



Les biocarburants dans l'automobile : petit état des lieux

Table des matières

Introduction.....	1
Les biocarburants automobiles.....	2
Présentation détaillée des filières.....	3
La première génération.....	3
La deuxième génération.....	8
La troisième génération.....	10
Conclusion.....	11
Références.....	12

Introduction

La période récente est marquée par des bouleversements écologiques majeurs, incluant tous une responsabilité humaine. On peut citer l'épuisement des ressources fossiles, le réchauffement climatique et la pollution aussi bien générale que locale. Vu que notre article évoque les carburants automobiles, nous allons examiner ces bouleversements depuis le secteur automobile.

Par exemple, on peut évoquer l'épuisement des ressources fossiles par l'intermédiaire du pic pétrolier. L'agence internationale de l'énergie évalue ainsi un épuisement des ressources de pétrole identifiées d'ici 54 ans en 2023, donc un épuisement vers 2077, au rythme de la consommation actuelle¹. Sachant que la demande mondiale pourrait augmenter de 45 % d'ici 2030¹, en raison du rattrapage de pays en voie de développement, cet épuisement pourrait alors survenir encore plus vite. Selon les experts de British Petroleum, les réserves pourraient couvrir 50,2 ans à partir de 2018 de consommation annuelle au rythme de 2017², donc permettre de tenir jusqu'en 2068. C'est important parce que le pétrole représente 32 % du mix énergétique mondial, dont 80 % de notre consommation d'énergies primaires (!)¹⁴, et occupe une place centrale dans le domaine des transports².

Il est vrai que les prévisions de pics de pétrole ont été maintes fois repoussées. Premièrement à cause de la découverte de nouveaux gisements.² Deuxièmement grâce au progrès technique qui permet de renforcer l'efficacité de l'exploitation des gisements déjà en service ou de commencer l'exploitation de gisements auparavant considérés comme inexploitable, notamment les gisements non-conventionnels². Troisièmement à cause du flou qui existe sur les déclarations de gisements, celles-ci étant réalisées par les compagnies pétrolières elles-mêmes². Par exemple, en



1980, on considérait déjà qu'il nous restait 50 ans de pétrole². De plus, les États-Unis ont passé leur pic d'extraction de pétrole conventionnel durant les années 1970², et le pic mondial aurait été passé selon l'agence internationale de l'énergie en 2006³, selon son rapport de 2010². Mais le boom des pétroles non-conventionnels a permis de relancer la production, repoussant le pic global à 2030 aux États-Unis selon l'agence américaine de l'énergie². Les États-Unis ont d'ailleurs battu leur record de production en 2023³⁰. Mais ce n'est qu'un répit de quelques décennies, sachant que le pétrole de schiste n'est pas rentable en-dessous de 60 dollars le baril² et que son extraction occasionne plus de dégâts environnementaux³.

Concernant l'environnement d'ailleurs, l'utilisation du pétrole joue un rôle important dans l'augmentation de l'effet de serre qui cause le réchauffement climatique. Par exemple, en France en 2019, le secteur des transports correspond à 31 % des émissions de gaz à effet de serre.⁴ Parmi ces 31 %, 94 % sont issus des transports routiers et 97 % est du CO₂ issu de la combustion du carburant, essentiellement des carburants issus du pétrole.⁴ L'exploitation mondiale des hydrocarbures génère aussi des fuites massives de méthane, un puissant gaz à effet de serre 30 fois plus puissant que le CO₂, portant l'exploitation des hydrocarbures à un quart des émissions anthropiques mondiales de ce gaz.⁶ Enfin, l'extraction, le transport et le raffinage représentent 15 à 40 % du total des émissions de gaz à effet de serre du cycle de vie du pétrole⁷. 22 % provient du torchage, qui consiste à brûler sur place le gaz prélevé lorsqu'il n'y a pas d'infrastructures pour le récupérer⁷.

La combustion des carburants issus du pétrole génère enfin un certain nombre de polluants comme les NOx, le CO et les COV.⁵ Le transport routier y contribuait en 2002 à hauteur de respectivement 41 %, 37,5 % et 24,3 %.⁵ Cela conduit aussi à la génération d'ozone à basse altitude, où il est considéré comme un polluant.⁵

Les biocarburants automobiles

Entre épuisement des ressources, réchauffement climatique et pollution, le bilan du pétrole est donc assez inquiétant, d'où des tentatives de le remplacer. Par exemple, il y a eu des recherches visant à remplacer l'essence et le diesel par des biocarburants destinés à l'usage automobile. Nous allons dans cet article en présenter rapidement les résultats. Mais pour ce faire, encore faudrait-il définir ce qu'est un biocarburant.

Par définition, un biocarburant désigne un combustible liquide ou gazeux destiné aux moyens de transports et produit à base de biomasse, c'est-à-dire un carburant d'origine biologique non fossile⁸.

