

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Sommaire

Liste des abréviations.....	3
Remerciements	4
Introduction	5
I. Présentation du contexte de ce mémoire	6
1. Total dans le monde.....	6
2. Historique de la plateforme de la Mède	6
3. La plateforme aujourd’hui	7
II. Les procédés de fabrication des biocarburants	8
1. Contexte réglementaire	10
a. Le protocole de Kyoto	10
b. La directive du 8 mai 2003 : 2003/30/CE.....	11
c. La directive du 23 avril 2009 : 2009/28/CE.....	12
2. Procédé de fabrication de la bio-essence de première génération.....	13
a. L’essence	13
b. La voie éthanol.....	13
c. Comparaison essence brute / éthanol / bio-essence	15
3. Procédé de fabrication du bio-gazole de première génération.....	16
a. Le gazole.....	16
b. Les Esters Méthyliques d’Huiles Végétales.....	17
c. Les Huiles Végétales Hydro-traitées	19
d. Comparaison diesel brut / EMHV / bio-gazole	19
III. L’impact environnemental	21
1. Les étapes de production de carburant et biocarburant et leur émission en CO ₂	21
a. Carburant brut	21
b. Biocarburant	22
2. Comparaison des impacts environnementaux	23
IV. Les risques induits par les biocarburants.....	25
1. Le risque incendie/explosion	25
2. Le risque chimique : agent CMR	25

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

V.	L'impact économique.....	26
VI.	Les biocarburants de demain.....	30
1.	Les biocarburants de 2 ^{ème} génération.....	30
a.	La filière essence	30
b.	La filière gazole	31
2.	Impact environnemental des biocarburants de 2 ^{ème} génération	32
3.	Les biocarburants de 3 ^{ème} génération : les micro-algues.....	33
	Conclusion.....	35
	Bibliographie	36
	Résumé	37
	Summary.....	37

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Liste des abréviations

- B7 : Mélange avec 93% volume de gazole fossile et 7% volume d'EMHV ou HVH
- Biocarburant 1G : Biocarburant de 1^{ère} Génération
- Biocarburant 2G : Biocarburant de 2^{ème} Génération
- CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer
- CMR : Agent Cancérogène/Mutagène/Reprotoxique
- CO₂ : Dioxyde de Carbone
- COP : Conference Of Parties / Conférence des Parties
- E10 : Mélange avec 90% volume d'essence fossile et 10% volume d'éthanol
- EMHV : Esters Méthyliques d'Huiles Végétales
- Gazole BTL : Gazole Biomass To Liquid
- GES : Gaz à Effet de Serre
- HVH : Huile Végétale Hydro-traitée
- NF EN : Norme Française et Européenne
- PCI : Potentiel Calorifique Inférieur
- UTCAF : Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Remerciements

Je tenais tout d'abord à remercier M. Samuel DUVAL pour m'avoir permis d'effectuer mon alternance au sein du groupe TOTAL SA et plus particulièrement dans le service sécurité de la plateforme de la Mède. Je le remercie également pour les conseils qu'il a pu me donner pour la rédaction de ce mémoire.

Je remercie également M. David BERGE-LEFRANC pour sa disponibilité et son aide à la rédaction de mon mémoire.

Pour son aide en termes de documentation, qu'elles soient sous forme papier ou grâce à ses vidéos expliquant les biocarburants, je remercie M. Jérémy MINEAU.

Je tenais enfin à remercier mes collègues de service pour leur disponibilité et pour avoir su répondre à mes nombreuses questions.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Introduction

La pollution atmosphérique est l'une des principales préoccupations de notre époque. En effet, elle constitue un problème majeur pour notre planète, puisqu'elle est la cause de nombreux impacts sur l'environnement, comme le réchauffement climatique, entraînant la fonte des glaciers. Notre santé est également atteinte par cette pollution qui provoque de nombreuses allergies et maladies graves. En vue de remédier à ce problème planétaire, les gouvernements commencent enfin à prendre certaines mesures. Ainsi, en 1997, 172 pays du monde ont ratifié le protocole de Kyoto, et de nombreux autres pays par la suite, visant à réduire tous rejets polluants. Il leur semble donc primordial de trouver une solution efficace afin de lutter contre cette pollution. De nos jours, différents types d'énergies renouvelables existent déjà, et aident à résoudre en partie ce problème. Mais les transports sont toujours responsables d'un quart des émissions de CO₂, essentiellement dues à l'utilisation de pétrole. En effet, cette dépendance est considérable puisque les transports représentent près de la moitié de la consommation mondiale de pétrole. Celle-ci est en constante augmentation et atteint aujourd'hui plus de 30 milliards de barils par an (c'est-à-dire 13 milliards de litres par jour). Afin de diminuer cette dépendance, de nouveaux transports écologiques sont encouragés comme les voitures roulant aux biocarburants.

Dans ce mémoire seront développées les différentes méthodes de fabrication de biocarburant. On expliquera également quels sont leurs atouts et leurs faiblesses que ce soit en termes de rentabilité ou en termes d'impacts sur l'environnement.

On se demandera donc quels sont les différents impacts des biocarburants.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

I. Présentation du contexte de ce mémoire

1. Total dans le monde

Spécialisé dans l'industrie pétrolière et gazière, le groupe Total fait partie des premières compagnies mondiales dans son secteur avec un chiffre d'affaire pour le premier semestre 2015 s'élevant à plus de 87 000 millions de dollars. Aujourd'hui, Total est présent dans plus de 130 pays et compte plus de 97 000 employés. Le groupe se positionne en tant que quatorzième entreprise mondiale, sixième européenne et première française. Le groupe est dirigé par Patrick Pouyanné (Président du conseil d'administration).

2. Historique de la plateforme de la Mède

Depuis son ouverture en 1935, la plateforme de La Mède a connu 6 périodes marquantes au cours de son évolution.

La première grande période que l'on identifie se situe entre 1935 et 1939 et concerne le démarrage de la raffinerie lorsque, dans les années 30, la Compagnie Française de Pétrole décide de s'implanter à proximité du dépôt d'hydrocarbure de l'Union des Pétroles de Martigues. Puis vient la guerre de 1939 à 1945 où le site a été bombardé dès 1940 et où il a dû fonctionner avec des effectifs réduits. A la fin de la guerre, l'activité de la raffinerie progresse, cette période, allant de 1946 à 1948 voit la production dépasser les 1 300 000 tonnes de pétrole brut traitées par an. Cependant, la réelle période de croissance intervient entre 1949 et 1978 puisque la raffinerie augmente sa capacité de production en investissant dans des infrastructures telles que les distilleries par exemple. Cette croissance permet à la raffinerie de ne subir aucunes conséquences immédiates du premier choc pétrolier et de fonctionner à sa capacité maximale jusqu'en 1979 où le contrecoup des chocs pétroliers se fait sentir. Jusqu'en 1985, la production de la raffinerie baisse énormément (3 850 000 tonnes de brut traitées en 1984 contre 10 500 000 en 1968). Afin d'augmenter la valorisation des produits et de réduire les coûts de production, la raffinerie investit afin de se moderniser.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

3. La plateforme aujourd’hui

La plateforme de La mède s'étend sur 250 hectares et compte 15 unités pétrolières. Ces 15 unités sont réparties entre deux secteurs, Est et Ouest (délimités par la route qui traverse la raffinerie et la coupe en deux parties). En plus des unités, deux autres secteurs sont également délimités, le secteur énergie/mouvement (traitement des eaux, transfert, stockage de produit), le secteur expéditions (poste de chargement wagon et camion-citerne). Enfin, un dernier secteur hors de la plateforme, situé à Lavéra, est dédié aux importations et exportations par voie maritime et au stockage des produits importés et exportés.

Afin d'assurer son activité sept jours sur sept et vingt-quatre heures sur vingt-quatre, le site compte autour de 500 employés dont environ 300 composent les équipes de quart. Les employés sont répartis en six départements à travers lesquels sont répartis trente-et-un services. En plus des employés Total, le site accueille chaque année plus de 1 500 personnes issues d'entreprises extérieures afin qu'ils puissent fournir des prestations indispensables au bon déroulement de l'activité (entretien des locaux, des machines, divers travaux...).

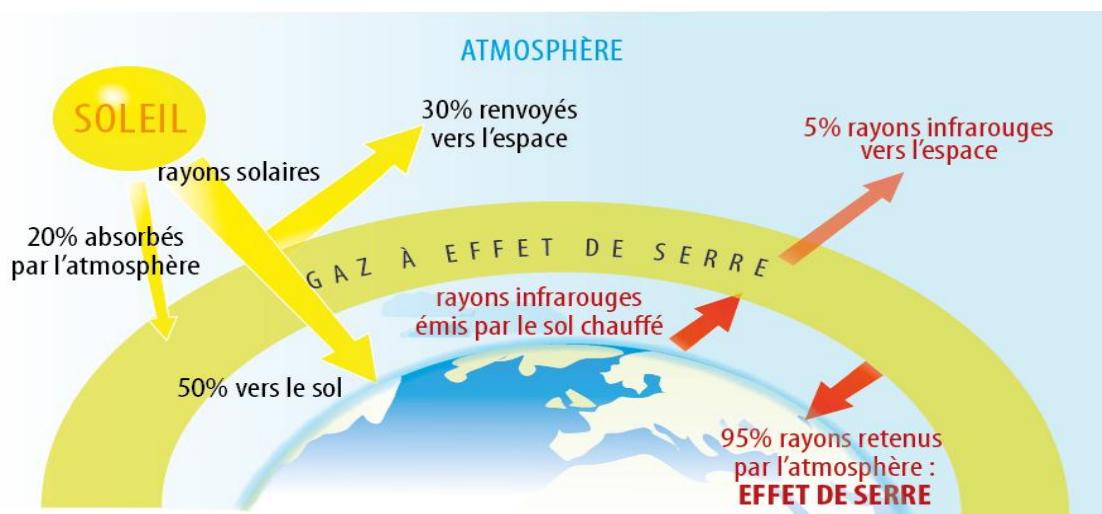
Aujourd’hui, la plateforme de La Mède se trouve dans un tournant de son histoire puisqu'elle est en phase de reconversion afin de devenir une bio-raffinerie spécialisée dans la production de biocarburant. Ce changement m'a amené à me poser des questions et explique donc le thème et la problématique de ce mémoire.

