



## Étude prospective sur la seconde génération de biocarburants : une analyse de leur efficacité économique et environnementale

Ce document a été élaboré sous la responsabilité de la direction générale du Trésor et ne reflète pas nécessairement la position du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

- Actuellement, les principaux substituts aux carburants fossiles sont les biocarburants. Alors que la première génération, produite à partir de cultures alimentaires, a été vivement critiquée ces dernières années, les espoirs se sont reportés sur les biocarburants de seconde génération (biodiesel et bioéthanol principalement), produits à partir de tout type de matière végétale (plantes entières, ligneuses ou herbacées, résidus agricoles et sylvicoles, etc.). L'émergence de ces filières n'étant pas attendue avant 2015 - 2020, il existe encore peu d'études donnant des estimations des coûts de production futurs et des impacts environnementaux des procédés envisagés.
- Ce travail cherche à évaluer sur la base des données techniques de 2009 l'efficacité économique potentielle de trois technologies de production de biodiesel de seconde génération dans le cadre de la lutte contre l'effet de serre en estimant les coûts de production de trois technologies de seconde génération ainsi que les coûts de réduction des émissions de gaz à effets de serre associées (dits coûts d'abattement).
- L'étude montre que les bilans environnementaux annoncés pour les procédés de seconde génération sont nettement meilleurs que ceux de la première, que ce soit au niveau de l'impact sur l'effet de serre ou au niveau des autres impacts environnementaux. Les coûts de production des procédés de seconde génération, calculés pour différents scénarios de prix des matières premières, sont cependant nettement supérieurs à ceux des procédés de première génération. Il en résulte des coûts à la tonne de CO<sub>2</sub> évitée élevés. Aussi, les technologies de seconde génération nécessiteraient un soutien public important jusqu'en 2020 au moins.
- Il existe toutefois une incertitude forte sur de nombreux paramètres et les gains potentiels de réduction des coûts liés au progrès technique, qui peuvent être importants, n'ont pas été évalués dans le cadre de cette étude. Dans l'objectif du développement d'une part de 10 % d'énergies renouvelables dans les transports d'ici 2020, le soutien à la recherche est donc fondamental, afin de favoriser l'optimisation des différentes filières alternatives et de ne pas engager de ressources publiques trop importantes sur une technologie en particulier.

## 1. Face aux limites des biocarburants de première génération, les biocarburants de seconde génération suscitent de nombreuses attentes

Dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, les États membres de l'Union Européenne ont adopté en avril 2009 une directive sur la promotion de l'utilisation des énergies renouvelables (2009/28/CE). Parmi les mesures énoncées, la directive fixe un objectif d'utilisation de 10 % d'énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie dans le transport d'ici 2020.

Actuellement, les principaux substituts aux carburants fossiles produits à l'échelle industrielle sont les biocarburants de première génération (produits à partir des organes de réserve des plantes vivrières), au sein desquels on peut distinguer deux grandes filières de production de première génération : la filière bioéthanol (produite en France principalement à partir de betterave et de blé) et la filière biodiesel (produite à partir de colza).

Celles-ci sont vivement critiquées pour trois raisons. D'abord, **la politique de soutien aux biocarburants de première génération est une politique coûteuse pour les ressources de l'État**. Les défiscalisations accordées aux biocarburants sont importantes pour des retombées en termes d'emplois incertaines. On peut de plus s'interroger sur l'utilité de maintenir en parallèle deux instruments économiques (défiscalisation et une incorporation obligatoire sous contrainte de TGAP<sup>1</sup>) à l'articulation délicate. Surtout, **le bilan environnemental en termes de réductions d'émissions par rapport à l'équivalent fossile sur l'ensemble du cycle de vie des biocarburants reste incertain et sujet à controverses,**

**en fonction des méthodologies employées.** D'après une récente étude publiée par l'ADEME (2010)<sup>2</sup>, ce bilan serait positif pour l'ensemble des filières de biocarburants consommés en France. Cependant, ces résultats présentent une forte sensibilité à la prise en compte des émissions provoquées par certains changements d'affectation des sols. Or, ces dernières n'ont pas été intégrées dans le bilan, faute de consensus sur les scénarios plausibles à l'heure actuelle<sup>3</sup>. Enfin, la substituabilité des cultures alimentaires et énergétiques implique une compétition directe entre les deux valorisations possibles, avec **de potentielles répercussions négatives du développement de la production des biocarburants sur le marché des productions alimentaires.**