Dans le domaine automobile, les biocarburants sont souvent utilisés en ajout dans les carburants fossiles⁹. Par exemple, le taux d'incorporation de biocarburants a atteint en France 6,8% de la consommation totale de carburant en 2012, respectivement 7,0% pour le biodiesel et 5,8% pour le bioéthanol⁹. Plus précisément, du bioéthanol est ajouté à la composition des carburants classiques à hauteur de 10 % dans le cas du SP95-E10, et le biodiesel à hauteur de 7 % dans le



diesel usuel.¹⁰ Du B30, contenant 30 % de biodiesel, est déjà utilisé par les véhicules d'entreprises ou d'État.¹⁰ De façon générale, la France produisait en 2012 1,8 million de tonnes équivalent pétrole, c'est-à-dire l'équivalent énergétique de 13,3 millions de barils de pétrole⁹.

Après cette rapide présentation générale, on pourrait maintenant passer à une présentation plus détaillée. Les biocarburants se divisent en deux générations :

- Les biocarburants de première génération, aussi nommés conventionnels⁸
- Les biocarburants de seconde génération, aussi nommés avancés⁸

Présentation détaillée des filières

La première génération

Concrètement, un biocarburant est dit de première génération s'il nécessite une matière première qui peut aussi servir à l'alimentation humaine ou animale⁸. Lorsque la matière première est de la biomasse issue de résidus agricoles, de déchets forestiers ou de cultures dédiées, alors il s'agit de biocarburants de seconde génération⁸. Les premiers sont déjà produits à grande échelle alors que les seconds sont encore en développement⁸.

Les biocarburants de première génération se divisent en bio-alcool et en biodiesel, respectivement destinés à être ajoutés la plupart du temps à l'essence et au diesel¹¹.

Le bio-alcool prend généralement la forme du bioéthanol¹¹, qui représente 90 % du total des biocarburants utilisés¹². Ce dernier est produit à partir des sucres de plantes à sucres, comme par exemple de cannes à sucre, de céréales, de betteraves sucrières¹¹, voire de raisins⁸. Les sucres issus de ces aliments sont d'abord extraits après préparation, puis les sucres complexes comme l'amidon sont simplifiés par hydrolyse enzymatique, et ils sont ensuite transformés en éthanol hydraté par fermentation^{11 et 13}, puis l'éthanol obtenu est distillé pour être séparé des autres composants, notamment de l'eau⁸. L'éthanol distillé est enfin mélangé à des carburants fossiles pour être vendu dans le commerce⁸. Les carburants usuels à base d'éthanol sont les suivants :

- le SP95-E5
- le SP95-E10
- l'E85
- et l'ED95

Le SP95-E5 est un carburant contenant principalement de l'essence fossile et 5 % d'éthanol⁸. Idem avec 10 % pour le SP95-E10⁸. L'E85 est un carburant à dominante éthanol qui en contient entre 65 et 85 %⁸. Enfin, l'ED95 est un carburant particulier contenant 95 % d'éthanol, mais destiné à des moteurs diesels, essentiellement ceux d'entreprises. Le SP95-E5 est utilisable pour n'importe quel moteur à essence¹¹, tandis que le SP95-E10 n'est pas compatible avec certains



véhicules mis en circulation avant l'an 2000¹¹. Enfin, les deux derniers nécessitent des moteurs spécifiques.¹¹

Sur le continent européen, l'éthanol est cependant rarement utilisé seul. En effet, il est bien souvent combiné à l'ETBE, ou Ethyl Tertio Butyl Ether¹⁰, à hauteur de 15 % maximum pour le SP95-E5, de 16 % maximum pour le SP98, et enfin de 22 % maximum pour le SP95-E10¹¹. L'ETBE est obtenu par réaction entre l'éthanol et de l'isobutène. Si l'ETBE a l'avantage d'être plus facilement incorporable à l'essence, ainsi qu'en plus grandes quantités¹⁰, et de poser moins de défis techniques¹¹, il a en revanche pour défaut de n'être que semi-renouvelable⁸. En effet, l'isobutène nécessaire à son obtention est pour l'instant un produit pétrolier¹⁰, donc dépendant de l'exploitation des énergies fossiles, même si des études sont en cours pour trouver des substituts renouvelables⁸.

De son côté, le biodiesel est essentiellement produit à partir d'huile. Il peut s'agir d'huile de colza, de tournesol, de soja, de coton, de palme⁹... mais aussi de graisses animales ou d'huiles usagées¹¹. Ces huiles sont cependant difficilement utilisables telles qu'elles, c'est pourquoi elles passent usuellement par une réaction chimique qu'on appelle la **transestérification**¹¹. Celle-ci consiste à faire réagir des graisses avec un alcool en présence de catalyseurs pour obtenir un **ester d'acide gras**^{11 et 28}. En cas d'utilisation de méthanol, on parle d'Ester Méthylique d'Acide Gras (EMAG)¹¹. En cas d'utilisation d'éthanol, on parle d'Ester Éthylique d'Acide Gras (EEAG)¹¹. Le méthanol est cependant préféré car moins contraignant¹¹. La transestérification aboutit aussi à la production de glycérine qui servira dans l'industrie des cosmétiques.²⁸

Actuellement, les EMAG sont couramment ajoutés au gazole commercial à hauteur de 7 %¹¹. On parle alors de B7¹¹. Il existe aussi des gazoles, nommés B10, B30 et B100, qui contiennent respectivement 10 %, 30 % et 100 % d'EMAG. Le B30 et le B100 sont cependant réservés à des véhicules spécifiques, souvent utilisés en entreprises.