Rapport

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

II. Les procédés de fabrication des biocarburants

Il paraît nécessaire d'expliquer tout d'abord ce qu'est un gaz à effet de serre. Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent à l'effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs d'impact à l'origine du récent réchauffement climatique.



Hormis la vapeur d'eau, qui est évacuée en quelques jours, les gaz à effet de serre mettent très longtemps à s'éliminer de l'atmosphère. Étant donné la complexité du système atmosphérique, il est difficile de préciser la durée exacte de leur séjour. Ils peuvent être évacués de plusieurs manières :

- par une réaction chimique intervenant dans l'atmosphère : le méthane, par exemple, réagit avec les radicaux hydroxyles naturellement présents dans l'atmosphère pour créer du CO₂.
- par une réaction chimique intervenant à l'interface entre l'atmosphère et la surface du globe : le CO₂ est réduit par photosynthèse par les végétaux ou est dissous dans les océans pour former des ions bicarbonate et carbonate (le CO₂ est chimiquement stable dans l'atmosphère).
- par des rayonnements : par exemple, les rayonnements électromagnétiques émis par le soleil et les rayonnements cosmiques « brisent » les molécules dans les couches supérieures de l'atmosphère. Une partie des hydrocarbures halogénés disparaissent de cette manière (ils sont généralement chimiquement inertes, donc stables lorsque introduits et mélangés dans l'atmosphère).

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

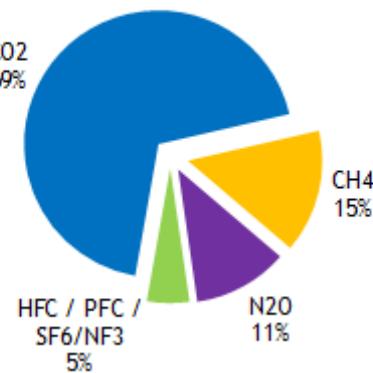
Voici quelques estimations de la durée de séjour des gaz, c'est-à-dire le temps nécessaire pour que leur concentration initiale diminue de moitié.

Durée de séjour des principaux gaz à effet de serre :

Gaz à effet de serre	Formule	Durée de séjour (années)
Vapeur d'eau	H_2O	Quelques jours
Dioxyde de Carbone	CO_2	100
Méthane	CH_4	12
Protoxyde d'azote	N_2O	114
Dichlorodifluorométhane (CFC-12)	CCL_2F_2	100
Chlorodifluorométhane (HCFC-22)	$CHCLF_2$	12
Tétrafluorométhane	CF_4	50 000
Héxafluorure de soufre	SF_6	3 200

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

L'émission qui nous intéresse ici est celle du dioxyde de carbone. C'est un gaz incolore et inodore. Le dioxyde de carbone (CO_2) est induit principalement par la combustion des combustibles composés de carbones, qu'ils soient d'origine fossile ou d'origine biomasse dans les secteurs résidentiels et tertiaires, transports et industriels. En France, cette combustion représente environ 95% des émissions totales hors Utilisation des Terres, Changement d'affectation des Terres et Foresterie (UTCATF). Il est aussi émis naturellement par la respiration des êtres vivants, les feux de forêts et les éruptions volcaniques. Une partie de ces émissions est absorbée par des réservoirs naturels ou artificiels appelés « puits », constitués principalement des océans, des forêts et des sols. Il est également le GES le plus émis dans l'atmosphère.



1. Contexte réglementaire

a. Le protocole de Kyoto

Tout a commencé en 1997 lorsque plusieurs pays ont décidé de signer le protocole de Kyoto. Le protocole de Kyoto est un accord international visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et qui vient s'ajouter à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques dont les pays participants se rencontrent une fois par an depuis 1995.

Signé le 11 décembre 1997 lors de la 3^e Conférence des parties à la convention (COP3) à Kyoto, au Japon, il est entré en vigueur le 16 février 2005, c'est-à-dire, « au quatre-vingt dixième jour après la date à laquelle au moins 55 Parties à la Convention, incluant les Parties Annexe I qui comptaient en 1990 un total d'au moins 55 % des émissions de CO_2 de ce groupe, avaient déposé leurs instruments de ratification, d'acceptation, d'approbation ou d'accession ».

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Ce protocole visait à réduire, entre 2008 et 2012, d'au moins 5 % par rapport au niveau de 1990 les émissions de six gaz à effet de serre :

- **le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO₂)** provenant essentiellement de la combustion des énergies fossiles et de la déforestation (ayant pour conséquence une diminution des « puits »),
- **le méthane (CH₄)** qui a pour origine principale l'élevage des ruminants, la culture du riz, les décharges d'ordures ménagères, les exploitations pétrolières et gazières,
- **les halocarbures (HFC et PFC)** sont les gaz réfrigérants utilisés dans les systèmes de climatisation et la production de froid, les gaz propulseurs des aérosols,
- **le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O)** provient de l'utilisation des engrains azotés et de certains procédés chimiques,
- **l'hexafluorure de soufre (SF₆)** utilisé par exemple dans les transformateurs électriques.

b. La directive du 8 mai 2003 : 2003/30/CE

Article premier

« La présente directive vise à promouvoir l'utilisation de biocarburants ou d'autres carburants renouvelables pour remplacer le gazole ou l'essence à des fins de transport dans chaque État membre, en vue de contribuer à la réalisation d'objectifs consistant notamment à respecter les engagements en matière de changement climatique, à assurer une sécurité d'approvisionnement respectueuse de l'environnement et à promouvoir les sources d'énergie renouvelables. »

Cette directive donnait pour objectifs aux états membres de l'Union Européenne d'incorporer l'équivalent **de 2 % du Potentiel Calorifique Inférieur (PCI)** du combustible (diesel ou essence) en biocarburant avec pour date limite **le 31 décembre 2005 au plus tard**. Elle donnait comme autre valeur de référence **5,75 % du PCI** du combustible en biocarburant avec pour date limite **le 31 décembre 2010 au plus tard**.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

c. La directive du 23 avril 2009 : 2009/28/CE

La directive européenne 2009/28/CE fixe un objectif d'intégration des sources renouvelables dans le secteur des transports **d'au moins 10 % du PCI du combustible en biocarburant pour chaque État membre d'ici 2020**. Cette directive établit également des critères de durabilité pour les biocarburants (dans les articles 17 à 19), en accord avec l'objectif de réduction des gaz à effet de serre, de préserver les terres présentant une grande valeur sur le plan de la biodiversité. Parmi les critères fixés, les biocarburants doivent émettre au moins 35% de moins de gaz à effet de serre que les carburants traditionnels pour être considérés comme « durables ».

On résumera donc en disant que la réglementation européenne impose aux producteurs de carburant d'incorporer 5,75 % du PCI du carburant en matière végétale en 2010 et imposera 10 % du PCI en 2020. On précisera cependant, que la NF EN 590 (la norme carburant automobile gazole) n'autorise qu'une incorporation de 7 % de volume d'EMHV maximum dans le gazole fossile, mais aussi que la NF EN 228 (la norme carburant automobile essence) n'autorise qu'une incorporation de 10 % de volume d'éthanol maximum dans l'essence fossile. Les producteurs de carburant doivent donc atteindre les chiffres minimum de la réglementation européenne tout en prenant en compte les chiffres maximum des normes françaises.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

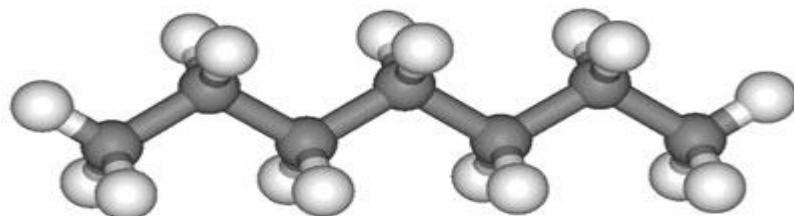
2. Procédé de fabrication de la bio-essence de première génération

Il faut tout d'abord se poser la question : qu'est-ce que les biocarburants de première génération ?

Un biocarburant de première génération (1G) est produit à partir de culture agricole destinée normalement à l'alimentation. Plus particulièrement, ce sont les huiles des plantes oléifères qui servent à produire le bio-gazole et le sucre des plantes à sucre pour produire la bio-essence. Les biocarburants de première génération, sont donc issus de la conversion de cultures alimentaires en sources d'énergie plutôt qu'en produits alimentaires. Par conséquent, la production de ces biocarburants entre en compétition avec la production alimentaire. En effet, si on utilise des zones agricoles pour produire du carburant bio, ces zones ne serviront pas à la production alimentaire.

a. L'essence

L'essence est issue de la distillation du pétrole, c'est un liquide inflammable utilisé comme carburant pour les moteurs essence. C'est un mélange de molécules composé de 5 à 10 carbones. On peut ajouter à ce mélange d'hydrocarbures des additifs pour carburant.

