

Biocarburants : quel potentiel de développement ?

Les limites des filières actuelles de production de biocarburants de première génération sont réelles. Afin de pallier ces limites, les efforts se concentrent sur le développement de procédés permettant la conversion en carburant de ressources végétales peu valorisées. Ces travaux de recherche portent aussi bien sur la ressource que sur les technologies et procédés de transformation en carburant.

par Nathalie ALAZARD-TOUX*

Encensée au début des années 2000, puis, plus récemment, dénoncée, la production mondiale de biocarburants a connu une croissance annuelle très importante, de l'ordre de 20 à 30 %.

Pour les trois quarts, cette production prend la forme d'éthanol, produit essentiellement aux États-Unis et au Brésil (zone historique de production et de consommation, depuis le plan Proalcool lancé dans les années 1970 par le gouvernement brésilien). En 2008, ces deux pays ont représenté 90 % de la production et 80 % de la consommation mondiales d'éthanol.

Le biodiesel, dont la part relative dans la production mondiale de biocarburants est passée de 10 % au début de la décennie à près du quart en 2008, reste globalement une spécificité européenne : en 2008, 60 % du biodiesel mondial ont été produits en Europe et 80 % ont été consommés dans cette même région.

L'accroissement de la production de biocarburants au cours de la première décennie de ce siècle découle essentiellement de la volonté des gouvernements de diminuer la dépendance du transport routier vis-à-vis du pétrole et ce, dans un contexte d'interrogation quant au potentiel de renouvellement des réserves, ainsi, à partir de 2003, qu'au sujet de l'augmentation continue du prix du baril de pétrole. En 2002, les carburants issus du pétrole constituaient 98 % de l'énergie utilisée par le transport routier, maritime et aérien, et la demande de mobilité ne cessait de s'accroître partout sur la planète. En outre, les filières biocarburants étaient mises en avant pour leur bilan « gaz à effet de serre » plus intéressant que celui des carburants traditionnels (nous reviendrons sur ce point ultérieurement).

L'Europe, les États-Unis, bien sûr, mais aussi beaucoup d'autres pays, se fixent des objectifs en matière d'accroissement de la part des biocarburants dans leur mix global de carburants, instaurant même, pour certains d'entre eux, des taux d'incorporation obligatoires. Ainsi, l'Union européenne s'est fixée, en 2003, un objectif de 5,75 % de biocarburant à l'horizon 2010 et, plus récemment, un taux minimal de 10 % d'énergie renouvelable pour les transports en 2020. Les États-Unis se sont également donné une cible à

atteindre d'ici à 2022, via leur *Energy Independence and Security Act*, qu'ils ont adopté en 2007.

Les limites des filières actuelles

La première génération de biocarburants (voir la figure 1) désigne ceux qui sont produits actuellement à partir de ressources agricoles alimentaires : l'éthanol (obtenu à partir de plantes sucrières, comme la canne à sucre ou les betteraves sucrières, ou de plantes amylicées, telles que le blé et le maïs) et les Esters Méthyliques d'Huile Végétale (EMHV) produits à partir d'huiles de colza, de tournesol, de soja, ou même de palme.

Le développement rapide et sur une grande échelle de ces substituts aux carburants pétroliers, issus de la transformation d'une matière première agricole, ne va pas sans poser un certain nombre de problèmes, comme l'ont montré les débats récents.

L'entrée en compétition des agro-carburants avec l'agro-alimentaire

Ce développement des agro-carburants se heurte, tout d'abord, au problème de leur entrée en compétition avec les cultures à vocation alimentaire dans l'utilisation des terres agricoles. Si l'on fait l'hypothèse que la production agricole européenne consommée sur zone et la consommation en carburants routiers restent inchangées, on évalue aujourd'hui au maximum à 7 % la part que les biocarburants de première génération européens pourraient représenter dans l'approvisionnement global de l'Europe en carburants routiers. Au-delà de cette proportion, la production de biocarburants entrerait en compétition avec l'utilisation agro-alimentaire des terres arables nécessaire à l'Europe.

