



**HAL**  
open science

## Introduction du CIAg Bioénergies durables : innovations dans les territoires et les filières

Paul Colonna

► **To cite this version:**

Paul Colonna. Introduction du CIAg Bioénergies durables : innovations dans les territoires et les filières. Innovations Agronomiques, 2016, 54, pp.1-11. 10.15454/1.5137725657962827E12 . hal-01603926

**HAL Id: hal-01603926**

**<https://hal.science/hal-01603926>**

Submitted on 27 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Introduction du CIAg Bioénergies durables : innovations dans les territoires et les filières

Colonna P.

INRA, 147 rue de l'Université, F- 75338 Paris Cedex

Correspondance : paul.colonna@inra.fr

### Résumé

Les bioénergies répondent aux trois enjeux de transition énergétique, de développement et d'indépendance. Elles permettent de contribuer au système énergétique par trois vecteurs, la chaleur, le combustible gazeux ou liquide et l'électricité.

Tout système durable de bioénergies doit appréhender d'abord des interrogations de disponibilité des biomasses forestières, agricoles et de déchets. Les verrous technologiques s'inscrivent dans les deux voies technologiques majeures : la thermochimie et les biotechnologies. La durabilité a longtemps été un sujet de controverses, maintenant apaisé par les règlements mis en place.

**Mots-clés** : Bioénergies, Durabilité, Système, Biomasse, Cultures, Forêts, Déchets, Biotechnologies.

### Abstract : Innovations in territories and systems

Bioenergy responds to the three challenges of energy transition, development and independence. They make possible a contribution of the agricultural and forest system to the energy system by three vectors, heat, gaseous or liquid fuel and electricity.

Sustainable bioenergy systems must first be concerned with the availability of forest, agricultural and waste biomasses. Technological locks are part of the two major technological paths: thermochemistry and biotechnology. Sustainability has long been a subject of controversy, now appeased by the regulations put in place and the data published.

**Keywords** : Bioenergies, Sustainability, System, Biomass, Crops, Forests, Wastes, Biotechnologies.

### Introduction

L'énergie<sup>1</sup> est un élément déterminant de nos niveaux de vie. Le développement économique mesuré par revenu national moyen par habitant (\$) est fortement relié à la consommation énergétique (J) par habitant.

Au niveau mondial, en 2013, les énergies d'origine fossile, gaz, pétrole et charbon, représentent 81,4 % des ressources énergétiques primaires (13 541 Mtep, 566,9 EJ) et sont pour l'essentiel responsables de la transition climatique en cours.

---

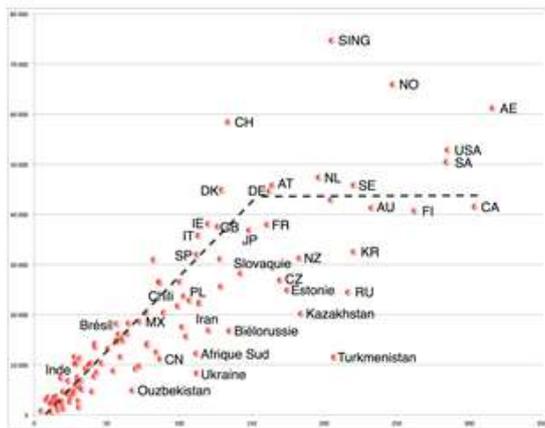
<sup>1</sup> Dans un souci d'homogénéisation, toutes les énergies sont exprimées en J, sachant que les facteurs de conversion sont une tep = 41,868 GJ, un kWh = 3,6 MJ.

Au niveau européen (UE 28), les énergies fossiles représentent 73% sur un total de 1 666,3 Mtep (69,8 EJ) contre 12% d'énergies renouvelables (source Eurostat). La consommation totale de biocarburants 1G dans l'UE28 en 2014 s'est élevée à 476 PJ de biodiesel et (environ 4% du total, base PCI) et 110 PJ d'essence (environ 0,9% des carburants destinées aux transports, base PCI). Cette production correspond à une surface agricole de 7,8 Mha (SAU totale de l'UE28 : 174,4 Mha).

En France, le bouquet énergétique final en métropole comprend 32,5 % d'énergies fossiles, à côté de 42,6 % d'origine nucléaire et 14,9 % renouvelables (942 PJ), dont 40% de bois énergie, 11% de biocarburants, 1% de résidus de l'agriculture et 2% de méthanisation).