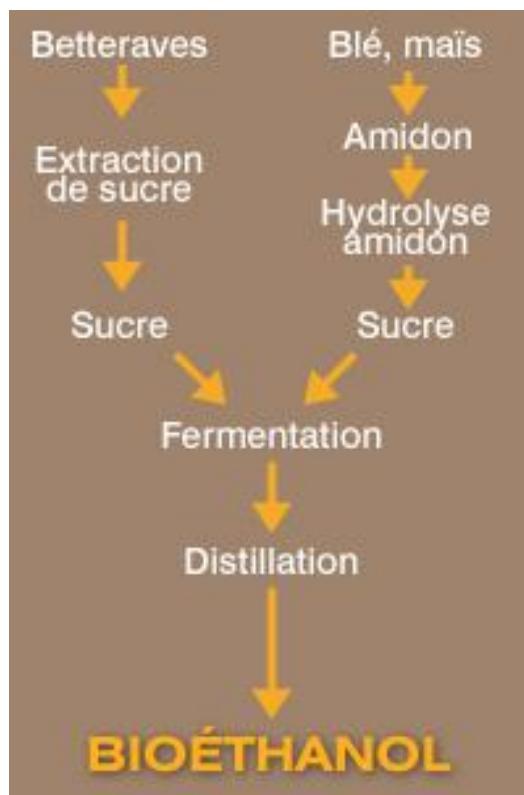


b. La voie éthanol

Incorporer de l'éthanol à de l'essence fossile, permet de créer du biocarburant pour moteur essence. Les végétaux sucrés tels que la betterave ou la canne à sucre ou les végétaux contenant de l'amidon comme le blé ou le maïs peuvent être transformés pour donner de l'éthanol. Cette filière est plus communément appelée filière « sucre ».

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Les étapes de fabrication de l'éthanol se déroulent comme suit :



C'est donc après extraction du sucre des betteraves ou hydrolyse de l'amidon de différentes céréales (blé ou maïs) que l'on fait fermenter le sucre. Après une distillation de celui-ci le mélange est fait avec l'essence.

On a dit précédemment, que la norme EN 228 n'autorisait l'incorporation d'éthanol qu'à hauteur de 10% de volume dans l'essence. Ainsi, l'essence comprenant 10% d'éthanol est appelée communément E10. Il existe plusieurs types de carburants contenant de l'éthanol, la plupart sont des mélanges d'essence et d'éthanol à différentes proportions. On les désigne par la lettre E suivie du pourcentage d'éthanol dans le mélange : par exemple de l'E85 représente un carburant contenant 85 % volume d'éthanol et 15 % volume d'essence fossile. Dans cette nomenclature, E100 désigne l'éthanol pur.

On trouve ainsi de l'E5, E7, E10, E15, E20, E85, E95, E100 en fonction du pays dans lequel on se trouve et de l'utilisation que l'on veut en faire.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

c. Comparaison essence brute / éthanol / bio-essence

Nous allons maintenant illustrer par un exemple afin de comparer, pour un même volume, la distance parcourue grâce à un plein d'essence brute et un plein d'éthanol pur et ainsi voir quel est le plus avantageux pour le conducteur.

	Essence (Heptane)	Ethanol	Comparaison
PCI (MJ/kg)	44	27	- 37 %
Masse volumique (kg/m³)	755	794	+ 5 %
PCI_{vol} (MJ/L)	33	21	- 36 %
Distance parcourue (km)	1 000	640	- 36 %

NB : On multiplie le PCI en MJ/kg avec la masse volumique en kg/m³ puis on le divise par 1000 pour obtenir un PCI volumique en MJ/L.

Ainsi, ce tableau nous permet de voir que si une voiture roulant à l'essence peut parcourir 1000 km avec un plein (cela reste de la théorie), cette même voiture roulant à l'éthanol pur ne pourra parcourir que 640 km. Cet écart est dû à la différence de PCI des deux liquides. Etant donné que l'éthanol dégage moins d'énergie à sa combustion que l'essence, un moteur qui fonctionne à l'éthanol consomme plus pour développer la même quantité d'énergie qu'un moteur identique fonctionnant à l'essence.

Mais on sait qu'à la pompe, n'est disponible que de l'E10 maximum. C'est-à-dire de l'essence avec 10 % de volume d'éthanol. Comparons donc le réel écart de distance entre l'essence dite brute et l'essence additivée en produit bio.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

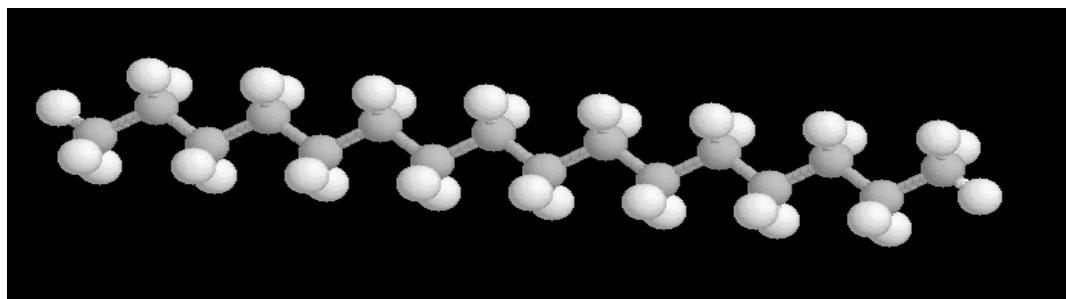
	Essence (Heptane)	Bio-essence (E10)	Comparaison
PCI (MJ/kg)	44	42,3	- 4 %
masse volumique (kg/m³)	755	759	+ 0,5 %
PClvol (MJ/L)	33	32	- 3 %
Distance parcourue (km)	1 000	970	- 3 %

Ce tableau nous permet de comprendre qu'une voiture roulant à l'essence ou l'E10 parcourra pratiquement la même distance à 3 % près avec le même volume de carburant. Ainsi, le fait que l'éthanol a un moins bon PCI n'a que peu d'impact sur l'autonomie de l'E10 en termes de distance.

3. Procédé de fabrication du bio-gazole de première génération

a. Le gazole

Le gazole ou gasoil, est un carburant issu du raffinage du fioul pour moteur diesel. Il compte pour environ 80 % du carburant consommé en France. Le gazole est un mélange de molécules composé de 16 à 20 carbones. Ici, C₁₆H₃₄.



MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

b. Les Esters Méthyliques d'Huiles Végétales

Les Esters Méthyliques d'Huiles Végétales (EMHV) servent à fabriquer du bio-gazole. Pour former de l'EMHV nous devons faire réagir des huiles végétales extraites de divers oléagineux avec une molécule de méthanol (CH_3OH). De nombreuses espèces végétales sont oléifères comme le palmier à huile, le tournesol, le colza, le jatropha ou le ricin. Les rendements à l'hectare varient d'une espèce à l'autre. En principe, toutes les huiles peuvent être utilisées, cependant, certaines sont privilégiées à d'autres :

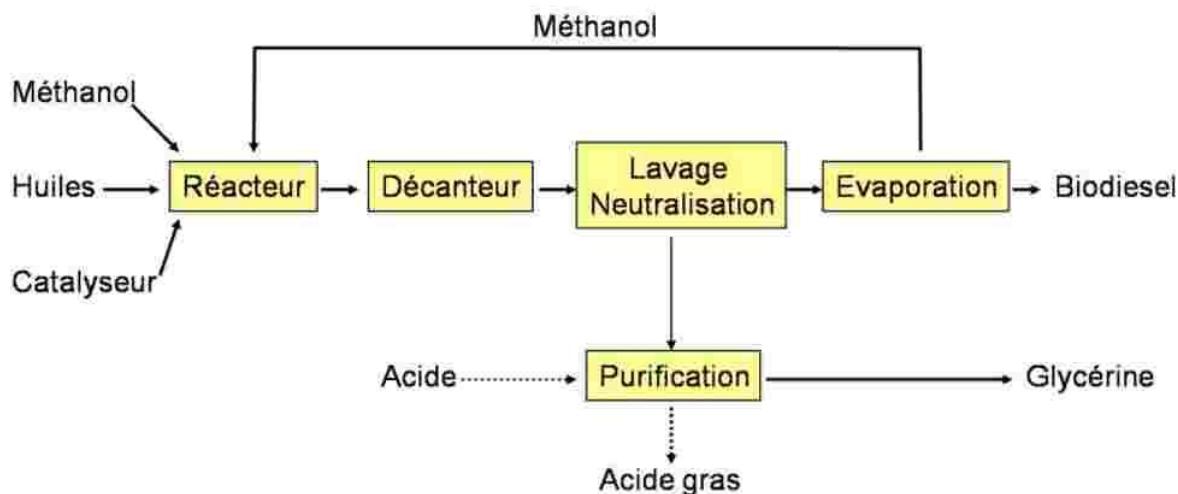
- L'huile de colza : à ce jour, c'est l'huile végétale brute la plus intéressante en ce qui concerne l'utilisation en tant que biocarburant. En effet, elle est facilement utilisable du fait de sa pauvreté en acides gras saturés. De plus, son faible coût ne fait que rendre l'huile de colza plus intéressante.
- L'huile de tournesol : cette huile très légère est très utilisée comme biocarburant ; en effet, il s'agit de l'huile végétale la plus intéressante sur le plan de l'écobilan. Cependant, elle a la particularité de contenir plus de gomme que l'huile de colza, ce qui joue en sa défaveur car elle aura pour effet de boucher plus rapidement les conduits d'alimentation en carburant.
- L'huile d'arachide : les avantages de l'huile d'arachide sont sa polyvalence et surtout le fait qu'elle ne nécessite pas de raffinage pour pouvoir être cuite sans risque cancérogène.