Une autre façon de fabriquer du biodiesel de première génération est de traiter à l'hydrogène les graisses en raffinerie pour former des Huiles Végétales Hydro Traitées Gazole, ou HVHTG¹¹. Ce procédé, l'hydrogénation catalytique, consiste à faire réagir des graisses en présence d'hydrogène pour causer un hydrocraquage modifiant la structure de la molécule de graisse¹⁰, de façon à obtenir une molécule composée uniquement de carbone et d'hydrogène, donc une molécule entièrement combustible et largement miscible au gazole fossile car dotée d'une structure moléculaire identique.²⁸ Cela permet de produire des hydrocarbures incorporables en quantités importantes au gazole ou au kérosène.¹⁰ Mais ce procédé est plus cher¹¹ et les huiles ont tendance à se figer en dessous de 25°C²⁸, donc ce procédé reste moins utilisé¹¹.

On en a donc terminé avec la présentation des filières de première génération. Nous pouvons maintenant commencer à comparer ces biocarburants avec les carburants fossiles.

Premièrement, ils ont l'avantage d'être renouvelables, c'est-à-dire que leurs stocks sont renouvelables à échelle humaine, à l'inverse des énergies fossiles, dont le renouvellement est extrêmement lent¹². Cela veut dire qu'il nous est possible de régénérer leurs stocks après les avoir



consommés, alors que la consommation d'énergies fossiles tend nécessairement à épuiser leurs stocks¹².

Ensuite, ces carburants sont issus de plantes cultivées, ce qui est avantageux du point de vue du bilan carbone. En effet, là où le CO₂ des carburants fossiles est simplement rejeté dans l'atmosphère lors de leur combustion, le CO₂ émis par la combustion des biocarburants peut ensuite être absorbé par les cultures destinées à servir de matières premières pour la production suivante de biocarburants¹². Ces derniers sont ainsi considérés comme neutre en carbone¹².

En revanche, que le produit soit neutre en carbone n'implique nullement que sa fabrication et que son transport le soient aussi. En effet, les usines qui le fabriquent et les moyens de son transport utilisent encore largement des carburants fossiles, ce qui grève le bilan carbone des biocarburants¹². La combustion de l'E10 permettrait toutefois de réduire les émissions de CO₂ de 3 à 4 % par rapport à de l'essence pure¹³. Compte-tenu de la neutralité carbone de la matière finie, c'est-à-dire en excluant les émissions liées à la combustion, on obtient une réduction d'émission d'à peu près un quart à deux tiers selon la filière utilisée.²⁸ Il y aurait aussi réduction de la pollution par l'échappement au benzène et au butadiène, mais une hausse des composés organiques volatils précurseurs d'ozone. Le bilan carbone semble donc à première vue favorable.

Il faut ensuite que le bilan énergétique d'une filière soit **positif**, c'est-à-dire que la quantité d'énergie nécessaire à la production d'une quantité déterminée de combustible soit inférieure à la quantité d'énergie que peut fournir cette même quantité de combustible. Sinon, le bilan est **négatif** et la filière n'est alors pas viable sur la durée. Ce bilan est mesuré par le TRE, ou taux de retour énergétique. Un bilan positif correspond à un TRE supérieur à 1, un bilan négatif correspond à un TRE inférieur à 1. Au début de la production d'éthanol, le bilan était négatif, 0,7 au minimum¹⁸, mais le progrès technique dans sa production a permis de rendre son bilan positif à hauteur de 25 %, c'est-à-dire que chaque unité de bioéthanol peut fournir 25 % d'énergie en plus par rapport à la quantité d'énergie nécessaire pour produire chacune de ces unités de combustible, soit 1,25¹². Pour le biodiesel, ce taux est usuellement de 1,3¹⁷, et peut monter jusqu'à 93 %, soit 1,93¹².