Par ailleurs la présence de produits pétroliers constitue le premier poste de déficit (40,1 milliards € en 2015) de la balance commerciale en France (<http://lekiosque.finances.gouv.fr>).

A ces trois considérations majeures de développement, changement climatique et indépendance se rajoutent des objectifs d'indépendance énergétique, l'ensemble explique l'attention portée aux développements de nouvelles sources énergétiques décarbonées partout dans le monde.



**Figure 1 :** Evolution du revenu national moyen (\$/habitant) en fonction de la consommation énergétique (GJ/habitant) en 2014 pour 115 pays. Source : the world bank, 2015).

Parmi les énergies renouvelables, la biomasse occupe une grande place depuis longtemps !

- 400 000 ans : Découverte du feu (foyer ouvert)

- 3 000 ans : Charbon de bois

600 ans : moulin à vent

1 100 ans : moulin à eau

1606 : Jérónoma de Ayanz y Beaumont, invention de la machine à vapeur, machine à combustion externe.

1798 : Philippe Lebon, pyrogénisation du bois, puis de la houille.

1873 : Thaddeus Lowe, invention du gazogène produisant un gaz combustible pauvre à partir bois, charbon de bois, coke et anthracite.

1876 : Nikolaus Otto, invention du moteur à combustion interne, fonctionnant avec de l'éthanol.

1897 : Rudolf Diesel, invention du moteur diesel fonctionnant à l'huile d'arachide.

1902 : Le Ministère français de l'Agriculture organise un « Circuit automobile du Nord » destiné à propager l'utilisation de l'alcool comme carburant.

1920 : Georges Imbert, invention du gazogène à bois.

1980 : Invention du biodiesel utilisable seul ou en mélange avec du pétrodiesel

1969 : Découverte des paraffines dans des organismes vivants (Winters et al., 1969).

Le bois énergie pour le chauffage et la préparation des aliments constitue encore une solution dans plusieurs parties du monde. Il convient de ne pas oublier la situation et les besoins des pays en voie de développement, où environ les 2/3 de la biomasse consommée dans les foyers partent en usages de cuisson domestique et de chauffage, d'ailleurs sans passage par une voie commerciale. En parallèle la disponibilité de produits solides (bûches, bûchettes, pellets) pour des appareils modernes de combustion entraîne un regain d'intérêt en chauffage domestique et collectif.

Les nouvelles solutions technologiques permettent de produire de l'énergie, appelée **bioénergie**, sous forme de différents vecteurs :

- De chaleur au delà du chauffage domestique individuel historiquement développé et la production de chaleur par l'industrie et les collectivités, qui continue de croître en s'appuyant sur des réseaux de chaleur.
- De combustible ou carburant liquide, après transformation ;
- De gaz : hydrogène, méthane (biogaz) et gaz de synthèse (syngaz) ;
- D'électricité (à partir de chaleur ou de carburants) avec la cogénération qui s'affirme commercialement du fait de la valeur ajoutée de l'électricité associée à l'utilisation de la chaleur résiduelle.

Cette production d'énergie est assurée par la transformation de biomasse via des combinaisons de technologies chimiques, thermo-chimiques et/ou biochimiques.