Plus globalement, un rapport récent du Programme des Nations Unies pour l'Environnement [1] estime qu'avec les filières biocarburants actuelles et en prenant en compte la croissance de la population mondiale, ce sont de 8 à 34 % des terres cultivables de la planète qui seraient nécessaires

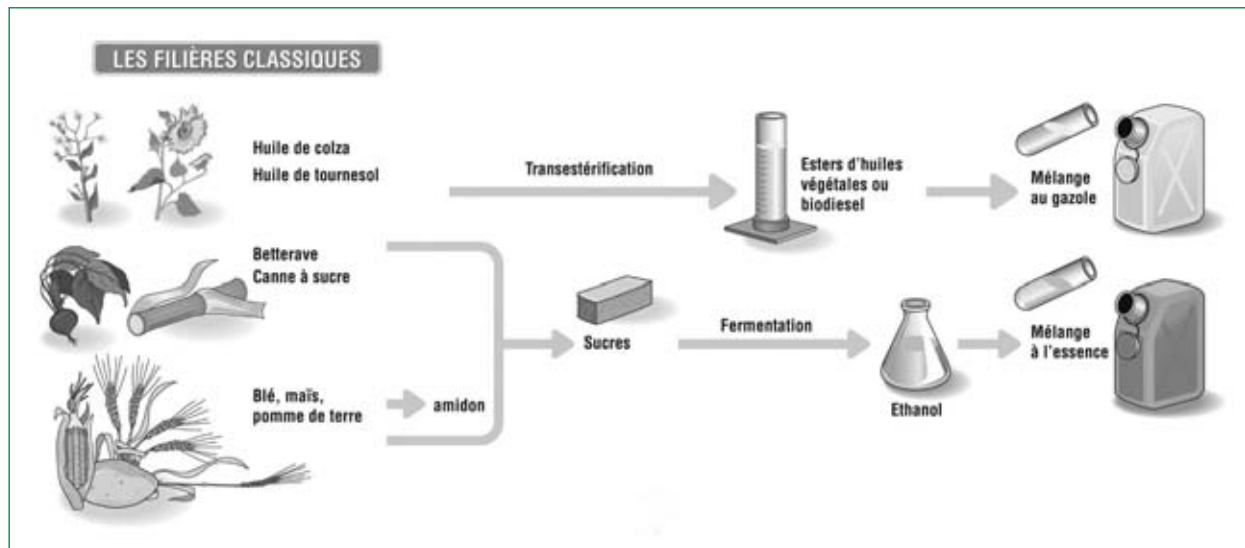


Figure 1 : Les filières de première génération de production de biocarburants.

pour couvrir 10 % de la demande mondiale en carburants à l'horizon 2030.

Le développement des biocarburants de première génération est également accusé de peser sur les prix des matières premières agricoles utilisées à cette fin, qui sont susceptibles d'être associés aux cours du pétrole. Une telle corrélation a d'ailleurs été observée entre les cotations du pétrole et celles du maïs aux Etats-Unis, sur la période 2003-2008 [2]. Il s'agit là d'un phénomène n'ayant rien pour nous surprendre, dès lors qu'en 2007 c'est plus de 30 % de la récolte américaine de maïs qui ont alimenté la filière éthanol nationale.

Faut-il cependant attribuer à la seule expansion des carburants d'origine végétale l'augmentation des prix de nombreuses matières premières agricoles sur la période 2003-2008 ? Cela paraît excessif. D'autres causes ont fortement contribué à l'accroissement des cours : le nombre plus important d'événements climatiques extrêmes (sécheresses ou fortes pluies) dans des zones de production n'a pas été sans conséquence ; l'accroissement des importations de pays émergents a également joué un rôle. Plus généralement, la période a été marquée par une forte augmentation des prix de l'ensemble des matières premières.

Les interrogations sur les bilans gaz à effet de serre

Ces dernières années, les bilans gaz à effet de serre (GES) des filières biocarburants de première génération ont aussi fait l'objet de nombreux débats, alimentés par les résultats (parfois très différents) des multiples études publiées sur le sujet. Toutefois, du point de vue qualitatif, les conclusions de ces études vont toutes dans le même sens : elles s'accordent à dire que l'usage des biocarburants permet de réduire de manière significative les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux carburants pétroliers, dès lors qu'aucun changement n'intervient dans l'utilisation des sols : c'est là une précision importante (sur laquelle nous reviendrons).

Les écarts observés entre ces études [3] sont principalement dus à la méthodologie de calcul retenue et aux données sélectionnées pour établir les bilans (quantités d'engrais utilisées, rendements des cultures agricoles et des procédés de conversion, etc.).