Que le bilan énergétique soit positif, c'est une chose. Qu'il soit suffisant en est une autre. Or il faut savoir que nos sociétés développées fonctionnent en moyenne avec un TRE supérieur à 20.¹⁴ Il faut ensuite que ce taux soit supérieur à 10 pour que nos sociétés actuelles fonctionnent normalement, et enfin supérieur à une valeur comprise entre 5 et 7 pour que le minimum vital soit assuré. En effet, plus le TRE d'une société est élevé, plus la part de l'énergie consommée totale utilisée pour produire cette énergie est faible, plus elle peut donc être utilisée pour des besoins divers et variés. Plus une société dispose d'un TRE élevé, plus elle pourra réaliser des activités diversifiées, autre que la production d'énergie. Inversement, plus le TRE d'une société est bas, plus elle devra se centrer sur la production d'énergie au détriment du reste. Comme nos sociétés développées ont des activités très diversifiées, elles reposent donc sur un TRE élevé. Avec leurs taux à peine supérieurs à 1, les biocarburants de première génération sont donc largement incapables de subvenir aux besoins de la société actuelle.



Précisons que l'on parle ici de nos sociétés actuelles. D'autres formes de sociétés pourraient se satisfaire de TRE plus faibles, mais ce n'est pas l'objet de notre article.

Il faudrait cependant que l'on trouve des alternatives aux énergies fossiles car au fur et à mesure que leurs gisements s'épuisent, notamment les gisements les plus facilement exploitables, leurs TRE se réduisent aussi. Par exemple, les TRE du pétrole et du gaz étaient respectivement de 50 et 140 durant les années 1950¹⁵. Ils sont tombés à respectivement 9 et 25 aujourd'hui, puis pourraient respectivement atteindre 2 et 16 d'ici 2050¹⁵. La baisse de leur TRE imposera donc, avant même leur épuisement total, de se tourner vers d'autres sources d'énergies ainsi que de changer de modèle de société. On peut d'ailleurs noter qu'aux États-Unis, les TRE de l'huile de schiste et des sables bitumineux, donc des hydrocarbures non-conventionnels, sont respectivement de 5 et de 3.

De son côté, le nucléaire dispose d'un TRE compris entre 20 et 50¹⁵, 10 au minimum¹⁷, mais n'est pas directement applicable à l'automobile (il serait risqué d'utiliser une voiture avec un mini-réacteur nucléaire en guise de moteur)¹⁵. Son utilisation ne pourrait alors être qu'indirecte et passerait par des véhicules à batteries stockant de l'électricité depuis le réseau. Le charbon dispose de son côté d'un TRE supérieur à 80, mais se tourner vers lui serait écologiquement catastrophique¹⁵ et¹⁷. L'hydroélectrique aurait enfin un TRE d'environ 100¹⁷, mais imposerait les mêmes solutions technologiques pour l'automobile que le nucléaire.

De leurs côtés, le photovoltaïque et l'éolien ont un TRE de respectivement 8 et 11-18¹⁷ et¹⁸, donc acceptable de prime abord¹⁵. Mais il s'agit de sources d'énergies intermittentes et non pilotables, qui nécessitent donc du stockage et/ou une source d'énergie de secours¹⁴. En Allemagne, l'énergie de secours est issue du charbon, ce qui ne règle pas les questions écologiques. Ensuite, le stockage poserait beaucoup de problèmes. Par exemple, si la France passait à un mix énergétique de 50 % de nucléaire complété par de l'éolien et du photovoltaïque, ces deux derniers nécessiteraient 10 TWh de stockage, soit 20 fois la capacité mondiale des batteries pour un seul pays¹⁴ ! Ces solutions nécessitent donc de résoudre le problème du stockage concernant l'alimentation d'un réseau national à grande échelle, même si elles restent plus facilement utilisables pour de l'auto-consommation à petite échelle¹⁴.

Notons que le calcul du TRE est difficile à cause des difficultés à quantifier l'énergie consommée. Par exemple le calcul du TRE du photovoltaïque peut donner 8,3 (jusqu'à 11,4 pour les plus récents)¹⁴ ou 2,5 selon le degré d'exigence dans la prise en compte des dépenses énergétiques¹⁶.

Reste enfin un problème majeur : les biocarburants de première génération sont produits à partir d'aliments. En effet, si l'on utilise des surfaces cultivables pour produire du carburant, ces zones ne serviront pas à la production alimentaire.²⁸ Ils sont ainsi accusés d'entrer en concurrence directe avec l'alimentation humaine, et de favoriser la déforestation⁸. La concurrence alimentaire génère une hausse des prix des aliments et une relative raréfaction de ces derniers, tandis que



cultiver les plantes destinées à leur fabrication requiert beaucoup de terres agricoles, quitte à induire une pression à la déforestation¹².

A titre d'exemple, nous allons maintenant effectuer un calcul d'ordre de grandeur. Pour commencer, on sait que la France a consommé 2769 térawattheure (TWh) d'énergie primaire en 2021. A titre de rappel, 1 TWh vaut 1000 milliards de Wh. De son côté, 1 wattheure (Wh), correspond à 3600 Joules (J). A titre d'illustration, soulever 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur depuis le sol correspond à une énergie de 9,81 J ; donc 1 Wh correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour soulever 367 kg à 1 mètre de hauteur depuis le sol. On sait enfin qu'une tonne équivalent pétrole (tep) vaut 11,6 mégawattheure (MWh)²⁰. 1 MWh vaut 1 million de Wh.