Les espoirs se sont donc reportés sur les biocarburants de seconde génération qui sont pour leur part produits à partir de tout type de matière végétale (plantes entières, ligneuses ou herbacées, résidus agricoles et sylvicoles, etc.). Les principaux gains attendus de la seconde génération sont les suivants : de meilleurs bilans environnementaux, des rendements à l'hectare plus élevés et une mobilisation de ressources qui n'entrent pas en compétition avec les plantes vivrières. Ceci se révèle particulièrement intéressant pour une diffusion dans les pays en développement. L'émergence de ces filières n'étant pas attendue avant 2015 - 2020, il existe encore peu d'études donnant des estimations des coûts de production futurs et des impacts environnementaux des procédés envisagés.

## 2. Les technologies de seconde génération utilisent des procédés complexes et variés et devraient permettre de mobiliser de nouveaux gisements de biomasse

On distingue deux grandes voies de production des biocarburants de seconde génération.

**La voie biochimique**, qui permet d'obtenir du bioéthanol : le procédé de seconde génération de bioéthanol comporte les mêmes étapes principales que celui de première génération : une hydrolyse enzymatique des matières premières, suivie d'une fermentation éthanolique des sucres libérés, puis d'une distillation

permettant de récupérer le bioéthanol. La différence provient de la nature de la matière première et demande une adaptation des étapes d'hydrolyse et de fermentation. Différentes valorisations possibles de la lignine sont envisagées, la plus couramment évoquée étant son utilisation comme combustible. Une autre valorisation possible, à plus grande valeur ajoutée, serait de l'utiliser comme matière première pour la chimie du végétal (fabrication de colles, résines, etc.),

(1) La loi de finance 2005 a créé une taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) dont les distributeurs sont exonérés s'ils incorporent des biocarburants à hauteur d'un objectif fixé. Si un distributeur n'a pas acheté la quantité de biocarburants lui permettant de bénéficier de l'exonération, il peut acheter un certificat d'incorporation à un autre distributeur qui a incorporé suffisamment de biocarburants. Pour respecter l'objectif obligatoire d'incorporation et ne pas payer de pénalité, les distributeurs de carburants sont donc prêts à payer plus chers les biocarburants, ce qui est assimilable à une subvention aux producteurs de biocarburants, .

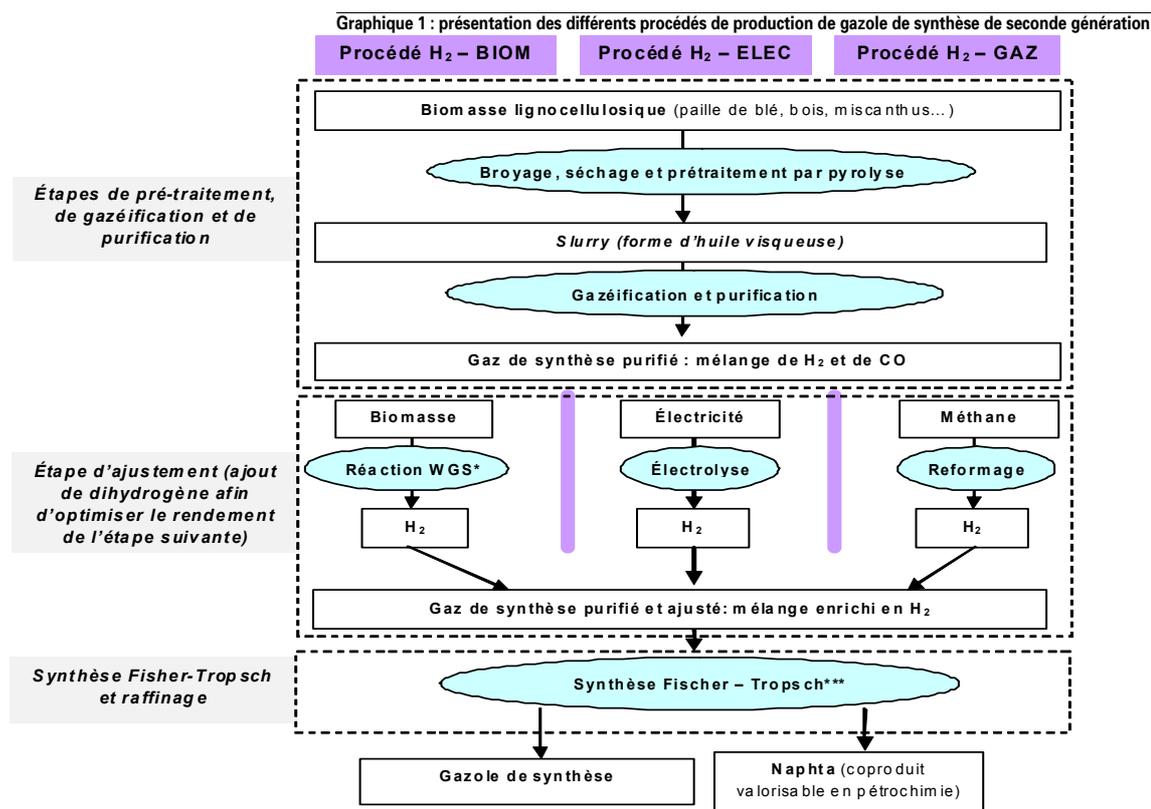
(2) ADEME (2010) Analyses de Cycle de Vie appliquées aux biocarburants de première génération consommés en France.