Sur le plan méthodologique, une hypothèse particulièrement déterminante est celle relative au mode de prise en compte des coproduits. En effet, la production de biocarburants s'accompagne d'une quantité importante de coproduits de natures diverses : en moyenne, deux tonnes de coproduits par tonne de biocarburant. A titre d'exemple, la production de biodiesel à partir d'huile végétale de colza entraîne celle de pailles, de tourteaux et de glycérine, qui ont eux-mêmes des débouchés industriels. Certaines études ignorent ces coproduits et affectent l'intégralité des émissions de GES et des consommations d'énergie au seul biocarburant, mais la grande majorité des travaux les comptabilise. Quand ces coproduits des agro-carburants sont pris en compte, il convient de faire un choix quant au mode de répartition des émissions de gaz à effet de serre entre les différents produits. Une méthode possible, pour ce faire, consiste à affecter les impacts GES étudiés aux différents produits, par exemple au prorata de leur masse, de leur contenu énergétique ou encore de leur valeur économique. Une seconde méthode, dite « des impacts évités », consiste à affecter (dans un premier temps) l'intégralité des impacts GES au seul biocarburant, puis à retrancher de cette valeur, un « crédit » correspondant aux impacts qu'aurait générés la production de la même quantité de coproduits par la voie classique. A titre d'exemple, si l'on considère que la glycérine coproduite lors de la synthèse d'EMHV se substitue à une glycérine produite par l'industrie chimique, on utilisera le bilan de cette filière pour calculer le crédit de GES à allouer au biodiesel. A l'heure actuelle, si la question de l'affectation des impacts fait toujours l'objet de débats, il est clair que le choix d'une méthode est intimement lié aux objectifs que l'on s'est fixés, ainsi qu'au contexte dans lequel le calcul est fait.

Au-delà de ces questions de méthodologie, les problèmes de changement d'affectation des sols peuvent également fortement peser sur les bilans. Un développement des biocarburants se faisant (directement ou indirectement) au détriment de terres occupées par des forêts ou des prairies, qui sont de véritables systèmes de stockage de carbone, peut entraîner d'importants rejets de CO₂ dans l'atmosphère (non sans entraîner une destruction éminemment problématique de zones présentant une riche biodiversité).

Globalement, ces dernières années, les débats ont souligné à quel point il est important de promouvoir le développement des filières de production de biocarburants les plus intéressantes du point de vue environnemental ; peu à peu, les objectifs nationaux retenus par les différents pays ont intégré cette dimension.

Dans sa directive d'avril 2009 sur la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de ressources renouvelables (intégrée au paquet Énergie-Climat), l'Union européenne se fixe, pour la consommation d'énergie par les transports, un objectif de 10 % en 2020, non plus de biocarburants, mais – le vocabulaire est ici très important – en énergies renouvelables au sens large (c'est-à-dire en biocarburants, en électricité et en hydrogène obtenus de manière renouvelable). Cette directive introduit, en outre, des critères de durabilité pour les biocarburants. Le respect de ces critères, qui concernent tous les volumes consommés en Europe (qu'ils aient été produits dans la zone ou importés), conditionne la prise en compte de chaque filière et la comptabilisation des quantités produites dans les objectifs nationaux. Parmi ces critères figure un seuil minimum de réduction des émissions de GES « du puits à la roue » par rapport aux carburants fossiles. Ce gain doit être d'au moins 35 % pour toute nouvelle installation à partir de 2013, puis de 50 % pour toute installation existante, en 2017 et, enfin, après 2017, de 60 % pour toute nouvelle installation.

Afin de mesurer ce gain, une méthodologie de calcul a été définie et des valeurs de référence des bilans GES représentatives des pratiques de chaque filière de production ont été établies. La méthodologie retenue par la directive est celle d'une répartition des impacts entre produits et coproduits, au prorata de leur contenu énergétique.

A l'examen des valeurs de référence imparties par la directive aux différentes filières de première génération (voir la figure 2), on constate que les filières les plus représentatives des pratiques européennes actuelles respectent le seuil des 35 %, mais qu'elles pourraient avoir plus de difficultés à franchir les seuils des 50 et 60 %. Les filières de production d'EMHV à partir d'huiles importées (de soja et de palme) sont moins bien positionnées que les autres, à cet égard.

Une variable d'ajustement permettant d'équilibrer l'offre et la demande de carburants

Si les deux dernières années ont été marquées par une vision plus critique des biocarburants, notamment avec les débats portant sur l'impact de leur développement sur les

prix des matières premières agricoles ou sur les gains réels en termes de GES, les biocarburants resteront, à long terme, une composante significative de l'adéquation de l'offre à la demande d'énergie du secteur des transports. Dans son dernier scénario de référence, l'AIE [4] fait état d'une production mondiale de 133 Mtep de biocarburants, représentant quatre fois la production de 2008 (en équivalent énergétique) à l'horizon 2030. Si leur croissance a connu un très fort ralentissement en 2009, en raison de la crise économique mondiale, les biocarburants sont encore considérés comme une source incontournable d'énergie pour le secteur transport dans les années à venir.