Parmi ces 2769 TWh, 1,3 % provient des biocarburants, soit 36 TWh, et 27,7 % provient du pétrole, soit 767 TWh¹⁹. Or, on sait que la France utilise un peu moins de 6 % de sa surface agricole pour les biocarburants, ce qui donne 1,7 million d'hectares. Ces derniers ont permis de produire en 2009 1,25 milliard de litres d'éthanol et 2,7 milliards de litres de biodiesel¹⁰.

Nous allons maintenant calculer à quelle quantité d'énergie ces volumes correspondent. Vu que l'éthanol contient 26,7 MJ/kg pour une densité de 0,792¹³, et qu'un ester méthylique d'huile végétale contient 37,1 MJ/kg pour une densité de 0,89²¹, cela équivaut alors à 7,34 TWh d'éthanol et 24,76 TWh de biodiesel, donc 32,1 TWh au total. On observe ainsi que la production d'énergie de biocarburant en 2009 est proche de leur consommation en 2021.

Ces 32,1 TWh sont équivalents à 2,77 Mtep. Ce chiffre correspond à la production d'énergie de biocarburant théorique en 2009, mais il est probablement un peu surestimé. En effet, la production d'énergie de biocarburant en 2012 était de 1,8 Mtep⁹. Quoiqu'il en soit, cela signifierait que pour remplacer sa consommation de pétrole de 2021 par des biocarburants, la France devrait utiliser au moins 40,6 millions d'hectares de surface agricole, soit au moins 143 % de sa surface agricole totale, ce qui est impossible.

Et encore, il s'agit ici seulement de calculs d'ordre de grandeur. Pour certains, la situation est encore pire²³. En effet, produire rien que l'équivalent de la consommation de pétrole des transports de France en 2002, environ 50 Mtep, nécessiterait, compte-tenu des consommations intermédiaires, une surface légèrement supérieure à la totalité de la superficie du territoire français, ou bien à peu près 4 fois la superficie totale cultivée en France en 1997²³. Et même avec des rendements optimisés, il faudrait supprimer les forêts et prairies françaises pour les transformer en surfaces de culture, quitte à larguer massivement du carbone dans l'atmosphère, alors que les forêts et prairies le piègent²³. La seule utilisation envisageable serait que les biocarburants alimentent les véhicules agricoles afin que les agriculteurs soient moins soumis aux soubresauts du marché pétrolier²³, et puissent se servir de produits ou déchets issus de leur exploitation comme carburant.

Notons sur ce point que le bilan carbone précédemment évoqué ne prend pas en compte les éventuelles destructions de prairies et forêts pour utiliser les sols comme surface de cultures. Outre que cela risque d'avoir un large impact négatif sur la biodiversité, cela causerait aussi un énorme



relargage de carbone dans l'atmosphère qu'il faudrait alors prendre en compte dans les calculs. Par exemple, sachant que l'huile de colza nécessiterait 574 000 km² pour produire 50 Mtep, soit 2,088 exajoules, autrement dit 2,088 milliards de milliards de joules, cela reviendrait à produire 36 376 MJ par hectare²³. Si l'on suppose que l'on défriche des forêts pour créer des surfaces agricoles supplémentaires, on transformerait alors des surfaces stockant environ 160 tonnes de carbone par hectare à des surfaces stockant environ 85 tonnes de carbone par hectare, ce qui équivaut à un relargage dans l'atmosphère de 75 tonnes de carbone par hectare²⁹. Cela revient finalement à rejeter un peu plus de 2 kilos de carbone par mégajoule produit, donc plus de 7 kg de CO₂ par mégajoule, autrement dit près de **100 fois** l'impact carbone de la production d'énergie fossile ! Donc compte-tenu du changement de nature des sols, l'impact des « biocarburants » de première génération est potentiellement catastrophique.

De plus, le seuil de concurrence avec la production alimentaire pour l'usage des terres agricoles est estimé pour le continent européen à 7 % d'incorporation dans les carburants¹⁰. Le seuil de concurrence désigne le pourcentage d'utilisation des surfaces terrestres arables au-delà duquel une utilisation de surface accrue se réalise au détriment de la production alimentaire. Ensuite, en Europe et aux États-Unis, la substitution de 10 % des consommations d'essence et de gazole par des biocarburants de 1ère génération nécessiterait de consacrer 20 % à 25 % des terres arables à la production de carburants¹⁰. C'est pourquoi l'ONU considère qu'ils participent à la flambée des prix des denrées alimentaires sur le marché mondial¹⁰.

On ne peut donc en aucun cas remplacer notre consommation actuelle de pétrole par des biocarburants de première génération, et une hausse de l'usage de ces derniers provoquerait de toute manière de sérieux problèmes de concurrence alimentaire bien avant de se rapprocher de ce niveau. L'intensification des cultures, pour augmenter les rendements, favoriserait aussi la pollution des alentours¹⁰.