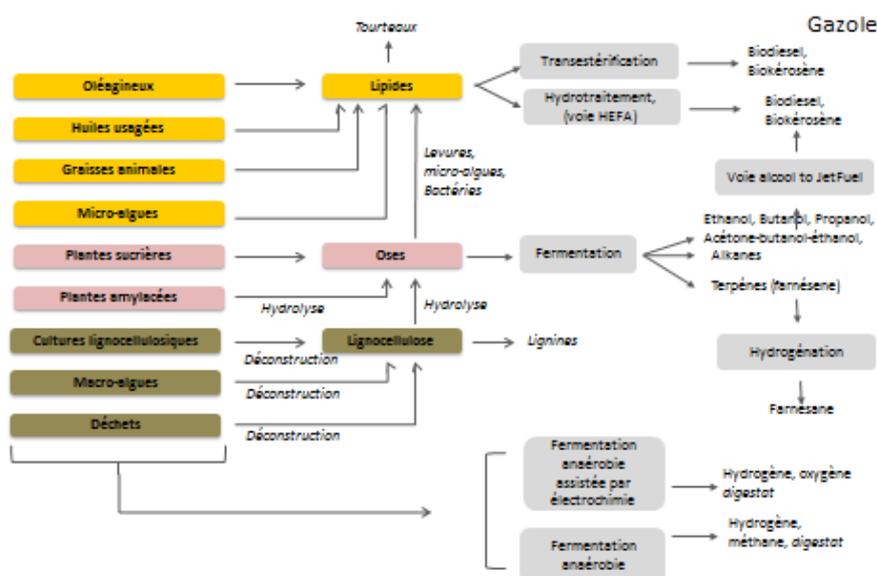


Figure 2 : Les bioénergies fondées essentiellement sur des biotechnologies.

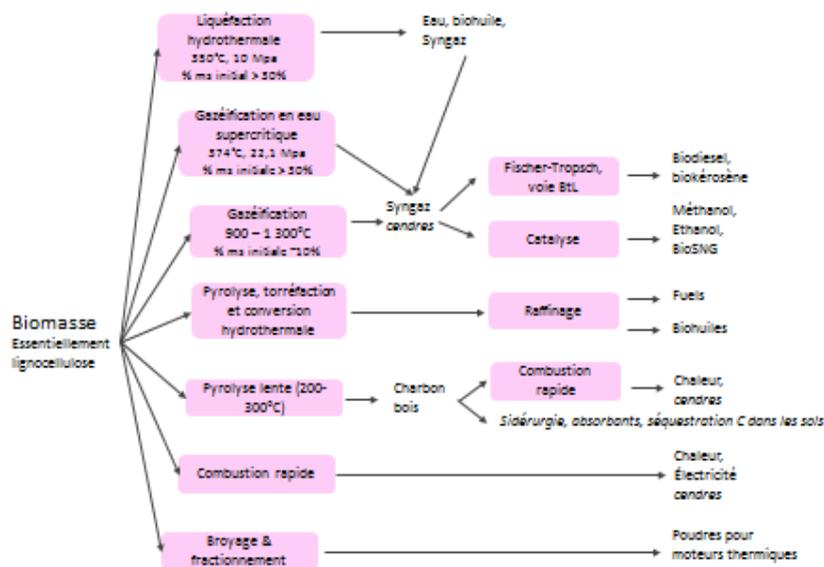


Figure 3 : Les bioénergies fondées majoritairement sur des technologies physiques et chimiques.

Au-delà de la mobilisation de l'énergie existant dans la nature, la conversion en différentes formes d'énergie finale et sa mise en oeuvre reposent sur des choix environnementaux, économiques, sociaux multidimensionnels et des jeux d'acteurs complexes (groupes sociaux, enjeux financiers ou diplomatiques, conséquences sur l'emploi, les territoires, la santé publique). La conséquence est que la place actuelle et l'avenir des bioénergies ne sauraient être réduits à une description linéaire d'innovations techniques. Construire un système énergétique comprenant une fraction de bioénergies nécessite de se placer dans une logique de développement durable, en abordant les différentes dimensions de la durabilité. En général plusieurs scénari de transition sont envisagés dans chaque réflexion. Les douze principes de la chimie verte (Anastas et Warner, 1998) sont insuffisants car essentiellement limités aux procédés.

Globalement les trois piliers social, économique et environnemental sont à considérer, ce qui donne un ensemble de critères pour concevoir tout système de bioénergies :

- **La satisfaction des besoins humains, des générations présentes et futures.** La difficulté est le choix des échelles temporelles et spatiales sachant que les bioénergies dépendent des conditions locales, en particulier pédoclimatiques, à la différence d'énergies plus universelles (nucléaire). Enfin les interrelations entre les systèmes alimentaires, énergétiques et chimiques aux niveaux local et mondial conduisent à des usages en cascade, à la base de nouvelles ressources.
- **La réduction des émissions de GES, et la minimisation de la production de déchets.** C'est une évidence pour chaque acteur au niveau du couple procédé/produit, plus compliqué à évaluer à l'échelle d'un système.
- **Une production avec des pratiques agricoles, forestières et industrielles qui respectent la biodiversité et les écosystèmes naturels, les sols.** La difficulté est de dépasser le mythe du développement neutre, sans aucun impact environnemental.
- **Une accessibilité à toutes et tous (économiquement et culturellement).** Au-delà de la compétitivité par rapport aux énergies fossiles, les coûts d'investissement pour les réseaux sont

considérables, ce qui est un paramètre important en fonction du développement de chaque pays, voire des régions.