(3) Les bilans pourraient s'avérer négatifs dans le cas d'une conversion d'un sol à haut contenu en carbone en cultures agricoles destinées à la production de biocarburants. Deux études doivent être lancées prochainement par l'ADEME, afin de mieux prendre en compte l'impact des changements d'affectation des sols dans les bilans environnementaux des filières de biocarburants.

servant ainsi de substitut aux matières premières habituelles, d'origine fossile.

**La voie thermochimique**, qui permet d'obtenir plusieurs types de carburants, selon l'étape de synthèse choisie : gazole de synthèse, kérosène, diméthyléther (DME), méthanol, éthanol, etc. Cette étude se concentre sur la production de gazole de synthèse, qui est la voie de recherche privilégiée à l'heure actuelle. La voie de production du gazole de synthèse de seconde génération ne présente par contre aucune similarité avec la filière de première génération. De plus, le gazole obtenu par les procédés de seconde génération ne présente pas les mêmes propriétés. Son taux de cétones plus élevé, l'absence de soufre et la faible présence de composés aromatiques lui confèrent une qualité supérieure (meilleure combustion et moindres émissions de gaz à effet de serre) au biodiesel de première génération et au diesel fossile. La voie thermochimique est composée de deux étapes principales : la gazéification de la biomasse, suivie de la synthèse du carburant à partir du gaz obtenu. Selon le type de synthèse choisi, on peut obtenir différents carburants, gazeux (diméthyléther, méthanol et éthanol) ou liquides (diesel et kérosène).

D'après le Commissariat à l'Énergie Atomique (Dupont, 2008), **la voie la plus prometteuse à l'heure actuelle est celle de la production de gazole de synthèse par la voie BtL (Biomass to Liquids)**. C'est cette voie que nous étudions ici. Plus particulièrement, trois procédés qui diffèrent par la source énergétique utilisée pour la production du dihydrogène ( $H_2$ ) sont analysés. Le premier est un procédé auto-thermique, que l'on nommera « **H<sub>2</sub> - BIOM** » (dihydrogène ex-biomasse) et qui est la technologie la plus proche de la maturité actuellement. Deux procédés allo-thermiques (plus énergivores et plus coûteux en termes d'investissement mais de rendement massique supérieur) sont ensuite étudiés : « **H<sub>2</sub> - ELEC** » (le supplément de dihydrogène est obtenu par électrolyse de l'eau<sup>4</sup>) et « **H<sub>2</sub> - GAZ** » (le dihydrogène est obtenu par réformage du méthane<sup>5</sup>). Cette dernière technologie n'est actuellement pas envisagée car très polluante. Elle a cependant été retenue dans l'étude afin de servir de référence et également parce que c'est la technologie la moins coûteuse des trois. Les étapes des trois procédés analysés dans cette étude sont présentées dans le graphique 1.