Ce sont les huiles obtenues à partir de ces cultures qui vont être mélangées, après transformation, au gazole pour former du gazole à 7% volume bio. Pour former l'EMHV nous utilisons la transestérification.



MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Comme dit plus haut, la transestérification se fait par réaction entre les huiles végétales et une molécule de méthanol. A noter qu'en plus de l'EMHV, une molécule de glycérine est formée qui servira dans l'industrie des cosmétiques, induisant par ailleurs, un avantage économique et écologique.



Les propriétés physiques des esters éthyliques et méthyliques obtenus lors de la réaction de transestérification sont alors proches de celles du diesel. Les molécules plus petites du biodiesel ainsi obtenues peuvent alors être utilisées comme carburant dans les moteurs à allumage par compression.

On a vu au début de ce mémoire que l'EMHV ne peut aujourd'hui être incorporé qu'à hauteur de 7 % de volume dans le gazole maximum. Ce bio-gazole est appelé B7. On remarquera qu'il n'est pas obligatoire par le distributeur de noter à la pompe si le gazole est pur ou s'il s'agit du B7. Les automobilistes ayant un véhicule diesel roulent probablement au gazole B7 sans même le savoir.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

c. Les Huiles Végétales Hydro-traitées

Il existe une deuxième méthode pour incorporer des huiles végétales dans le gazole. On peut les faire réagir avec de l'hydrogène et ainsi casser complètement la molécule. On obtient alors de l'Huile Végétale Hydro-traitée ou HVH. On produit ainsi une molécule composée exclusivement de carbone et d'hydrogène, donc une molécule 100% combustible. Cette HVH est dite fongible, c'est-à-dire que, comme sa structure moléculaire est parfaitement identique à celle d'un gazole fossile, on peut logiquement en incorporer autant que l'on veut dans celui-ci. Cependant, l'inconvénient majeur limitant son incorporation est que l'huile a tendance à se figer et à troubler à des températures proches de la température ambiante. Or, les réglementations européennes requièrent que le gazole reste clair et limpide, même lorsque la température extérieure atteint les -5°C en hiver. Etant donné que certaines huiles peuvent se troubler et figer à partir de 25°C et en deçà, leur incorporation reste donc limitée. Mais cette HVH reste tout de même la meilleure solution pour atteindre la valeur minimale de 10% du PCI du diesel en huile végétale pour seulement 7 % de volume maximum d'huile transestérifiée. Il suffit juste de trouver le mélange adapté pour qu'il ne fige pas.

d. Comparaison diesel brut / EMHV / bio-gazole

Comme pour la filière essence, nous allons maintenant prendre un exemple afin de comparer combien le diesel brut et l'EMHV permettent de parcourir en termes de distance pour un volume équivalent. Et ainsi voir quel est le plus avantageux pour le conducteur.

	Gazole	EMHV	Comparaison
PCI (MJ/kg)	43	37	- 14 %
Masse volumique (kg/m³)	835	880	+ 5 %
PCI_{vol} (MJ/L)	36	32,5	- 12 %
Distance parcourue (km)	1 000	880	- 12 %

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Ce tableau fait apparaître que la différence de distance parcourue entre un véhicule avec un plein de gazole brut et un véhicule avec un plein d'EMHV est de l'ordre de 10 %. Cette différence provient de la composition des deux molécules. En effet, le gazole est composé de 100 % de carbones et d'hydrogènes tous deux combustibles alors que l'EMHV n'en est composé qu'à 90 %, les 10 % restants étant une molécule d'oxygène qui est incombustible.

Les moteurs diesels ne sont pas conçus pour rouler à 100% d'EMHV. Le producteur de bio-gazole a le droit d'incorporer au maximum que 7 % du volume total d'EMHV dans le gazole fossile. Nous allons donc comparer le réel écart de distance parcourue entre le gazole dit brut et le bio-gazole.

	Gazole	Bio-gazole (B7)	Comparaison
PCI (MJ/kg)	43	42,5	- 1 %
Masse volumique (kg/m³)	835	838,5	+ 0,5 %
PCIvol (MJ/L)	36	35,5	- 1,5 %
Distance parcourue (km)	1 000	985	- 1,5 %

Ainsi, nous constatons une perte de distance négligeable entre le B7 et le gazole.

Les données des différents tableaux cités nous permettent de constater que la perte de rentabilité en termes de distance reste négligeable entre un carburant brut et son homologue partiellement bio.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

III. L'impact environnemental

Dans cette partie nous allons analyser l'impact environnemental qu'ont les méthodes de fabrication des carburants bruts, ainsi que celles des biocarburants. Cette analyse nous permettra par la suite de confirmer si la fabrication et l'utilisation de biocarburants a réellement des effets bénéfiques pour l'environnement.

1. Les étapes de production de carburant et biocarburant et leur émission en CO₂.

a. Carburant brut

L'exploration pétrolière et la production :

L'exploration consiste à rechercher des gisements. Géologues et géophysiciens collaborent à cette investigation chargée d'enjeux économiques. Après l'étude détaillée des structures géologiques en surface et en profondeur et leur imagerie par la sismique, seul le forage peut certifier la présence de pétrole. Les profondeurs de forage dans la terre varient le plus souvent entre 2 000 et 4 000 m.

La phase de production et plus précisément d'extraction du pétrole, nécessite des techniques complexes : le maillage du réservoir par des puits multiples, le maintien de la pression du réservoir par injection d'eau et/ou de gaz, la séparation pétrole/gaz en surface et l'expédition vers les marchés.

L'exploration et la production ont prioritairement été effectuées à terre par facilité d'accès. Depuis les dernières décennies, les développements s'orientent aussi vers l'offshore (forage en mer) évoluant vers des techniques plus complexes et des eaux plus profondes.

Le raffinage et la distribution :

Comme le pétrole brut n'est pas utilisé tel quel, il est nécessaire de le raffiner : le raffinage consiste en premier lieu à distiller le pétrole afin de séparer les hydrocarbures suivant leur densité. Au fil du temps, nombre de procédés ont été développés (craquage, reformage) pour accroître la part des hydrocarbures les plus profitables (ex : essence et gazole) en diminuant celle de fioul lourd et pour rendre les carburants plus propres à l'emploi (élimination du soufre).

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Les zones de production sont le plus souvent éloignées des zones de consommation. Pour acheminer le pétrole d'une zone à l'autre, deux modes de transports principaux sont utilisés : l'oléoduc (ou pipeline) et le pétrolier par voie maritime.

Il est aisément compréhensible que chacune de ces étapes sont émettrices de GES ne serait-ce que pour le transport du personnel en charge de ces étapes qui doit certainement fonctionner pour la plupart avec du carburant fossile. Les étapes de forage, extraction, raffinage et distribution sont donc toutes émettrices de CO₂.

b. Biocarburant

Il faut tout d'abord produire la ¹biomasse-énergie, c'est-à-dire cultiver les champs de céréales, colza ou encore tournesol. Il faut ensuite récolter cette biomasse pour, par la suite, la transformer en biocarburant en utilisant les procédés cités précédemment, la dernière étape étant le transport de ce biocarburant vers les stations-services.

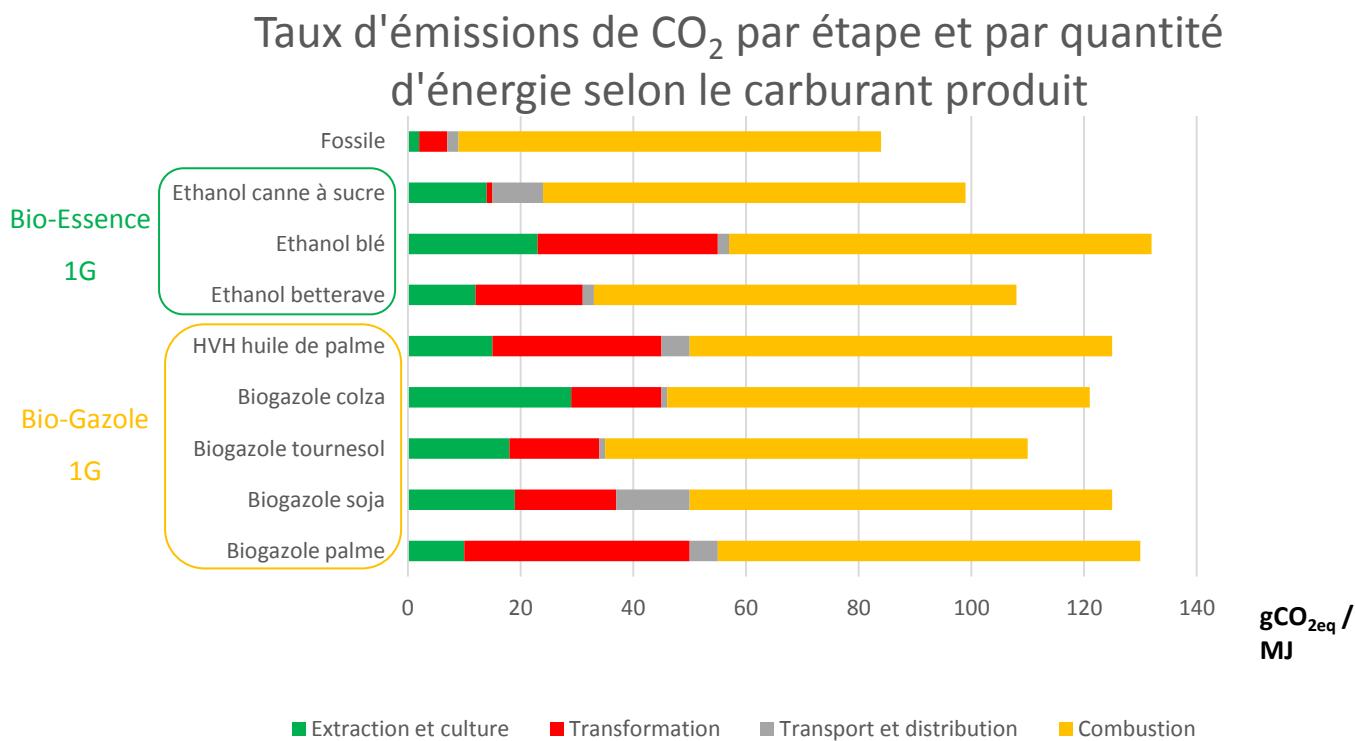
Comme pour les étapes de fabrication du carburant fossile, ces étapes sont toutes émettrices de GES. En effet, les engins servant à cultiver les champs utilisent des carburants fossiles émetteurs de CO₂. L'étape de transformation de la biomasse est également émettrice de GES.