- **Une répartition équitable de la valeur ajoutée** en appui au développement du territoire dans ses dimensions agricoles et forestières jusqu'à l'implantation des activités,
- **La minimisation des impacts en santé humaine** pour chaque forme de bioénergie mise en œuvre,
- **Une gouvernance qui considère les bioénergies dans un bouquet énergétique global** sans exclusion des matières fossiles a priori avec une mise en concurrence des sources et des procédés, à l'échelle de chaque Etat.

La biomasse peut provenir de :

- L'exploitation à des fins énergétiques du bois issu de la forêt ou de cultures agricoles (plantes de grandes cultures et cultures énergétiques);
- De déchets/co-produits industriels, déchets et résidus de la sylviculture, de l'agriculture ou de la pêche (substances végétales et animales) ;
- De résidus agricoles (fumiers, lisiers, fientes, pailles, résidus de culture) ;
- De déchets ménagers (fractions fermentescibles, gaz de décharge, boues des stations d'épuration...);
- De cultures dédiées à croissance rapide (miscanthus, panic érigée, peuplier, etc.) ;
- D'algues.

A côté de la biomasse agricole, la biomasse forestière présente deux particularités :

- Le bilan commercial des produits bruts de la forêt est excédentaire de 153 M€ (import 121, export 272 M€) alors qu'il est négatif pour les produits transformés 2 818 millions € pour les produits semi-finis et 4 004 millions € pour l'ameublement).
- La problématique de la ressource forestière est très contrastée entre les forêts tropicales qui souffrent de déforestation et les forêts tempérées, en particulier européennes, dont la surface croît aux dépens des terres agricoles, le stock sur pied s'accroît et où la production de bois annuelle n'est pas intégralement récoltée.

Les volumes de bois exploitables à l'horizon 2035 en quantité et en qualité, afin de contribuer à l'élaboration des politiques forêt-bois nationales et régionales (FCBA et al., 2016) ont été envisagés selon deux scénarios : sylviculture constante et gestion dynamique progressive. La demande en bois industrie et bois énergie estimée entre 54 à 64 Mm<sup>3</sup> (soit 1 m<sup>3</sup> – 750 kg – 5 940 MJ) par an dans les deux scénarios de demande les moins ambitieux peut être satisfaite à condition de mobiliser le bois rond, les produits connexes des industries du bois et d'utiliser le bois d'œuvre potentiel feuillu actuellement non utilisé comme bois d'œuvre.

En France, les déchets s'élèvent à 182,4 kg déchets putrescibles/habitant.an, et 125,4 kg cartons et papier/habitant.an ce qui donne pour une densité de 15 000 ha/km<sup>2</sup> observée en région parisienne, 27,4 t. déchets putrescibles/ha.an, et 18,8 t cartons et papier/ha.an.

Ces déchets sont transformables par digestion anaérobie en un biogaz riche en méthane. Cependant, certains effluents présentent une composition qui peut induire des problèmes ; les effluents riches en sulfate vont générer du sulfure d'hydrogène qui peut d'une part générer des inhibitions de la méthanogenèse en phase soluble et d'autre part être libéré dans le biogaz à des teneurs incompatibles avec une valorisation énergétique. Le concept de digestion anaérobie assistée par électrochimie

(electrochemical assisted AD ou electrolysis-enhanced AD, Arends et Verstrate, 2012) est une technologie nouvelle pour améliorer le procédé de digestion anaérobie. L'implémentation d'une cellule d'électrolyse couplée à un digesteur peut permettre, par l'application d'un champ électrique, de générer *in situ* de l'oxygène à l'anode et de l'hydrogène à la cathode.

Les bioénergies ne peuvent pas avoir l'ambition de répondre à tous les besoins énergétiques. L'usage de toutes les terres agricoles (180 M ha) et forestières (156 M ha) européennes sur une base de 1 tep/ha.an pour produire de la biomasse énergétique ne permettrait de produire que 336 Mtep (14EJ), c'est à dire couvrir de l'ordre de 20% des consommations énergétiques actuelles (69,7 EJ).