\* La réaction WGS (Water Gas Shift) est une réaction qui permet de transformer, en présence d'eau, une partie de la biomasse en dihydrogène (réaction du monoxyde de carbone sur l'eau).

\*\*La synthèse Fischer-Tropsch permet d'obtenir un mélange d'hydrocarbures, composé de 70 % (en masse) de mélange diesel-kérosène et de 30 % de bionaphta (hydrocarbure coproduit du gazole de synthèse séparé de ce dernier par distillation).

(4) Électrolyse de l'eau :  $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ .

(5) Réformage du méthane :  $CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$ .

Que ce soit pour la voie biochimique ou pour la voie thermochimique, la nature de la biomasse mobilisée a une influence cruciale sur le rendement des procédés (Ballerini, 2006). Ainsi, plusieurs projets de recherche portent aujourd'hui sur l'identification des espèces les plus adaptées pour chacun des procédés. En outre, l'augmentation de la demande de biomasse aujourd'hui, entraînant l'apparition de concurrences d'usages, pose la question de la quantité de biomasse qui sera disponible pour la production de biocarburants de seconde génération.

Différentes catégories de ressources peuvent servir à la production des biocarburants : les **déchets industriels** (résidus provenant de la transformation du bois, co-produits de l'industrie agro-alimentaire, etc.), les **résidus agricoles** (pailles de céréales) et **sylvicoles** (résidus forestiers et hors forêt), les **cultures énergé-**

**tiques dédiées** à la production de biocarburants à faible besoins en intrants et rendements de biomasse élevés (sorgho, luzerne, miscanthus, taillis à courte rotation de peuplier et d'eucalyptus, etc.). Afin d'augmenter le moins possible la pression sur les terres destinées aux productions alimentaires, il est envisagé de mobiliser en priorité les résidus agricoles et sylvicoles, les déchets industriels et les cultures dédiées réalisées sur des terres marginales. Les quantités disponibles et la logistique d'approvisionnement à mettre en place (ressource concentrée ou diffuse, récolte saisonnière ou étalée le long de l'année, etc.) sont très variables selon le type de biomasse envisagée. D'autre part, l'hétérogénéité de la composition chimique de ces ressources les rend plus ou moins adaptées aux deux voies de production existantes (biochimique et thermo-chimique).

### 3. Les coûts de production du gazole de synthèse sont bien plus importants que ceux du gazole fossile et sont dominés par les coûts d'investissement et les achats de biomasse

Les technologies de production du gazole de synthèse ne sont pas matures et la production industrielle n'est pas envisagée avant 2020. **Il est cependant possible d'évaluer les coûts de production futurs des biocarburants de seconde génération au moyen de calculs de simulation réalisés à partir des données techniques provenant des projets pilotes.** La comparaison de ces estimations avec les coûts de production des carburants fossiles permet alors de juger de leur compétitivité. Les coûts de production des trois procédés thermochimiques décrits précédemment ont été estimés.

Afin de calculer le coût moyen actualisé de chacun des procédés envisagés, il est nécessaire d'estimer au préa-

lable les quantités produites, le coût des investissements et les dépenses d'exploitation. Ces dernières sont les dépenses de fonctionnement annuelles qui seront effectuées par chacune des usines. Elles comprennent le coût des matières premières et les coûts opérationnels. Les données techniques concernant les trois « usines fictives » résultent de calculs de simulation de procédés réalisés par le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA)<sup>6</sup>. Elles reflètent l'état des connaissances actuelles. Elles seront donc amenées à évoluer d'ici la mise sur le marché avec les progrès technologiques réalisés. Les données techniques fournies par le CEA sont récapitulées dans le tableau 1.