La deuxième génération

Pour remédier aux défauts de la première génération, la recherche s'est tournée vers une seconde génération de biocarburant. Ces derniers étant issus de déchets de biomasse divers, ils n'engendreraient donc pas de concurrence alimentaire et ne nécessiteraient pas de surfaces agricoles dédiées, ni de production à part entière. La seconde génération est pour l'instant essentiellement en cours de développement¹⁰. Sur le papier, cela promet un moindre impact environnemental et un meilleur TRE. A titre d'exemple, on peut mentionner une production se situant à cheval entre la première et la deuxième génération : l'éthanol produit au Brésil à partir de résidus de cannes à sucre qui atteint un TRE compris entre 7 et 8, ce qui est déjà largement mieux que les TRE à peine supérieurs à 1 de la première génération¹⁸. Le TRE est bien plus élevé dans son cas car il y a réutilisation de sous-produits d'une culture principale¹⁸. Il est à la fois issu d'une production alimentaire, mais utilise les sous-produits de cette production. C'est en cela qu'il se situe entre la première et la seconde génération. Nous allons maintenant décrire la fabrication de cette dernière.



Cette fois, on ne cherche plus à produire du carburants à partir de sucre ou d'huile, mais à partir de la cellulose du bois, de feuilles, de tiges ou de déchets, donc de composants non comestibles⁹. Outre qu'il n'y a pas de concurrence alimentaire, les matières premières sont aussi nettement plus faciles à produire et à trouver⁹. On peut par exemple réutiliser des résidus agricoles, forestiers ou industriels, ou encore s'approvisionner via des taillis à croissance rapide¹⁰. Avec, on peut produire du bioéthanol, du biodiesel mais aussi du biokérosène et du biogaz^{9 et 10}.

Le bioéthanol de seconde génération est produit par voie **biochimique**. Il s'agit d'un procédé de transformation de la biomasse en sucre via des enzymes, puis transformation du sucre en éthanol par fermentation classique⁹. Plus précisément, on part d'une ressource végétale dite « lignocellulosique »¹⁰. Celle-ci est nommée ainsi parce qu'elle contient de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine¹⁰. Des 3, seule la cellulose est facilement transformable en éthanol¹⁰. Il faut donc d'abord un traitement physico-chimique pour séparer la cellulose des autres composants¹⁰. Ensuite, la cellulose est transformée en glucose par hydrolyse enzymatique¹⁰. Ces enzymes sont produites à partir de micro-organismes, comme par exemple des champignons microscopiques, et découpent la cellulose en glucose¹⁰. Ce glucose est ensuite transformé en éthanol par fermentation sous l'action de levures, comme pour la première génération et l'alcool à boire¹⁰. Enfin, l'éthanol est purifié par distillation, notamment pour le séparer de l'eau¹⁰.

De son côté, le biodiesel de seconde génération est produit par voie thermochimique. Celle-ci consiste en une transformation de la biomasse en gaz façon gazogène, puis une transformation desdits gaz en carburant⁹. Plus précisément, la biomasse brute doit d'abord être conditionnée, c'est-à-dire broyée, séchée et torréfiée^{10 et 11}. Le broyage permet l'homogénéisation de la matière, le séchage permet de retirer l'excès d'eau qui nuirait sinon à la réaction thermique, et la torréfaction permet d'isoler les chaînes carbonées des autres composants internes¹⁰. La biomasse torréfiée est ensuite mélangée à un comburant gazeux, au choix l'air ou le dioxygène pur¹⁰. Avoir recours au dioxygène pur permet d'éviter la formation de gaz parasites azotés, par exemple les NOx, mais nécessite un séparateur d'air en amont du mélange¹⁰. Le mélange rentre ensuite dans un foyer où il subit une pyrolyse à des conditions de pression et température de l'ordre de 1000°C et 4 bars⁹. La pyrolyse prend la forme d'une réaction entre le dioxygène et la chaîne carbonée pour former du monoxyde de carbone¹⁰. Dans le même temps, la chaîne carbonée réagit avec la vapeur d'eau pour former du monoxyde de carbone (CO) et du dihydrogène (H₂)^{9 et 10}. Les gaz de synthèses doivent ensuite subir plusieurs traitements. Premièrement, le ratio CO/H₂ est ajusté selon le carburant à produire⁹. Ensuite, ils sont filtrés en plusieurs étapes afin de supprimer les composés parasites comme le dioxyde de carbone, les métaux et le soufre⁹. Les gaz sont alors enfin mûrs pour la synthèse Fischer-Tropsch, qui consiste en une réaction entre les deux gaz de synthèse à l'aide de catalyseurs pour former des hydrocarbures²². Les catalyseurs actuels sont à base de fer, et opèrent entre 220 et 330°C, ainsi qu'entre 1 et 10 bars²². On peut finalement produire de cette manière du biogazole ou du biokérosène¹⁰.