En conséquence les bioénergies sont à positionner dans le bouquet énergétique à définir d'abord en fonction des besoins énergétiques qualitatifs (chaleur, électricité, carburant), des ressources locales (agricoles, forestières et déchets) et des atouts des bioénergies comparativement aux autres sources énergétiques.

Développer les bioénergies pose d'abord le problème de l'approvisionnement **en biomasse**, avec la difficulté d'identification des gisements potentiels. En outre les biomasses disponibles sont dispersées et diverses, ce qui conduit à une fragmentation des savoir-faires, à la différence des autres énergies dont les technologies sont indépendantes des localisations géographiques. **La France dispose d'un potentiel important de biomasse**. C'est une des principales ressources énergétiques renouvelables exploitables à court et moyen termes, qui pourrait nous permettre d'atteindre l'objectif de 23% d'énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie finale à l'horizon 2020. En découlent plusieurs interrogations dont certaines questions originales d'ordre organisationnel:

- **Evaluer de façon fiable et continue la ressource en biomasse renouvelable.** Pour réduire les incertitudes sur la disponibilité en matière première primaire et secondaire notamment de type lignocellulosique (forêts, taillis à courte rotation (TCR), peuplier, miscanthus, panic érigée..), en France en particulier, l'apport des systèmes de télédétection des ressources, couplé à des technologies de l'information et de la communication peut conduire à garantir une traçabilité des biomasses et une bonne allocation *a priori* de leurs usages dans un contexte de cadastres numérisés et des bases de données géographiques précises.
- **Etudier les conditions socio-économiques d'exploitation forestière en forêts privées.** Ces dernières représentent un potentiel important mais très morcelé limitant la rentabilité des opérations d'exploitation. Le comportement des propriétaires forestiers et des autres parties prenantes (dont les acteurs de la mobilisation, les habitants de ces territoires, les agriculteurs, les utilisateurs « traditionnels » de la ressource bois) nécessite d'introduire le consentement à offrir dépassant ainsi la seule approche par les prix du marché.
- **Optimiser la logistique** afin d'assurer la production et l'approvisionnement de la ressource à des conditions économiquement viables et optimisées, dont les impacts environnementaux. Cette question est renforcée par la moindre densité énergétique de la biomasse (14,4 à 18,7 MJ/kg.ms pour les tiges de céréales, 14,8 à 17,1 MJ/kg.ms pour les plantes entières, 14,4 à 26,5 MJ/kg.ms pour les grains et graines, 12,6 à 19,4 MJ/kg.ms pour les bois) comparativement au pétrole ( 39,9 MJ/kg). Sont à envisager des combinaisons de prétraitement et de logistique pour transporter préférentiellement des matières d'intérêt. Les prétraitements locaux (broyage-séchage couplé, torréfaction, pyrolyse, granulation) avec mutualisation, par exemple par les plateformes multi-produits/multi-utilisateurs) sont concevables avant d'accéder à des **unités centralisées de grande taille** (300-400 MWh);
- **Exploiter les résidus/co-produits de la production agricole et des déchets/sous-produits organiques.** Les ordures organiques municipales s'élèvent à kg/an.habitant en France, représentant ainsi une forte intensité de production dans les zones urbanisées. La biomasse considérée s'inscrit dans une logique d'usage en cascade.

Les technologies fermentaires comme la fermentation anaérobie (ou méthanisation) productrice de méthane à partir de matières organiques joue un rôle majeur engendrant des aspects positifs sur la gestion des résidus, l'apport d'énergie et l'environnement. La digestion anaérobie produit à la fois un gaz pauvre et un digestat valorisé en agriculture. Correspondant en moyenne de 60 à 90% de la biomasse entrante en digestion, plus de 56 millions de tonnes de digestat sont produites annuellement en Europe par des installations de méthanisation, hors stations d'épurations (JRC, 2014). Le digestat est un mélange de matières organique partiellement dégradée et de composés inorganiques valorisables (azote, phosphore, potassium dont la composition est fortement dépendante de la nature des matières organiques entrantes et dans une moindre mesure par le procédé de digestion (Teglia et al., 2011). Ces caractéristiques en font non seulement un fertilisant alternatif pouvant se substituer à des engrais minéraux ou pétrosourcés, mais également un amendement organique (expertise collective Inra-Irstea 2014). Ces digestats sont capables d'améliorer la structure du sol, augmente son activité et sa diversité microbienne (Sapp et al., 2015 ; Sambusti et al., 2015 ; Moller et al., 2012). Toutefois des effets négatifs comme des émissions de GES pendant le stockage, une immobilisation de l'azote ammoniacal, ou au contraire une lixiviation des nitrates (Visvanathan, 2014) sont observables. La mise en œuvre des digestats se fait en séparant une fraction solide plutôt riche en matière organique et en phosphore et une fraction liquide apportant l'azote ammoniacal et la potasse). Dans certains cas les grandes installations choisissent même d'éliminer une grande partie de l'azote par des procédés de nitrification/dénitrification.