Dans le scénario de l'AIE limitant à 450 ppm la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, la production de biocarburants devrait être en 2030 huit fois supérieure à celle relevée en 2008 ; elle devrait être assurée par les filières de deuxième génération (qui permettent la production d'éthanol ou de gazole de synthèse à partir de biomasse lignocellulosique – bois, paille, déchets forestiers et agricoles etc.) à hauteur de 60 % (dans le scénario de référence de l'AIE, le développement des filières de deuxième génération semble également incontournable).

Les filières de deuxième génération

Les limites des filières actuelles de production de biocarburants de première génération sont réelles. Afin de pallier ces limites, les efforts se concentrent sur le développement de procédés permettant la conversion en carburant de ressources végétales peu valorisées. La transformation de la lignocellulose des plantes élargit le spectre des espèces valorisables en carburants à des végétaux non alimentaires pouvant, en outre, offrir des rendements à l'hectare nettement plus importants.

Par l'expression « filière de deuxième génération », l'on distingue (voir la figure 3) deux modes de conversion [5].

Le premier de ces deux modes, appelé « conversion biochimique », produit de l'éthanol par la fermentation des sucres contenus dans la lignocellulose.

Le deuxième mode, appelé « conversion thermochimique », englobe deux technologies :

- ✓ la « conversion thermochimique voie indirecte » consiste à gazéifier la biomasse et à obtenir ensuite, par synthèse « Fischer-Tropsch », du gazole de synthèse d'excellente qualité (pouvant être utilisé directement dans les moteurs diesel), du kérosène (pour l'aviation) et du naphta (pouvant être utilisé comme matière première par la pétrochimie ou, éventuellement, pouvant servir à produire de l'essence) ;
- ✓ la « conversion thermochimique voie directe » consiste en une liquéfaction hydrothermale de la biomasse permettant l'obtention d'un « bio brut », dont peut être extraite une fraction légère transformable en gazole.

Leur intérêt sur le plan de la ressource

Ces filières présentent un réel intérêt pour accroître le potentiel de production mondiale de biocarburants, même