Ces deux procédés sont encore en développement et rencontrent encore certains obstacles, si bien que l'industrialisation de masse n'est pas pour tout de suite¹⁰. Dans le cas du bioéthanol de seconde génération, sa production est gourmande en enzyme¹⁰. Il y a aussi des recherches pour utiliser la lignine comme source d'énergie pour les différentes étapes du procédé et pour utiliser les hémicelluloses pour la production d'enzymes¹⁰. Ou encore pour utiliser les hémicelluloses afin de produire des sucres supplémentaires¹¹. Dans le cas du biodiesel de seconde génération, il faut adapter sa production à une large diversité de biomasses, et réduire la consommation d'énergie du procédé, qui est pour l'heure importante¹⁰. A titre indicatif, le pétrole d'Afrique du Sud, fabriqué à partir de charbon via un procédé semblable, dispose d'un TRE compris entre 3 et 4¹⁸, contre 80 pour le charbon. Ce TRE est supérieur à 1, est meilleur que ceux des biocarburants de première génération, mais reste cependant médiocre et met en évidence la consommation d'énergie supplémentaire que ce procédé nécessite par rapport à la simple extraction du charbon. Le bilan carbone des procédés de seconde génération est cependant très positif, avec 80 % à 90 % de diminution par rapport aux carburants fossiles²⁸, sachant qu'il y a dans leur cas beaucoup moins de problèmes de réaffectation des sols.

La troisième génération

Il y aurait enfin en cours d'expérimentation une troisième génération de biocarburants, cette fois censés être produits à partir de micro-algues. Le but est de produire du biodiesel ou du biokérosène à partir d'algues lipidiques, c'est-à-dire contenant de l'huile.¹⁰ Cette solution présente plusieurs intérêts. Premièrement, la teneur en huile de certaines micro-algues peut atteindre 80 % de la matière sèche¹⁰. Deuxièmement, elles pourraient permettre de recycler de grandes quantités de CO₂ parce qu'elles en ont grandement besoin pour leur croissance¹⁰. Ensuite, leur productivité à l'hectare serait largement supérieure : entre 20 et 80 tonnes d'huile par hectare contre deux à peine pour le colza ou le tournesol¹⁰. Enfin, elles se développent beaucoup plus rapidement que les plantes terrestres sur des surfaces qui entrent pas ou peu en compétition avec les surfaces agricoles.

La production passerait par quatre étapes :

- premièrement, la sélection des micro-algues selon leur richesse en huile¹⁰
- ensuite leur culture, dans des bassins en plein air ou en tube¹⁰
- puis leur récolte et l'extraction de l'huile¹⁰
- enfin la conversion de l'huile en biocarburant¹⁰

La conversion peut passer par la même méthode que pour les biodiesels de première génération, à savoir la transestérification ou l'hydrogénation catalytique.

Il y a actuellement des recherches pour sélectionner des algues plus robustes, plus performantes, plus riches en lipides, ainsi que sur les procédés de culture, de séparation eau/biomasse, d'extraction de l'huile et sur la valorisation des coproduits.¹⁰ Notons qu'il y a aussi



des réflexions sur l'usage d'algues elles-mêmes comme biocarburant ou sur l'hydrolyse enzymatique des polysaccharides (sorte de sucre) qu'elles contiennent afin d'en faire de l'éthanol.²⁷

Malheureusement, de récentes études (2023) démontrent que, dans les conditions actuelles, le cycle carbone du biocarburants de micro-algues en production industrielle émettrait davantage de dioxyde de carbone que le pétrole fossile, entre autres parce que son TRE est négatif.²⁴ Par exemple le cycle de production sur 100 ans d'un mégajoule de diesel de pétrole émettrait 88,4 g d'équivalent CO₂, là où 1 MJ de biodiesel de micro-algues émettrait 148 g d'équivalent CO₂ si l'usine fonctionne à l'électricité d'origine solaire, sinon 238 à 256 g.²⁵ Il faudrait aussi 0,99 MJ d'énergie pour produire 1 MJ de biodiesel de micro-algue, soit un TRE tout juste positif, voire 1,03 si l'on considère la chaîne entière.²⁵ Le bilan de cette filière est aussi plombé par le coût environnemental de la construction des infrastructures nécessaires à la croissance et le traitement des algues, ainsi que de l'énergie nécessaire à leur fonctionnement.²⁴ Actuellement, la production de biodiesel de micro-algue est donc incapable de concurrencer l'extraction de pétrole tant sur le plan de la productivité que de la consommation d'énergie et de l'émission de gaz à effet de serre.