¹Biomasse-énergie: Dans le domaine de l'énergie, et plus particulièrement des bioénergies la « biomasse énergie » est la partie de la biomasse utilisée ou utilisable comme source d'énergie.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

2. Comparaison des impacts environnementaux

Nous allons analyser un graphique tiré des données issues de la directive du 23 avril 2009 qui nous donne les émissions de GES dans le cycle que l'on appelle communément « du puits à la roue ».



Sur ce graphique, on peut étonnamment constater que, lorsque l'on combine les quantités de CO₂ émises par Extraction/culture, Transformation, Transport/distribution et Combustion, la filière de production de carburant fossile est moins émettrice de CO₂ que celle du bio-gazole ou celle de la bio-essence. Comme l'émission de CO₂ par combustion est la même (75 gCO_{2eq}/MJ) pour toutes les filières et les 3 autres étapes sont plus émettrices dans les filières bio. Le bilan carbone « du puits à la roue » est donc plus important pour le bio-gazole et la bio-essence.

Cependant, une donnée n'a pas été prise en compte. En effet, il y a une certaine différence entre le devenir de l'émission de CO₂ par combustion du carburant brut et celui des biocarburants.

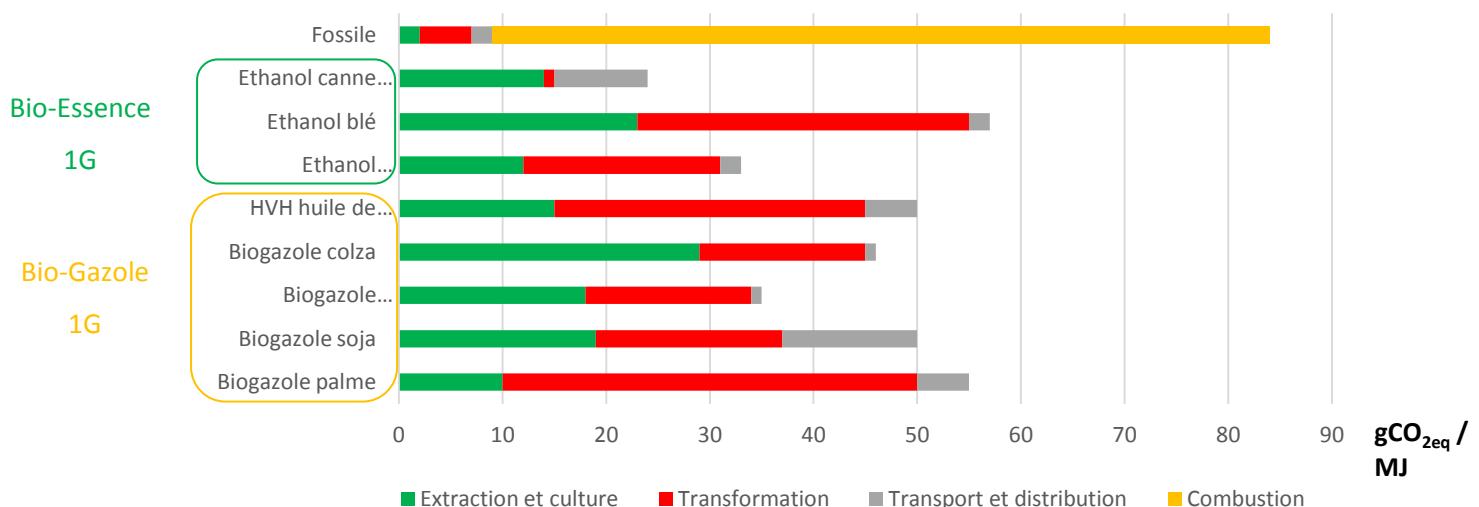
MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

S'agissant des carburants fossiles, cette émission participe au réchauffement climatique en augmentant les gaz à effet de serre émis sur notre planète et plus particulièrement dans la couche d'ozone. Une fois sortie du moteur et du pot d'échappement de nos voitures, ce CO₂ relâché dans l'atmosphère vient stagner et s'accumuler dans la couche d'ozone.

A contrario chez les biocarburants, ces émissions de CO₂ par combustion, une fois libérées dans l'atmosphère, vont être captées par les végétaux environnents qui produiront par la suite de la biomasse-énergie par photosynthèse grâce à l'énergie du soleil. Cette biomasse-énergie permettant de fabriquer des biocarburants, le CO₂ émis est réutilisé, ne s'accumule donc pas dans l'atmosphère et ne doit donc pas être pris en compte dans le calcul du taux d'émissions de CO₂ de ces filières. On appelle donc ce CO₂ : « bio-CO₂ »

En conséquence, le graphique a changé :

Taux d'émissions de CO₂ par étape et par quantité d'énergie selon le carburant produit



On constate donc, cette fois-ci, que la filière de production du carburant fossile est nettement plus émettrice de CO₂ que celles des biocarburants.

En Europe, la filière de fabrication de bio-gazole la plus utilisée est la production d'EMHV de colza qui est 42 % moins émettrice de CO₂ que la filière de fabrication de carburant fossile. Pour la filière bio-essence, c'est la fabrication par l'éthanol de canne à sucre qui est la plus utilisée, moins émettrice de 70 % par rapport à la filière fossile.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

IV. Les risques induits par les biocarburants

Nous connaissons tous, les principaux risques des carburants, notamment le risque d'incendie et d'explosion. Mais ce risque est-il plus ou moins important en ce qui concerne les biocarburants ?

1. Le risque incendie/explosion

Des études ont été faite sur la Plateforme de la Mède, afin de déterminer si oui ou non, les risques induits par les biocarburants sont les mêmes que ceux des carburants fossiles. Il est ressortit de ces études que les risques incendie / explosion sont globalement les mêmes. En effet, malgré l'ajout d'éthanol ou d'EMHV, la composition du biocarburant reste pratiquement la même que celle des carburants fossiles. Seule la méthode d'extinction de l'essence à l'éthanol est différente. L'éthanol étant un produit polaire, la quantité d'émulseur dans l'eau d'extinction devra être doublée pour parvenir à éteindre un feu de bio-essence.

2. Le risque chimique : agent CMR

Il en va de même pour le risque cancérogène. En juin 2012, 24 experts de sept pays se sont réunis au Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) à Lyon pour évaluer la cancérogénicité des gaz d'échappements des moteurs essence et des moteurs diesel.

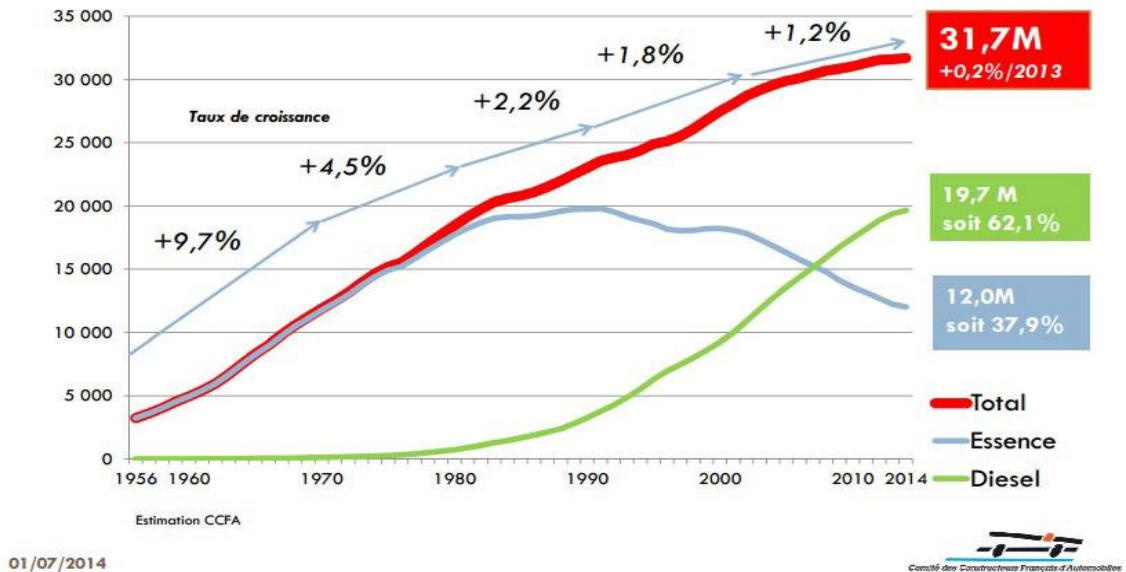
Il résulte de cette réunion que le diesel est une substance cancérogène. «*Le diesel, à travers ses fumées noirâtres, émet beaucoup d'oxydes d'azote mais aussi de benzopyrènes : des particules fines, réputées cancérogènes et suspectées d'être responsables d'allergies, et de maladies cardio-pulmonaires.* ». Cette étude permet, non de démontrer la cancérogénicité des HAP tel que le benzopyrène, mais de prouver sa présence dans les gaz d'échappement.