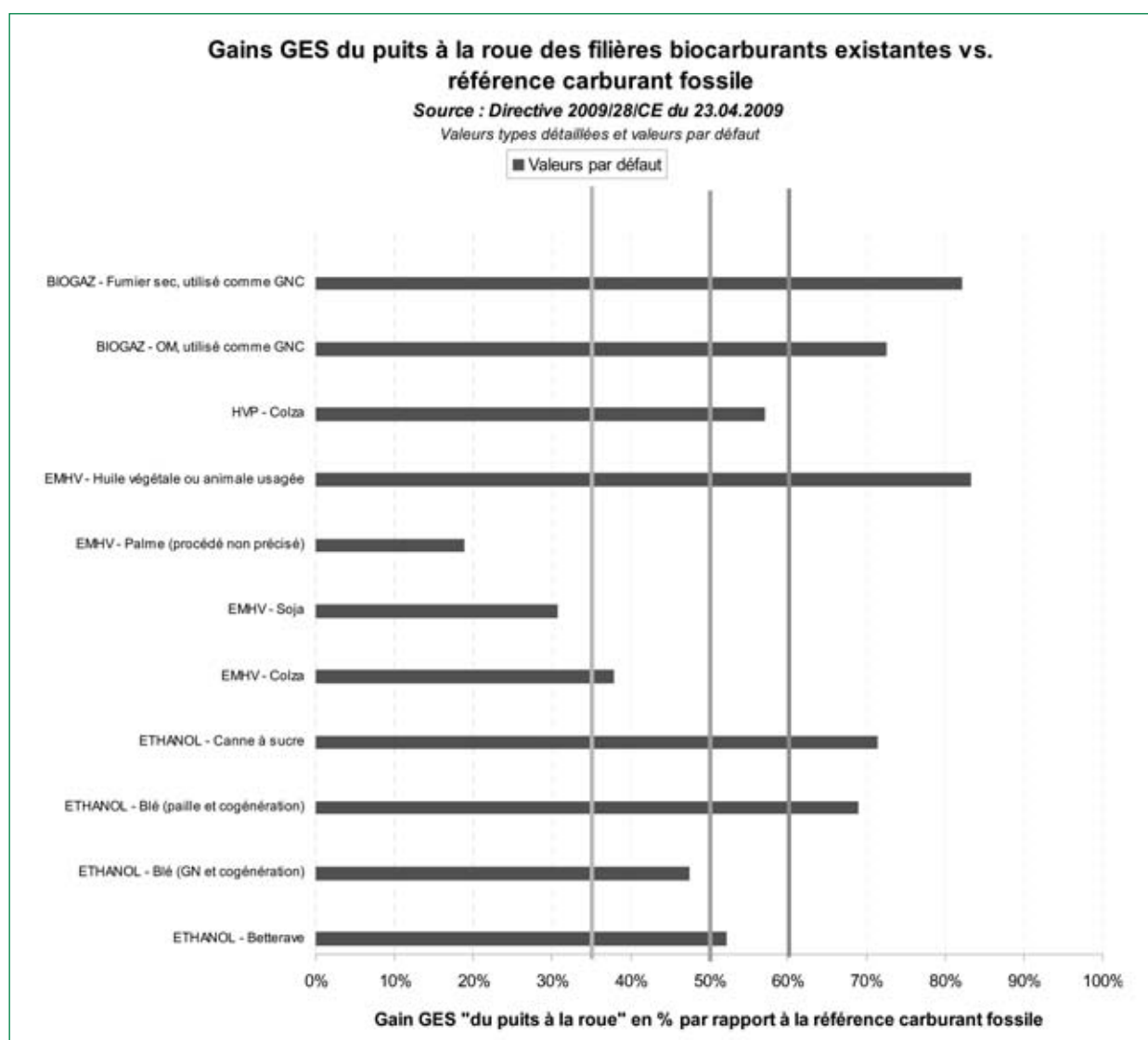


Figure 2 : Gains GES du « puits à la roue » des filières biocarburants existantes par rapport à celles d'un carburant fossile dit de référence.

s'il est difficile d'évaluer avec précision les volumes de biomasse mobilisables à terme.

Basés sur le recensement de données publiées dans différentes études régionales, des travaux récents ont conduit à une première estimation du potentiel mondial. Deux types de ressources ont été distingués : des ressources de type « sous-produits » (résidus d'exploitations forestières et de l'industrie du bois, de récoltes agricoles, etc.) et des ressources de type « biomasse dédiée » (cultures dédiées sur des surfaces non forestières, non exploitées aujourd'hui). Les résultats indiquent un potentiel annuel global de matière sèche de l'ordre de 3 800 à 4 500 Mt [6], avec des fourchettes plus ou moins larges selon les régions. Si toute cette biomasse était collectée et transformée en biocarburants, à l'horizon de 20 à 30 ans, 20 % des carburants traditionnels pourraient être remplacés par des biocarburants de 2^e génération.

Il s'agit là d'une valeur haute, car une partie de cette biomasse sera très vraisemblablement utilisée pour d'autres usages, notamment énergétiques.

Leur intérêt en termes d'émissions de gaz à effet de serre

Les filières de 2^e génération présentent des gains potentiellement plus importants en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Développées de manière raisonnée, elles satisfont les seuils de 50 % et 60 % de réduction de GES fixés par l'Union européenne à l'horizon 2017 et au-delà (voir la figure 4).

Il faut toutefois souligner que la durabilité de ces filières dépendra fortement du mode d'exploitation de la biomasse. Le problème du changement d'affectation des sols pourrait également se poser, pour les filières de 2^e génération.

Un impact potentiellement moindre sur les ressources en eau

D'une manière générale, la valorisation de biomasse lignocellulosique de type résidus (forestiers ou agricoles)

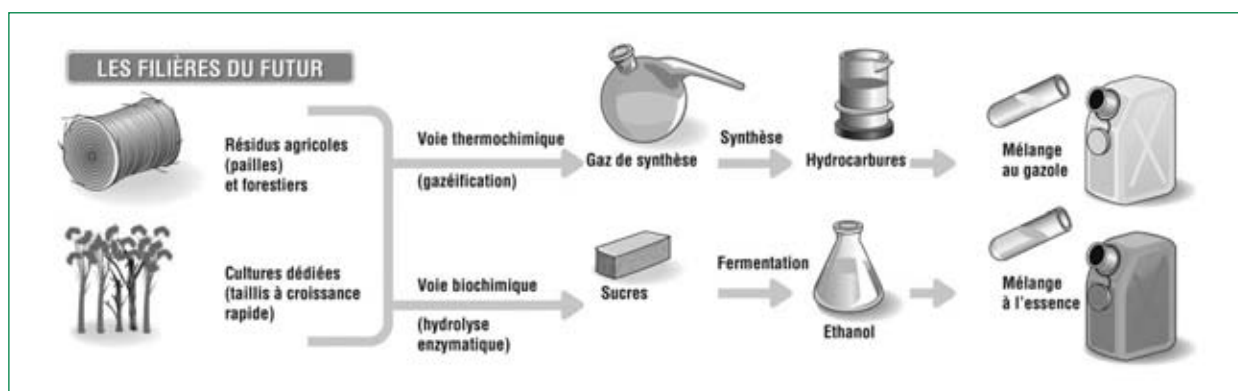


Figure 3 : Les filières de deuxième génération.