**Tableau 1 : données techniques prévisionnelles pour les 3 procédés de production étudiés**

Procédé	H <sub>2</sub> – BIOM	H <sub>2</sub> – ELEC	H <sub>2</sub> – GAZ
Capacité de l'usine	100 tonnes de biomasse sèche par heure		
Durée de vie économique	20 ans		
Durée annuelle de fonctionnement	8000 heures		
Coût de l'investissement (Millions €)	650	800	800
Consommation de biomasse : - en GJ par GJ de mélange gazole - naphta	1,64	1,13	1,13
Consommation d'électricité : - en kWh par GJ de mélange gazole - naphta	30,6	183,3	19,4
Consommation de gaz : - en kWh par kWh de mélange gazole - naphta	100	75	191,6
Production de mélange gazole - naphta (Gigajoule/an)	8,43.10 <sup>6</sup>	12,3.10 <sup>6</sup>	12,3.10 <sup>6</sup>

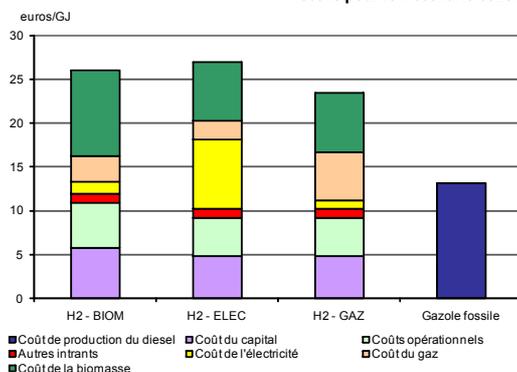
Source : (Seiler, Hohwiller et al, 2009)

(6) Ces données ont été publiées par le CEA de Grenoble, à l'occasion du 8<sup>ème</sup> Congrès mondial du génie chimique (Montréal, 23-27 août 2009) : Seiler J.M. & Hohwiller C. : « Technical and economical evaluation of sustained carbon biomass to liquid fuel processes ».

Le mélange final est supposé être un mélange d'hydrocarbures, composé de 70 % de gazole de synthèse et de 30 % de naphta. Le coût de l'investissement ne prend pas en compte les coûts liés à l'achat du terrain, à son urbanisation et au démantèlement de l'usine. D'autre part, la valeur résiduelle de l'investissement est supposée nulle. Ensuite, le calcul des coûts de production nécessite de faire des hypothèses sur le prix d'achat des matières premières à l'horizon 2020. Deux scénarios ont été envisagés : un « scénario central » qui repose sur un prix du pétrole de 55€/baril, un prix de la biomasse de 5,5€/GJ, et un « scénario favorable » qui repose sur un prix de la biomasse faible (3€/GJ) et un cours du pétrole élevé (85€/baril).

Le graphique 2 présente une comparaison du coût d'un gigajoule (GJ) de gazole fossile par rapport au coût d'un GJ de gazole de synthèse produit par chacun des trois procédés pour le « scénario central ».

**Graphique 2 : décomposition des coûts de production d'un gigajoule de gazole de synthèse pour chacun des procédés, comparés au prix du gazole fossile pour le « scénario central »**



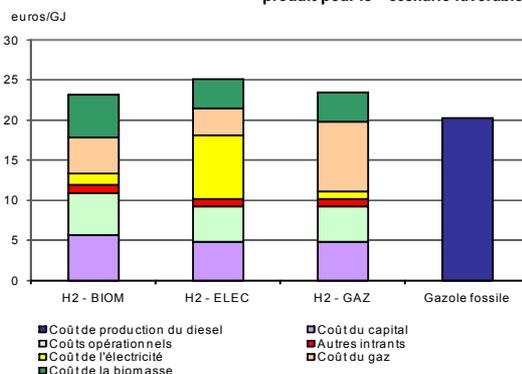
Source : DG Trésor

Le graphique 2 permet d'observer que le coût du capital (amortissement économique) est un poste de dépense important (20 % environ), relativement similaire pour les différentes voies de production. La source énergétique utilisée pour la production de l'hydrogène supplémentaire détermine pour chacun des procédés le poste de coût prépondérant. Les achats de biomasse sont également un poste de dépense important, quel que soit le procédé, même s'il est notablement supérieur pour le procédé H<sub>2</sub> - BIOM. Au final, **les facteurs déterminants des coûts de production du gazole de synthèse sont le coût de l'investissement et le coût de la biomasse** pour l'ensemble des procédés,

le coût de l'électricité pour le procédé H<sub>2</sub> - ELEC, le coût du gaz pour le procédé H<sub>2</sub> - GAZ. Surtout, **les coûts de production des trois procédés étudiés sont près du double de ceux du diesel fossile.**