Le bio-gazole, composé à 93 % de combustible fossile, est donc lui aussi un agent CMR.

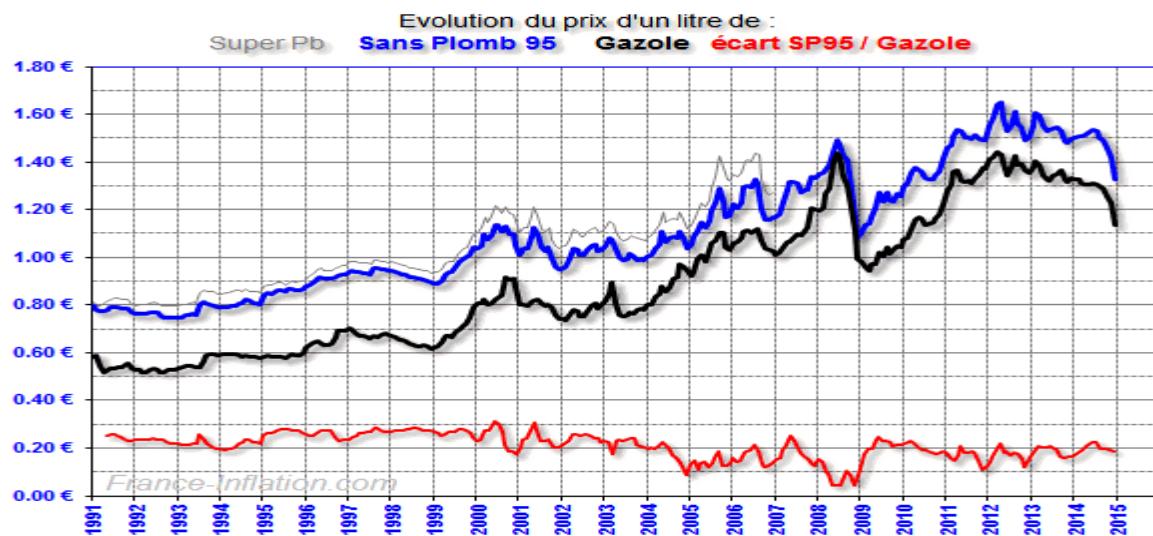
MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

V. L'impact économique

Je ne pouvais parler des différents impacts des biocarburants sans aborder le thème de la rentabilité économique des biocarburants. Le biocarburant est-il rentable économiquement parlant par rapport au carburant fossile ? Voyons tout d'abord, l'évolution du parc automobile français :

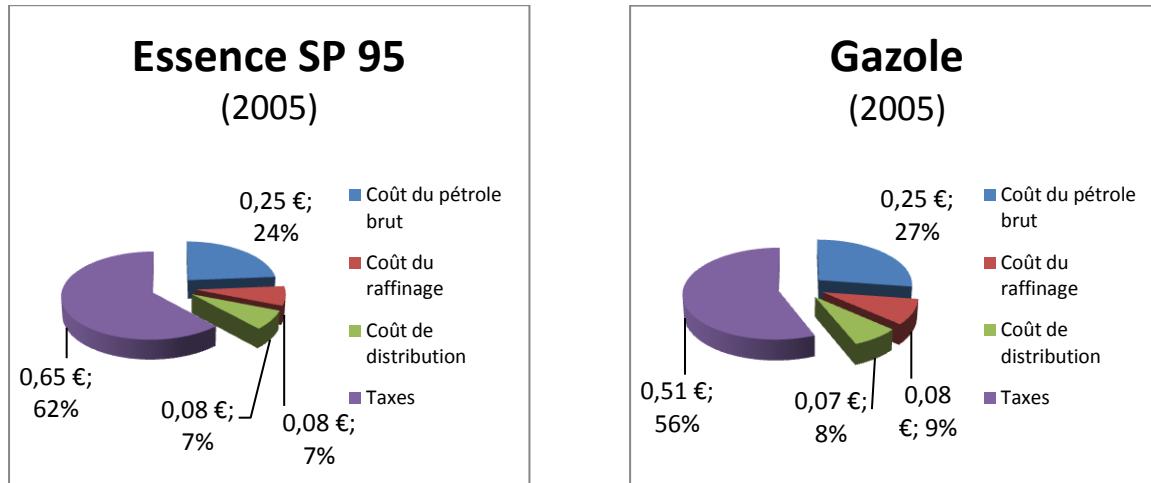


On peut y voir que l'achat de véhicules diesel est en augmentation depuis quelques années et est même le type de véhicule le plus utilisé depuis 2005. Ceci est certainement dû au prix du litre de gazole qui est inférieur au prix du litre d'essence. Voici le graphique de variation du prix d'essence par rapport au prix du diesel :



MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Voyons maintenant ce qui compose le prix des carburants en France :

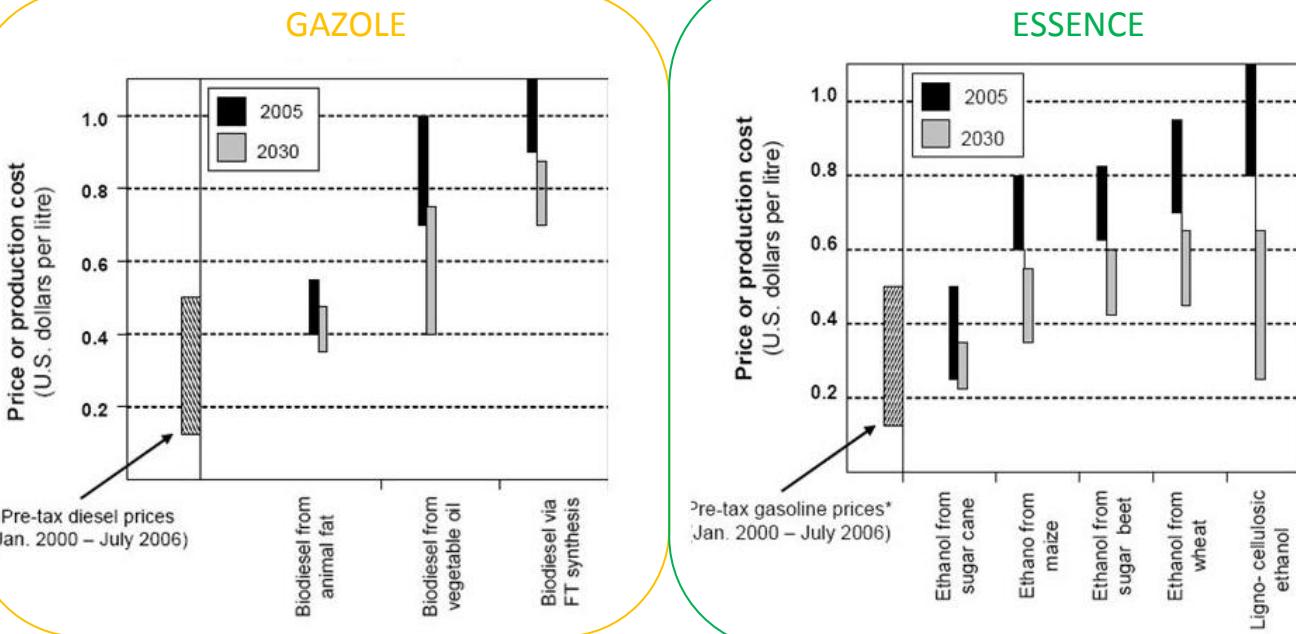


Source : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

NB : Les données concernent volontairement l'année 2005 pour pouvoir être comparées aux graphiques suivants. Les prix d'un litre d'essence SP95 et d'un litre de gazole en 2015 sont respectivement de 1,39€ et 1,21€ (Source : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie).

On sait donc que le prix du diesel est inférieur au prix de l'essence, et on connaît maintenant la décomposition du prix d'un litre de carburant à la pompe. Mais qu'en est-il des biocarburants ?

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES



Source : "Biofuels: is the cure worse than the disease?", Round table on sustainable development, OECD, 2007

Nous allons prendre comme exemple le bio-gazole à partir d'huile de graisse animale et l'éthanol à partir de sucre de canne qui sont les moins chers de leur catégorie. Pour ces calculs, je mettrai directement les prix en euros (Rappel : 1\$ = 0,88€ ; 1€ = 1,13\$). On partira également du principe que les coûts de raffinage, de distribution et les taxes sont les mêmes que pour les carburants fossiles bruts.

Pour le bio-gazole (B7) :

- Coût de production :
 - Gazole brut : 0,25€ à hauteur de 93% du volume total = 0,23€
 - Huile de graisse animale : varie de 0,36€ à 0,49€. La moyenne est de : 0,43€ à hauteur de 7% du volume total = 0,03€
- Coût de raffinage et distribution :
 - 0,08€ et 0,07€
- Taxes :
 - 0,51€

Total : 0,23 + 0,03 + 0,08 + 0,07 + 0,51 = 0,92€/l

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Le prix total d'un litre de gazole brut est de 0,90€ en 2005. Ainsi pour la filière bio-gazole, pour le moins cher de la catégorie, le prix de revient est supérieur. Comme précisé plus haut, il s'agit de la technique la moins chère les autres techniques seront forcément plus chères.