permet une réduction significative de l'empreinte environnementale tant en termes d'émissions de GES dans l'atmosphère que d'impacts locaux (notamment sur la ressource en eau). La production par transformation de cultures lignocellulosiques dédiées peut également avoir un impact moindre sur la ressource hydrique.

Une étude [7] menée par l'IFP et l'Université de Bordeaux, en partenariat avec l'IDDRI et les Agences de l'eau Seine-Normandie et Adour-Garonne, ainsi que par les

sociétés Veolia et Total, a été réalisée récemment afin d'évaluer l'impact de différents scénarios de développement des biocarburants sur la ressource en eau de deux bassins hydrographiques : le bassin de Seine-Normandie et celui de l'Adour-Garonne.

L'un des principaux résultats est que le développement, pour la France, d'un scénario 2030 prévoyant 14 Mtep de biocarburants *via* des filières de 2^e génération peut être envisagé sans réel impact (par comparaison à aujourd'hui)

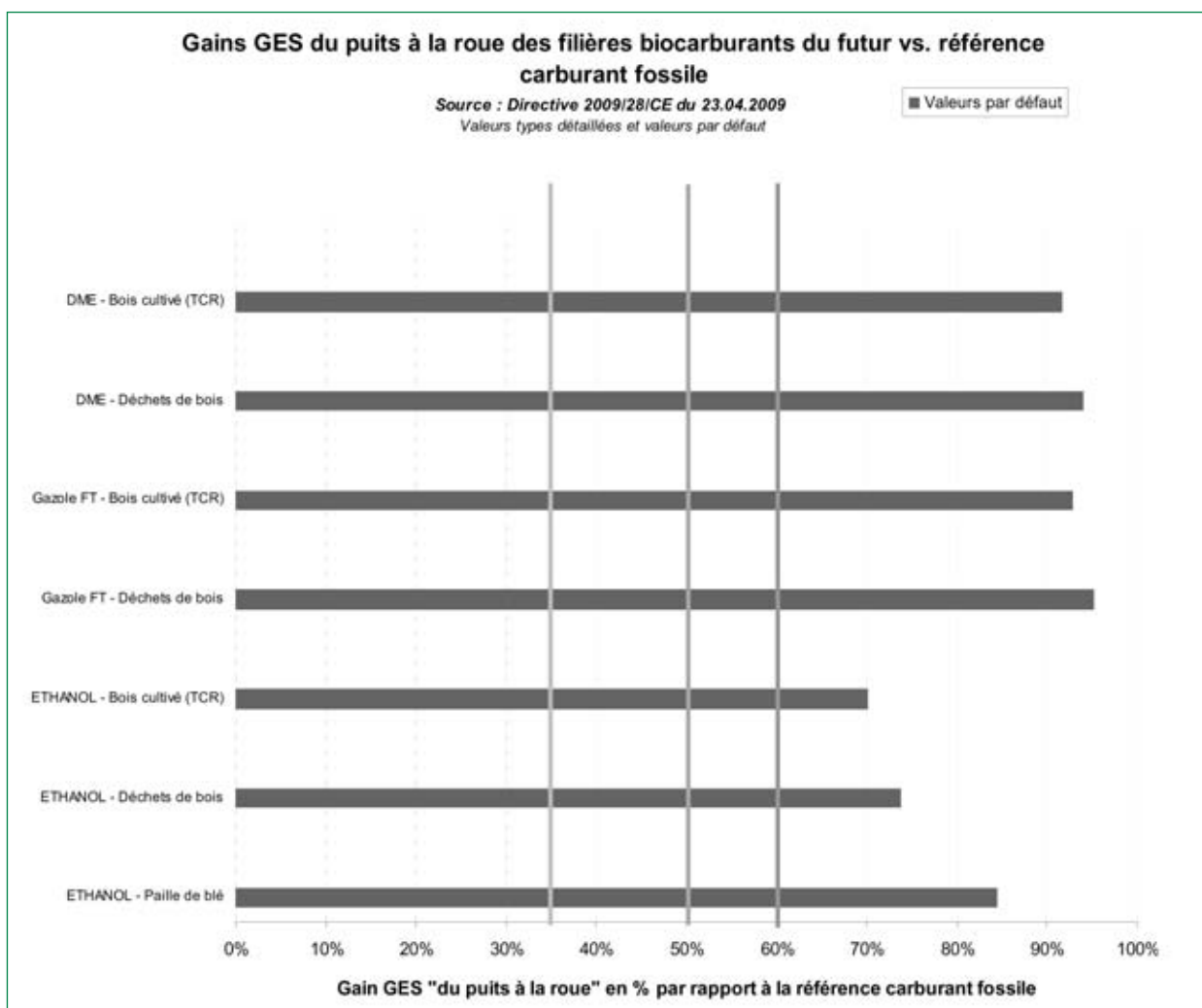


Figure 4 : Gain GES du « puits à la roue » des filières biocarburants du futur par rapport à celles d'un carburant fossile dite de référence.

sur la ressource en eau tant en termes de quantités prélevées qu'en termes de modification de la qualité (contamination des eaux de surface et des eaux souterraines, présence de nitrate, etc.). Ce scénario fait appel à des cultures lignocellulosiques dédiées produites sans irrigation. Des cultures du même type, mais irriguées, donnent une production plus élevée (20 Mtep au lieu de 14), mais elles accroissent la pression sur la disponibilité en eau par rapport à la situation prévalant aujourd'hui.

Autre scénario examiné : le développement de seulement 5 Mtep de biocarburants *via* les filières de première génération a un impact négatif significatif.

Quels coûts, pour ces filières ?

Les biocarburants de deuxième génération présentent cependant aujourd'hui des coûts qui sont bien supérieurs à ceux des filières de première génération, elles-mêmes plus coûteuses que l'essence et le gazole, même aux niveaux de prix élevés récemment observés.

A quantité d'énergie équivalente, le surcoût (hors taxes), par rapport à l'essence, de l'éthanol produit en Europe ou aux États-Unis est de 50 à 80 %. Au Brésil, où les coûts de production sont plus faibles, l'éthanol est compétitif par rapport à l'essence. En 2008, les automobilistes brésiliens ont consommé autant d'éthanol que d'essence.