Lorsque l'on envisage un scénario très favorable à l'émergence des biocarburants (Cf. graphique 3), à savoir un prix de la biomasse faible (3€/GJ) et un cours du pétrole élevé (85€/baril), on constate que les trois procédés de production de gazole de synthèse ne sont toujours pas rentables, mais que les surcoûts observés sont beaucoup plus faibles. Néanmoins, il est difficile de concevoir une situation où un prix du pétrole si élevé coexisterait avec un coût de la biomasse si faible. Il est probable qu'une hausse importante du cours du pétrole augmenterait la demande en biomasse, qui deviendrait alors une ressource très désirée. Il faudrait s'attendre alors à une hausse importante de son prix de marché.

**Graphique 3 : décomposition des coûts de production d'un gigajoule de produit pour le « scénario favorable »**



Source : DG Trésor

Dans ces conditions, **l'émergence des biocarburants de seconde génération ne pourrait se faire sans un soutien public important pour compenser ce surcoût de production.** Un tel soutien public pourrait se justifier, entre autres, par les bénéfices environnementaux potentiels : une réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, liée à la substitution des carburants fossiles par ces biocarburants. Afin d'évaluer la pertinence économique d'un soutien aux biocarburants de seconde génération, l'estimation des coûts d'abattement (c'est-à-dire le rapport entre les surcoûts de production et les émissions de CO<sub>2</sub> évitées) des différentes technologies est nécessaire.

#### 4. Avec les technologies actuelles, les coûts d'abattements du gazole de synthèse seraient particulièrement élevés

La méthode la plus courante pour évaluer les impacts environnementaux<sup>7</sup> d'un produit (ou d'un service) est celle des Analyses de Cycles de Vie (ACV). C'est une méthode qui a été standardisée par l'Organisation Internationale pour la normalisation. À l'heure actuelle, il n'existe pas d'ACV pour les biocarburants de seconde génération fondées sur l'observation d'une usine de production industrielle réelle, puisque les technologies ne sont pas matures. En revanche, quel-

ques ACV « prospectives » ont été réalisées à l'aide des données provenant des unités pilotes. Notamment, deux études servent de référence à l'heure actuelle : l'étude « Well-to-Wheels » (JRC, 2007)<sup>8</sup> et l'étude RENEW<sup>9</sup> (*Renewable Fuels for Advanced Power-trains, 2006*). Les résultats de ces deux études sont résumés dans le tableau 2. Ils permettent de calculer les réductions d'émissions par rapport au carburant fossile substitué<sup>10</sup>.

**Tableau 2 : impact sur l'effet de serre (GES) de différentes filières de production de biocarburants (exprimé en gCO<sub>2</sub>éq<sup>a</sup> émis par mégajoule de biocarburant produit)**

Étude source	Biomasse utilisée	Produit final	Émissions de GES (gCO <sub>2</sub> éq/MJ)
<b>Voie thermochimique</b>			
<u>Auto-thermiques</u>			
RENEW (2006)	TTCR de saules	Gazole de synthèse	29,6
JRC (2007)	TTCR de peupliers	Gazole de synthèse	6,9
JRC (2007)	Résidus forestiers	Gazole de synthèse	4,8
<u>Allo-thermiques</u>			
RENEW (2006)	TTCR de saules	Gazole de synthèse (ELEC)	18,3
Donnée construite <sup>b</sup>	TTCR de saules	Gazole de synthèse (GAZ)	46,9
<b>Voie biochimique</b>			
JRC (2007)	TTCR de peupliers	Bioéthanol	22,0
JRC (2007)	Résidus forestiers	Bioéthanol	19,0
JRC (2007)	Paille de blé	Bioéthanol	8,7