Pour la bio-essence (E10) :

- Coût de production :
 - o Essence brute : 0,25€ à hauteur de 90% du volume total = 0,23€
 - o Ethanol de sucre de canne : varie de 0,24€ à 0,45€. La moyenne est de : 0,40€ à hauteur de 10% du volume total = 0,04€
- Coût de raffinage et distribution :
 - o 0,08€ et 0,08€
- Taxes :
 - o 0,65€

Total : $0,23 + 0,04 + 0,08 + 0,08 + 0,65 = 1,08\text{€/l}$

Le prix total d'un litre d'essence brute est de 1,05€ en 2005. Ainsi pour la filière bio-essence, pour le moins cher de la catégorie, le prix de revient est supérieur. Les autres techniques seront également plus chères.

On peut expliquer ce coût par le fait que certaines filières de production des biocarburants de première génération ne sont pas encore assez matures. On peut également voir que, pour les perspectives des prix pour 2030, le coût de production des différentes matières (éthanol et huiles végétales) aura nettement baissé. Ceci étant expliqué par les techniques de production qui seront meilleures et moins coûteuses.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

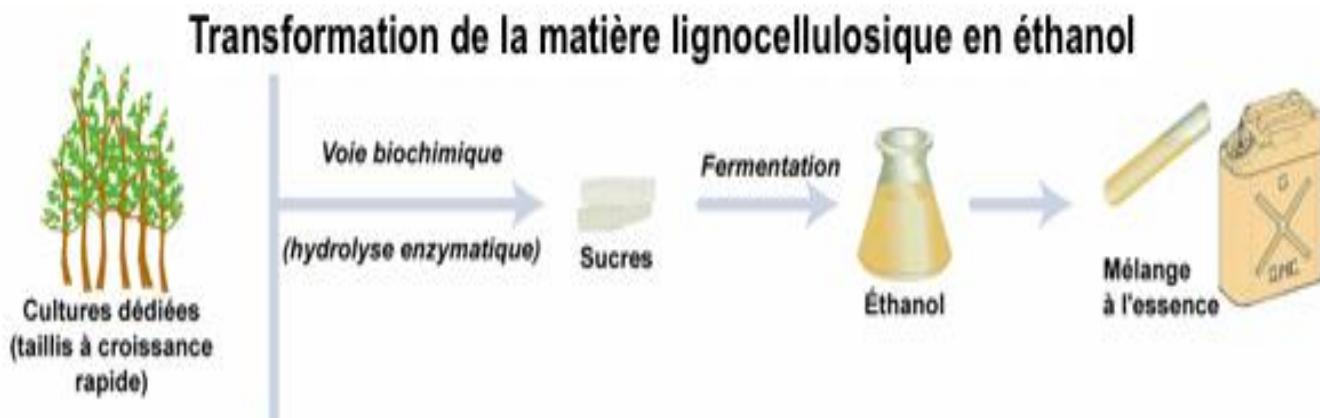
VI. Les biocarburants de demain

1. Les biocarburants de 2^{ème} génération

Vous l'aurez compris, les carburants de première génération étant en concurrence avec l'industrie de l'alimentaire, leur utilisation n'est pas une solution viable sur le long terme. En effet, 6 % des surfaces agricoles françaises sont dédiées à la production de biocarburant. Et ce nombre ne va aller qu'en augmentant. Cela afin de diminuer les émissions de CO₂ et ainsi faire baisser le taux de GES dans l'atmosphère.

a. La filière essence

Pour ce faire, des travaux de recherche sont actuellement en cours pour produire de la biomasse à partir de matière dite « cellulosique », concernant principalement le bois, le principe étant d'hydrolyser la cellulose du bois en glucose à partir d'enzyme, puis de fermenter ce glucose en éthanol. Cette technique permettrait d'alimenter la filière essence en biocarburant.

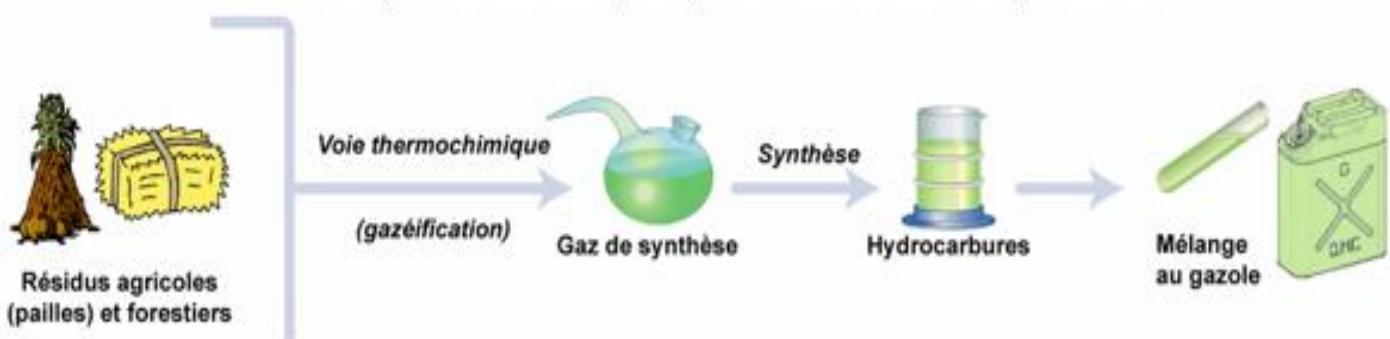


MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

b. La filière gazole

Pour la filière gazole, une technologie possible consiste à gazéifier de la biomasse, principalement la paille, le bois et les cultures dédiées. On entend par « gazéifier » le fait de casser les molécules de biomasse en un gaz de synthèse. Puis, on recolle les molécules par le procédé de Fischer-Tropsch afin de produire des molécules hydrocarbures similaires à celles produites avec du pétrole brut. Le gazole qui en résulte est appelé « gazole BTL » c'est-à-dire gazole Biomass To Liquid.

Le BTL (biomass to liquid) ou carburant de synthèse

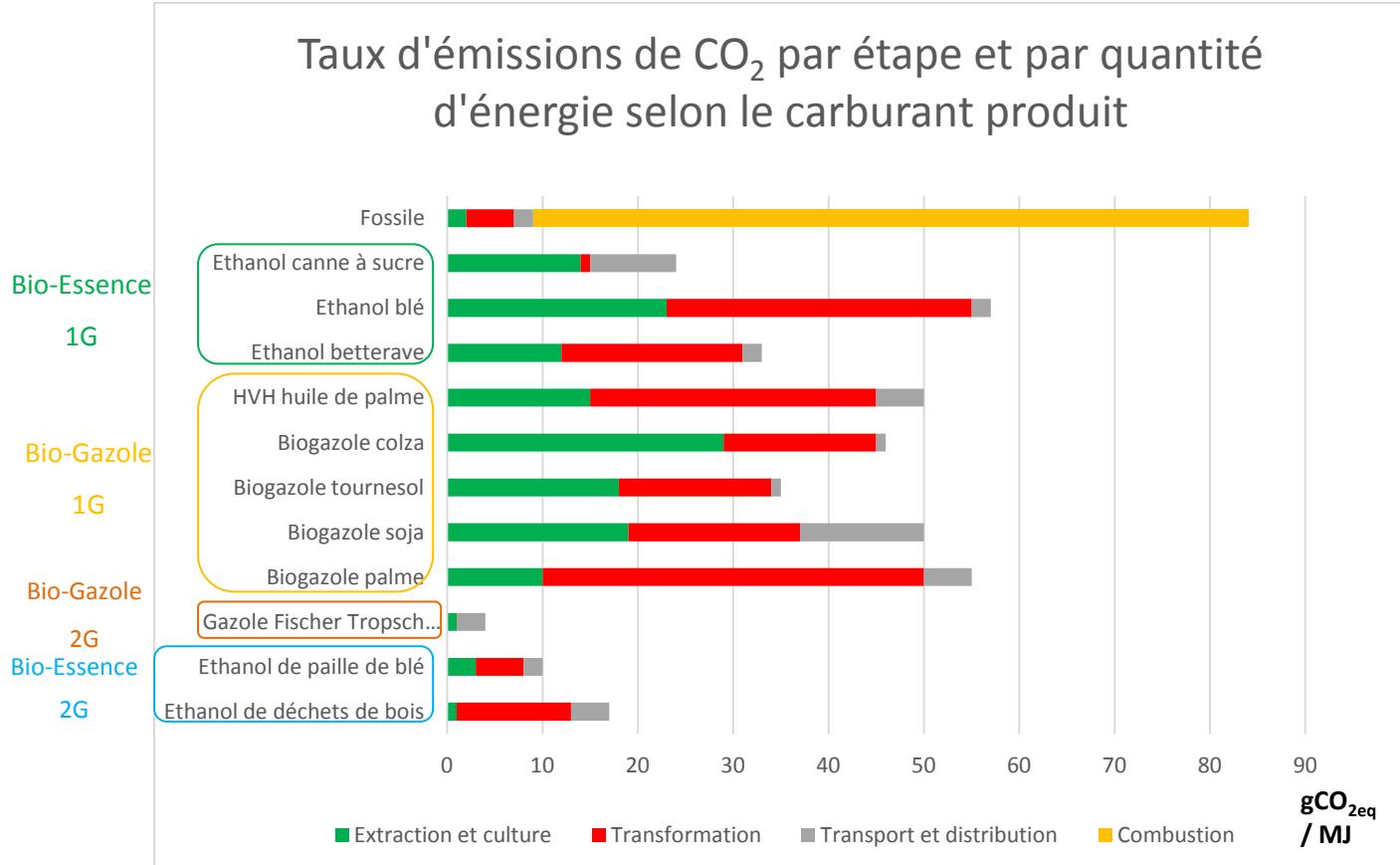


Il faut tout de même se dire que ces technologies sont encore au stade de la recherche et ne seront réellement disponibles que dans plusieurs années, leur coût de production étant par conséquent autant, voire plus cher que les biocarburants de première génération.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

2. Impact environnemental des biocarburants de 2^{ème} génération

D'après la directive 2009/28/CE, voyons maintenant si grâce aux biocarburants de 2^{ème} génération, les émissions de CO₂ seront diminuées :



En comparant les émissions de CO₂ des biocarburants 2G par rapport aux 1G, on constate qu'ils émettent beaucoup moins de CO₂. Pour le Gazole Fischer Tropsch, produit à partir de déchets de bois, il émet 90 % de CO₂ de moins que les filières 1G gazole. Pour l'éthanol, produit à partir de paille de blé ou de déchets de bois, il émet 80 à 90 % de CO₂ en moins que la filière 1G essence.