Quant au biodiesel, son surcoût par rapport au gazole, bien qu'un peu plus faible, reste également important (de l'ordre de 30 à 75 %).

Le développement des ventes de ces produits observé depuis 2000 s'est opéré grâce aux soutiens publics : défiscalisation à la vente, soutien (direct ou indirect) à la production des matières premières ou à l'investissement dans les unités de fabrication et, plus récemment, obligation d'incorporation dans les carburants.

Au stade actuel des travaux d'évaluation, les coûts de production des biocarburants de deuxième génération restent encore plus élevés : en moyenne (hors-taxes), ils correspondent à deux fois ceux du gazole et de l'essence tirés du pétrole. Les espoirs de voir se réduire ces écarts dans le futur sont cependant réels, avec l'augmentation probable du prix du pétrole dès que la consommation repartira et, surtout, avec les gains d'efficacité et de rentabilité attendus grâce aux efforts de recherche et de développement déployés pour ces nouvelles filières.

Ces travaux de recherche portent aussi bien sur la ressource que sur les technologies et procédés de transformation en carburant.

Ils visent à identifier les espèces (*Miscanthus*, *Switchgrass*, taillis à courte rotation...) présentant un intérêt dans le cadre de cultures dédiées, à définir les itinéraires techniques à pratiquer sur ces cultures ou encore les potentialités d'amélioration génétique de ces plantes. Ils cherchent également à optimiser chaque étape de la transformation du point de vue économique.

Pour la conversion biochimique, les différentes méthodes de prétraitement de la biomasse sont étudiées,

ainsi que leur adaptation aux différentes espèces végétales. On cherche à optimiser l'hydrolyse de la cellulose en sucre (et éventuellement celle de l'hémicellulose), ainsi que l'augmentation du rendement en éthanol lors de l'étape de fermentation.

En ce qui concerne la conversion thermo-chimique *via* la formation d'un gaz de synthèse, si les procédés sont bien connus pour le traitement des charges fossiles, la transformation de la biomasse implique de nouvelles contraintes : l'étape de prétraitement (pyrolyse ou torréfaction) fait l'objet de recherches, ainsi que les solutions permettant une épuration poussée des gaz, une optimisation du rapport H_2/CO ou encore la diminution du taux de gaz inertes. Des systèmes permettant d'améliorer le rendement massique de la chaîne de transformation au moyen d'apports externes (d'énergie ou d'hydrogène) sont également étudiés.

