de travail concernant l'amélioration de ces bilans, et notamment la nécessité de poursuivre des travaux sur la toxicité des HAP, des produits phytosanitaires, ou bien entendu, sur la connaissance et la limitation des déboisements. Ceux-ci sont autant d'éléments qui permettront d'affiner ces résultats.</p> <p>Une des pistes intéressantes réside dans le travail commencé grâce à l'impulsion de TOTAL sur les questions d'incorporation. Quel effet a l'incorporation de produits oxygénés en quantités non négligeables sur la marche des raffineries pétrolières? En modifiant l'équilibre de fonctionnement de la raffinerie et les spécifications du carburant fossile autorisant le mélange, on néglige peut-être une modification indirecte d'émission.</p> <p>Il faut donc considérer ces résultats comme une quantification susceptible de pouvoir évoluer dans le temps avec l'amélioration des connaissances.</p>
<p>Sur les changements d'affectation des sols</p>	<p>L'analyse de sensibilité conduite sur les changements d'affectation des sols éclaire sur l'impact possible de cet élément dans les bilans globaux.</p> <p>Les effets observés au travers des simulations peuvent être très pénalisants, tant pour les biocarburants d'importation que pour les biocarburants produits à partir de ressources agricoles produites en France, s'il est montré qu'il faut attribuer aux biocarburants des impacts au</p>

	<p>niveau de la valeur haute calculée dans l'étude sur des scénarii théoriques. La filière soja est potentiellement la plus impactée du fait de rendement à l'hectare plus faible, et malgré la production de tourteaux. Des scénarii plus modérés de changement d'affectation des sols permettraient de laisser un gain par rapport aux filières fossiles pour la grande majorité des filières.</p> <p>Cette étude n'a pas prétendu trancher les questions méthodologiques et quantitatives de la place des biocarburants dans la déforestation des dernières années et encore en cours. Les calculs proposés restent grossiers et ne visaient qu'à donner un ordre d'idée potentiel des effets que pourraient prendre ces éléments dans les bilans en balayant des scénarios très contrastés. Des travaux spécifiques doivent être conduits pour approfondir cette zone d'ombre et le degré de plausibilité des scénarios vis-à-vis des différentes filières étudiées.</p> <p>Il serait donc nécessaire de lever cette incertitude qui plane au dessus de l'intérêt environnemental des biocarburants européens par rapport aux événements à l'échelle de la planète par des travaux approfondis et dépassionnés. Les mécanismes de transmission indirecte sont notamment à analyser à l'aune de modèles et de données économiques plus poussées afin de comprendre les transmissions entre marchés.</p>
<p>Sur l'utilisation de cette étude</p>	<p>Le présent rapport s'est appuyé sur un référentiel commun et débattu pour élaborer ce bilan environnemental. Il réduit par là les sujets de débat sur la validité de ces résultats, sans pour autant prétendre apporter une réponse définitive sur l'ensemble des questions méthodologiques.</p> <p>En effet, les éléments de comparaison proposés dans le rapport complet illustrent l'extrême sensibilité des résultats à différents paramètres comme les émissions de N₂O, le changement d'affectation des sols, ou le choix des inventaires. Ces éléments peuvent modifier significativement les niveaux d'impacts évalués.</p> <p>Ce constat ne doit cependant pas signifier que tout résultat sur le sujet est inexploitable. Les analyses de sensibilité permettent de circonscrire ces éléments de doute. Une des orientations de ce travail a résidé dans la transparence et la pédagogie à donner à ces quantifications, d'où les travaux poussés d'analyse et de mise en perspective, qui loin de chercher à relativiser les résultats, visent à leur donner un cadre et un contexte permettant leur bonne utilisation.</p>