- a. Gramme de CO<sub>2</sub> équivalent. Cette unité permet de donner une équivalence, en terme de production d'effet de serre, entre les différents gaz à effet de serre et le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Cette unité permet de donner une équivalence, en terme de production d'effet de serre, entre les différents gaz à effet de serre et le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>).
- b. Aucune des deux études n'étudie un procédé similaire à celui de H<sub>2</sub> - GAZ. Cependant, ce procédé est très proche du procédé H<sub>2</sub> - ELEC, la seule différence provenant de la source énergétique utilisée pour la synthèse du dihydrogène supplémentaire. On ajoute donc aux émissions générées par le procédé H<sub>2</sub>-ELEC les émissions de GES liées à la production, l'approvisionnement et l'utilisation du gaz permettant la synthèse du H<sub>2</sub> nécessaire à la production d'un GJ de gazole de synthèse par le procédé H<sub>2</sub> - GAZ.

NB : TTCR = taillis à très courte rotation

La comparaison des évaluations de deux procédés similaires réalisées par les études RENEW et JRC permet de souligner les grandes incertitudes sur les mesures des émissions. Si on prend l'exemple du gazole de synthèse produit par procédé auto-thermique à partir de TTCR (saule ou peuplier), on voit que sa substitution au gazole fossile permet de réduire les émissions de 65 % selon l'étude RENEW et de 92 % selon l'étude du JRC. Ces différences s'expliquent par les choix méthodologiques d'une part, et par les incertitudes importantes

concernant les procédés de seconde génération, d'autre part.

Dès lors, le coût d'abattement d'une tonne de CO<sub>2</sub>éq évitée peut être obtenu en calculant le ratio du surcoût de production du gazole de synthèse (par rapport au gazole fossile) présenté dans le graphique 2 sur les émissions évitées présentées dans le tableau 2. Le tableau 3 présente des estimations de coûts d'abattement pour chacune des technologies étudiées.

(7) On se limitera ici aux seules émissions de gaz à effet de serre même si cela est réducteur. L'impact sur la biodiversité ou sur la qualité des eaux peut en effet prévaloir et justifier de favoriser des filières ayant un moins bon bilan carbone.

(8) Voir <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW.html>

(9) Voir <http://www.renew-fuel.com>

(10) Concernant les émissions liées à la production et à l'utilisation du carburant fossile, on utilise la valeur de référence donnée dans la Directive sur la promotion des énergies renouvelables (2009/28/CE), à savoir 83,8 gCO<sub>2</sub>éq/MJ.

**Tableau 3 : coûts d'abattement par technologie**

Procédés	H <sub>2</sub> – BIOM	H <sub>2</sub> – ELEC	H <sub>2</sub> – GAZ
Surcoût de production (€/GJ)	13 [7-24]	14 [8-25]	10 [6-20]
Émissions évitées (gCO <sub>2</sub> éq/MJ)	54,2 <sup>a</sup> / 76,9 <sup>b</sup>	65,5	36,9
Coût d'abattement <sup>c</sup> (€/tCO <sub>2</sub> éq)	239 [137-435] / 168 [97-307]	212 [122-380]	279 [169-537]

a. Source : (RENEW, 2006).

b. Source : (JRC, 2006).

c. Coût d'abattement = surcoût de production / émissions évitées.

NB : les calculs présentés ici ont été réalisés en 2010. Ils ne prennent notamment pas en compte les récents résultats du projet « HyFrance3 » sur le développement des marchés de l'hydrogène pour la filière « H2-élec ». Ces résultats sembleraient indiquer des coûts de production plus élevés que ceux présentés dans le tableau précédent pour la filière H2-élec.

**Les estimations de coût d'abattement d'une tonne de CO<sub>2</sub> sont donc supérieures à 100 €/tCO<sub>2</sub>éq pour les trois procédés.** Le coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée étant calculé comme le rapport d'une différence de dépenses sur une différence d'émissions, il est donc très sensible à la moindre variation de chacun des termes, ce qui conduit à des résultats très

instables. Il existe également une incertitude forte sur de nombreux paramètres, illustrée à travers les fourchettes utilisées pour la présentation des résultats, obtenues à partir de tests de sensibilité sur certains paramètres clés : prix de la biomasse, prix du pétrole, prix de l'électricité et taux d'actualisation retenu<sup>11</sup>.