La solution des biocarburants de 2^{ème} génération pourrait donc être une solution viable sur le long terme et permettrait même de recycler certains déchets végétaux.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

3. Les biocarburants de 3^{ème} génération : les micro-algues

Les micro-algues et les cyanobactéries sont des organismes qui utilisent la lumière comme source d'énergie pour fixer le CO₂. Ces organismes microscopiques se trouvent en abondance dans les milieux aquatiques (océans, rivières, lacs, etc.)

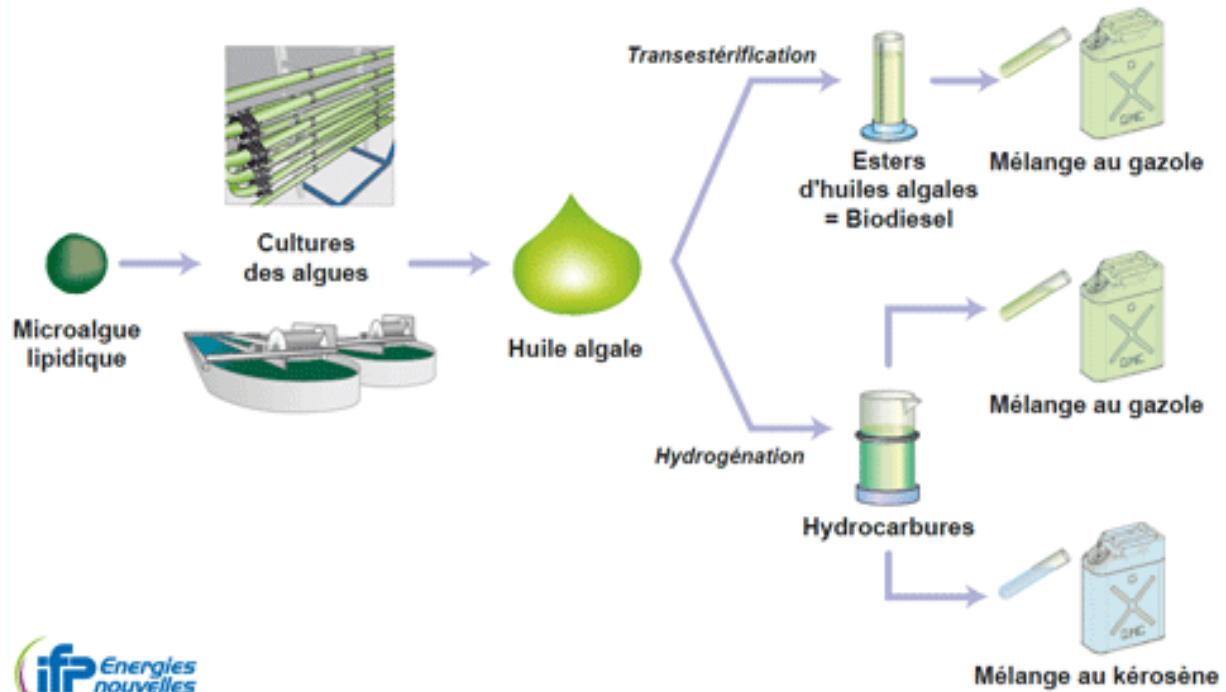
Les micro-organismes, suivant les types de conversion considérés, peuvent permettre de produire du biodiesel, du bioéthanol, du biogaz, de l'hydrogène, du butanol, etc.

Encore au stade de la recherche en laboratoire, la production de biodiesel à partir d'algues pourrait être prometteuse à plus long terme. Cette technologie, qui devrait annoncer la 3^e génération de biocarburants, exige de maîtriser la culture, la récolte et l'extraction des huiles algales. Depuis 2011, la start-up Bio Fuel System (BFS) exploite la première usine de fabrication de biocarburants à base d'algues. Elle se situe à Alicante en Espagne.

La production de biodiesel à partir d'algues lipidiques, produisant naturellement des lipides (huiles), est aujourd'hui la filière présentant le plus d'intérêt :

- Leur teneur en huile peut aller jusqu'à 80 % de la matière sèche
- Leur croissance nécessite d'importantes quantités de CO₂, ce qui permettrait également de recycler le bio-CO₂
- Les résultats obtenus en laboratoire laissent espérer une productivité élevée : entre 20 et 80 tonnes d'huile par hectare, contre deux à peine pour le colza ou le tournesol
- Ces algues se développent beaucoup plus rapidement que les plantes terrestres et sur des surfaces qui n'entrent pas, ou peu, en compétition avec les surfaces agricoles

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES



MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Conclusion

Les biocarburants sont voués à remplacer les carburants fossiles. Avec l'opinion publique qui tend vers une démarche environnementale et la réglementation qui force les industriels à diminuer leurs émissions de GES, le marché des biocarburants est en plein essor.

Les biocarburants arrivent à égaler les carburants fossiles en termes de rendement. Aux concentrations réglementaires (en % PCI ou en % volume), ils n'ont que peu d'impact négatif sur la distance qu'ils permettent de parcourir à volume de plein équivalent.

Leur impact sur l'environnement est moindre. Le gaz de combustion est réutilisé pour faire de la biomasse énergie et ils émettent donc moins de CO₂ que les carburants fossiles.

Ils n'apportent pas de risques supplémentaires comparés aux carburants classiques. En effet, ils sont globalement les mêmes.

Pour ce qui est de l'impact économique, ils restent plus chers que leurs homologues fossiles. Mais leur prix baissera avec le temps, grâce notamment aux nouvelles technologies et nouvelles méthodes de production.

Les biocarburants de 2^{ème} et 3^{ème} générations sont une solution pour supprimer le problème de concurrence avec l'industrie alimentaire. Ils permettront également d'émettre moins de GES. Les biocarburants de 1^{ère} génération restent une méthode viable à court terme. C'est pourquoi la plateforme de la Mède change de production et devient une bio-raffinerie.

Avec un investissement de 80 M€, un des projets vise à transformer l'unité de Désulfuration de Gasoil n°3 (DGO3) de la plateforme de La Mède, située sur le secteur Est de la raffinerie en unité de production de 500kta de biodiesel HVO (ou HVH en français) à partir d'huiles végétales durables, de résidus d'huile végétale et d'huiles usagées. On fabriquera donc des bio-gazoles de 1^{ère} et 2^{ème} génération.

La production résultante de l'unité sera la suivante :

- 520kta de biodiesel « HVO »,
- 25kta de bio naphta,
- 30kta de GPL,
- 90kta d'eau et de Bio CO₂,
- 5kta de gaz combustible.

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Bibliographie

➤ Sites Internet

- <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0030>
- http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/801
- <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/energie-renouvelable-biocarburant-premiere-generation-6683/>
- <http://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/effet-de-serre/potentiel-rechauffement-global-a-100-ans>
- <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biocarburant>
- <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/petrole>
- <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/Espace-Decouverte/Les-grands-debats/Quel-avenir-pour-les-biocarburants/La-fabrication-des-biocarburants-3-generations/Les-biocarburants-de-3e-generation-un-carburant-issu-d-algues>
- <http://slideplayer.fr/slide/1148649/>

➤ Support vidéo

- <https://www.youtube.com/channel/UCzbUrTDIW-nXMnQqoU68xxw>

➤ Supports Papier

- Directive 2009/28/CE du 23 avril 2009
- Livre projet La Mède - 14 avril 2015 – Titre 1 et 2

MASTER PREVENTION DES RISQUES & NUISANCES TECHNOLOGIQUES

Résumé

L'environnement est un sujet de plus en plus important et il touche toutes les populations. Et la part de gaz à effet de serre émise par les véhicules est très importante. Au plan mondial, le secteur du transport routier est à l'origine de 25 % de l'ensemble des émissions de CO₂. C'est pourquoi les biocarburants sont au centre des débats depuis plusieurs années. Ils permettraient de diminuer grandement les gaz à effet de serre émis lors des trajets en voiture, mais pas seulement.

Dans ce mémoire sont développés, de manière factuelle et illustrée d'exemples, les impacts des biocarburants par rapport aux carburants fossiles. Y sont développés notamment les impacts environnementaux, les impacts en termes de rendement mais également les impacts économiques.

Summary

The environment affects populations and it is a growing subject and a major concern for future. The part of greenhouse gas emitted by vehicles is very important and is increasing. The road transport sector is responsible of 25 % of all CO₂ emissions all over the world. That's why biofuels are the focus of debates for several years. They would greatly reduce greenhouse gas emitted by cars, but not only.

In this document the impacts of biofuels compared to fossil fuels are developed, by a factual manner and illustrated by examples. I developed environmental impacts, impacts in terms of performance but also economic impacts.

Mots clés : Biocarburants, EMHV, HVH, Essence, Gazole, Impacts, Environnement