La faisabilité de la conversion thermo-chimique par voie indirecte a seulement été démontrée en laboratoire. Elle reste à être vérifiée à plus grande échelle.

Ces technologies en sont aujourd'hui à des stades de maîtrise et de développement contrastés. L'expérimentation par des pilotes et des démonstrateurs reste une étape incontournable pour lever les verrous restants. De nombreux projets allant dans ce sens sont lancés en Amérique du Nord, en Europe, au Brésil et au Japon.

Aux États-Unis, les projets d'unités pilotes ou de démonstrateurs et les annonces d'unités commerciales concernent essentiellement la conversion biochimique, voie privilégiée par ce pays consommateur d'essence, tandis qu'en Europe, où la diésélisation du parc automobile n'a fait que s'accroître, les deux voies biochimique et thermo-chimique sont développées en parallèle. Si la crise économique a fortement ralenti les annonces de projets d'unités pilotes ou commerciales, l'objectif des acteurs du domaine reste d'aboutir à des réalisations industrielles avant la fin de cette deuxième décennie.

A plus long terme, une 3^e génération ?

Au-delà de l'exploitation de la biomasse lignocellulosique, la biomasse marine suscite aujourd'hui un intérêt pour le plus long terme. Suivant leurs caractéristiques et les technologies de conversion considérées, les algues peuvent être transformées en biodiesel, en bioéthanol, en biogaz, en hydrogène, en butanol, etc. La voie présentant aujourd'hui le plus d'intérêt est la production de biodiesel à partir de micro-algues lipidiques autotrophes capables de recycler le CO_2 rejeté par des usines ou des centrales thermoélectriques. Les résultats obtenus en laboratoire laissent espérer des productivités d'huile par hectare de 6 à 60 fois plus importantes que celles obtenues avec les plantes oléagineuses traditionnelles. Les systèmes de production et les investissements qu'ils impliquent restent, pour le moment, à préciser, ainsi que les ressources en eau que ces systèmes nécessitent, et les risques pour l'environnement.

Conclusion

Après avoir soulevé l'enthousiasme au début des années 2000 et suscité l'indignation ces dernières années, les biocarburants ne méritent sans doute ni l'un ni l'autre de ces excès.

La première génération présente des limites qui sont aujourd'hui relativement bien identifiées et qui freinent sa croissance. Elle n'en a pas moins contribué à amorcer un début de diversification des approvisionnements énergétiques du secteur des transports. Les nouvelles filières, qui visent à utiliser des espèces cultivables sur des terres non agricoles ou à transformer la biomasse lignocellulosique, offrent de nouvelles opportunités et peuvent présenter un intérêt du point de vue environnemental. Le développement non maîtrisé de ces nouvelles filières pourrait néanmoins conduire aux mêmes dérives que celles que l'on reproche aux carburants agricoles de première génération. L'identification des bonnes pratiques et leur promotion demeurent donc incontournables.

D'une manière plus générale, les biocarburants font partie de l'ensemble des solutions qui devront être mises en œuvre pour desserrer les contraintes énergétiques pesant sur les transports, au cours des vingt ou trente prochaines années.

Note

* Directeur Économie et Veille, IFP.

Bibliographie

- [1] Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) : *L'évaluation des biocarburants*, PNUE, 2009.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) : *Le développement de la production de biocarburants et ses incidences sur le marché et la sécurité alimentaire*, Rome, avril 2009.
- [3] (A.) PRIEUR (IFP), (F.) BOUVART (IFP), (B.) GABRIELLE (INRA) & (S.) LEHUGER (INRA), *Well to Wheels Analysis of Biofuels Versus Conventional Fossil Fuels. A Proposal for Greenhouse Gases and Energy Savings Accounting in the French Context*, SAE 2008 World Congress, Detroit, avril 2008.
- [4] International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2009*, OCDE/IEA, Paris, 2009.
- [5] (D.) LORNE, *Les unités-pilotes de biocarburants de deuxième génération dans le monde*, IFP/Panorama, Paris, janvier 2008.
- [6] (D.) LORNE : *Quelles ressources en biomasse pour un système énergétique durable ?*, IFP/Panorama, Paris, janvier 2010.
- [7] (D.) LORNE (IFP) & (J.F.) BONNET (Laboratoire Trèfle) : *Eau et biocarburants. Impact sur l'eau du développement des biocarburants en France à l'horizon 2030*, Les cahiers du CLIP, IDDRI, n°19, septembre 2009.