## 5. Étant donné le manque de maturité des technologies de seconde génération actuelles et au vu des objectifs européens fixés pour 2020, un soutien à la recherche sur ces procédés paraît fondamental

**Les bilans environnementaux annoncés pour les procédés de seconde génération sont nettement plus favorables que ceux de la première** (exception faite du bioéthanol de canne à sucre brésilien). En outre, dans le cas des cultures énergétiques, les productions par unité de surface de biocarburant seraient *a priori* supérieures à celles de la première génération, ce qui permettrait une optimisation des surfaces dédiées. Si la production de biocarburants mobilise des gisements de biomasse résiduelle (résidus forestiers, agricoles et industriels) ou des cultures énergétiques réalisées sur des terres marginales, l'impact de la seconde génération sera nettement plus favorable que la première génération en termes de concurrence avec les productions alimentaires. La nature des gisements mobilisés dépendra de l'évolution de la demande des usages alternatifs (énergie, chimie du végétal, etc.), actuellement en plein développement, à l'horizon d'émergence de ces technologies.

Cependant, **les coûts de production des procédés de seconde génération calculés restent très importants, ce qui se traduit par des coûts à la**

**tonne de CO<sub>2</sub> évitée très élevés.** Dans ce contexte de fortes incertitudes sur les estimations des coûts d'abattement et en l'absence de démarcation d'une des technologies de réduction des émissions de GES envisagées pour le domaine des transports, **le soutien à la recherche est donc fondamental et préalable afin de favoriser l'optimisation des différentes filières. Il est également nécessaire de ne pas engager des ressources publiques trop importantes sur une technologie en particulier et faire baisser les coûts de production de long terme.**

L'obligation d'atteindre une part de 10 % d'énergies renouvelables dans les transports d'ici 2020 fixé par l'Union Européenne rend le développement d'alternatives aux carburants fossiles obligatoire, qu'il s'agisse de technologies efficaces ou non par rapport à la valeur tutélaire du carbone. Une comparaison des technologies de production des biocarburants des deux générations et des technologies alternatives (véhicules électriques) est donc nécessaire afin de déterminer celles qui seront disponibles au moindre coût d'ici 2020 et qui permettront peut-être d'atteindre cet objectif.

**Alba DEPARTE  
Timothée OLLIVIER**

(11) Dans les scénarii retenus, le prix de la biomasse varie de 3 €/GJ à 8 €/GJ, le prix du pétrole de 30 €/bl à 85 €/bl, le prix de l'électricité de 45 €/MWh à 84 €/MWh et le taux d'actualisation de 4 à 8 %.

**Éditeur :**

Ministère de l'Économie,  
des Finances et de l'Industrie  
Direction générale du Trésor  
139, rue de Bercy  
75575 Paris CEDEX 12

**Directeur de la Publication :**

Benoît COEURÉ

**Rédacteur en chef :**

Jean-Philippe VINCENT  
(01 44 87 18 51)  
tresor-eco@dgtresor.gouv.fr

**Mise en page :**

Maryse DOS SANTOS  
ISSN 1777-8050

**Derniers numéros parus****■ Juin 2011**

**n°88.** Le taux de taxation implicite des bénéfices en France  
Harry PARTOUCHE, Matthieu OLIVIER

**n°87.** Évolution des réserves de change dans les pays émergents et stratégies d'accumulation  
Stéphane COLLIAC, Cyril REBILLARD

**Mai 2011**

**n°86.** Ni déflation, ni spirale inflationniste aux États-Unis : l'apport d'une modélisation par secteur de l'inflation sous-jacente

Vincent GROSSMANN-WIRTH, Clotilde PFINGSTAG

**Avril 2011**

**n°85.** Les flux de capitaux vers les pays émergents : enjeux et modes de régulation  
Fabrice BERTHAUD, Antoine BOUVERET, Stéphane COLLIAC

**Février 2011**

**n°84.** Facteurs explicatifs des évolutions récentes des défaillances d'entreprises : une analyse économétrique

Cathy DOLIGNON

[http://www.tresor.bercy.gouv.fr/TRESOR\\_ECO/tresoreco.htm](http://www.tresor.bercy.gouv.fr/TRESOR_ECO/tresoreco.htm)