Ces résultats restent cependant encourageants dans la mesure où en 2011, le TRE estimé était de 0,14, et qu'on estimait pouvoir atteindre au mieux 0,5.²⁶ Il faut aussi savoir que le TRE du diesel de pétrole aux États-Unis est de 1,65 en 2011, c'est-à-dire que la production de biocarburant d'algue se rapproche en terme d'efficacité des extractions peu performantes de pétrole.²⁶

Reste encore cependant le problème de l'usage et de la pollution des eaux. En effet, non seulement la culture de ces micro-algues nécessite beaucoup d'eau, mais il y a aussi des risques de rejets d'algues et de nutriments dans l'environnement. Sachant que les variétés robustes et prolifiques sont préférés pour ces cultures, ces dernières ont toutes les chances, une fois rejetées dans la nature, de devenir des espèces invasives. On pourrait certes réfléchir à des variétés qui ne pourraient proliférer que dans des conditions bien contrôlées et exclusives aux installations à biocarburants, mais cela reste encore à inventer.

Conclusion

En conclusion, les biocarburants dans l'automobile sont une source d'énergie en expansion, mais aux effets variés. Si la première génération, pionnière car éprouvée, atteint ses limites en termes de concurrence alimentaire, d'efficacité énergétique, de bilan carbone et d'usage des sols, la seconde génération semble nettement plus prometteuse sur tous ces aspects. Enfin, la troisième génération est pour l'heure encore en développement, et les résultats des dernières expériences tendent à suggérer qu'elle n'est pas prête à entrer en application industrielle.

D'un point de vue pratique concernant l'avenir de la production d'énergie en France, les défauts flagrants de la première génération, la limitation de la deuxième aux déchets végétaux et le manque de mise au point de la troisième génération rendent presque impossible le remplacement total de notre consommation de pétrole par des biocarburants à quantité d'énergie utile équivalente.



Il faudra donc s'orienter vers d'autres sources d'énergie ou bien se résoudre à simplement réduire notre consommation d'énergie.

Références

- 1 : <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/le-developpement-durable/l-epuisement-des-ressources>
- 2 : <https://www.vie-publique.fr/eclairage/271741-lavenir-du-petrole-entre-imperatif-economique-et-urgence-ecologique>
- 3 : https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/12/12/quand-commencera-t-on-a-manquer-de-petrole_5396620_1652612.html
- 4 : <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone-ressources/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-du-secteur-des-transports>
- 5 : <https://www.senat.fr/rap/r01-113/r01-1132.html>
- 6 : <https://www.cnrs.fr/fr/des-emissions-massives-de-methane-par-lindustrie-petroliere-et-gaziere-detectees-depuis-lespace>
- 7 : https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/petrole-et-gaz/le-palmares-des-pays-ou-l-extraction-du-petrole-produit-le-plus-de-gaz-a-effet-de-serre_127129
- 8 : <https://oleo100.com/actualites/article/biocarburant-quest-ce-que-cest/>
- 9 : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biocarburant>
- 10 : https://www.uarga.org/energie/renouvel_biocarburants.php
- 11 : <https://www.ecologie.gouv.fr/biocarburants>
- 12 : <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-expliquees/les-avantages-et-les-inconvenients-des-biocarburants>
- 13 : <https://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/EVC029.pdf>
- 14 : <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/chronique-retour-energetique-39038/>
- 15 : <https://reporterre.net/Les-lois-de-la-physique-rendent-la-sobriete-inevitable>
- 16 : <https://www.save4planet.com/ecologie/204/tre-taux-retour-energetique-eroi>
- 17 : <http://energie-developpement.blogspot.com/2012/10/EROEI-taux-retour-energetique.html>
- 18 : <https://comitemeac.com/dossiers-2/dossiers/capsules-energetiques-introduction/quest-ce-que-le-taux-de-retour-energetique-eroi/>



19 : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2022/7-bilan-energetique-de-la-france>

20 : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1355>

21 : <https://de.wikipedia.org/wiki/Rapsmethylester>

22 : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/procede-fischer-tropsch/>

23 : <https://jancovici.com/transition-energetique/renouvelables/que-pouvons-nous-esperer-des-biocarburants/>

24 : <https://hakaimagazine.com/news/biofuel-made-from-algae-isnt-the-holy-grail-we-expected/>

25 : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-023-02140-6>

26 : <https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fenvironment%2Fintegration%2Fresearch%2Fnewsalert%2Fpdf%2F262na5.pdf%2Findex.html#federation=archive.wikiwix.com&tab=url>

27 : <https://www.edf.fr/entreprises/le-mag/le-mag-entreprises/conseils-energie-competitivite/biocarburants-sont-ils-toujours-dans-la-course-de-la-mobilite-propre>

28 : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01440886/document>

29 : <https://jancovici.com/changement-climatique/gaz-a-effet-de-serre-et-cycle-du-carbone/ne-suffit-il-pas-de-planter-des-arbres-pour-compenser-les-emissions/>

30 : <https://www.lefigaro.fr/conjoncture/production-record-de-petrole-aux-etats-unis-20240118>