En découle l'idée de concevoir des **bioraffineries environnementales** capables de traiter une large gamme de déchets pour en produire des molécules biosourcées au delà des molécules énergétiques via des combinaisons de technologies fermentaires, physiques, chimiques (Yang et al., 2015). L'applicabilité de cette approche multiproduits des digestats est une alternative à l'épandage des digestats qui reste une opération coûteuse.

En France un dossier plan d'épandage est nécessaire pour l'autorisation d'épandage. Les digestats supposés conformes à la norme NFU44-051 peuvent être valorisés comme amendement organique sans dossier réglementaire spécifique.

**Développer des cultures dédiées à vocation énergétique dans des systèmes de culture complet** peut constituer une ressource supplémentaire non concurrente de l'utilisation des sols à d'autres fins, voire de sols impropres (Tripathi et al., 2016) à des usages alimentaires ou résidentiels. Le développement de l'agroforesterie et de l'agroécologie apportera de nouvelles ressources indirectement.

La deuxième famille d'interrogations concerne les **enjeux technologiques**.

Les voies de bois énergie sont à maturité technologique alors que les biocarburants suscitent plus de travaux. La production de biocarburants est envisagée dans une complémentarité des carburants fossiles actuels dans un mode drop-in, profitant ainsi des derniers progrès des moteurs thermiques et des infrastructures de stockage et distribution des carburants.

Un pré-supposé des biocarburants est le concept de biocarburant drop-in, c'est dire pouvant se substituer en partie ou en totalité au carburant conventionnel sans impact opérationnel (pas de modification des infrastructures, notamment de distribution), ni modification des véhicules et moteurs existants ou en cours de développement. La conséquence est que tout carburant alternatif doit posséder des propriétés physicochimiques proches du carburant conventionnel, en particulier le pouvoir calorifique inférieur (PCI), la densité, la viscosité, le point éclair, la tenue aux basses et hautes températures. Les liens entre le développement économique et le développement des transports individuels et collectifs offrent des possibilités de croissance de marché significatives.

Deux types de biocarburants de première génération sont produits actuellement :

- Ceux compatibles avec le gazole et destinés aux moteurs diesel : le biodiesel constitué d'esters méthyliques ou éthyliques d'huiles végétales (EMHV / EEHV) obtenus par transestérification de l'huile (essentiellement huile de colza, tournesol, soja ou palme) avec du méthanol ou de l'éthanol et des huiles végétales hydrogénées (HVO) qui fournissent des hydrocarbures paraffiniques utilisables soit comme substitut des gazoles, soit comme substitut des Jet Fuels (kérosènes).
- Ceux compatibles avec l'essence. il s'agit de l'éthanol obtenu par fermentation et distillation de produits agricoles à forte teneur en sucre ou amidon (betteraves, canne, céréales) qui peut être incorporé dans les supercarburants sans plomb, directement ou sous forme d'ETBE (ethyl-tertio-butyl-éther).

Le développement de ces biocarburants de première génération est susceptible de provoquer un changement d'affectation des sols qui conduit à des émissions accrues de GES, dont l'ampleur reste incertaine et variable selon les filières et les lieux de production. Ils entrent également en concurrence avec l'usage des sols à des fins alimentaires. Les efforts de recherche sont orientés depuis plusieurs années vers le développement de **biocarburants dits avancés**, et notamment des biocarburants dits de deuxième et de troisième génération, dans le but d'éviter la concurrence alimentaire.

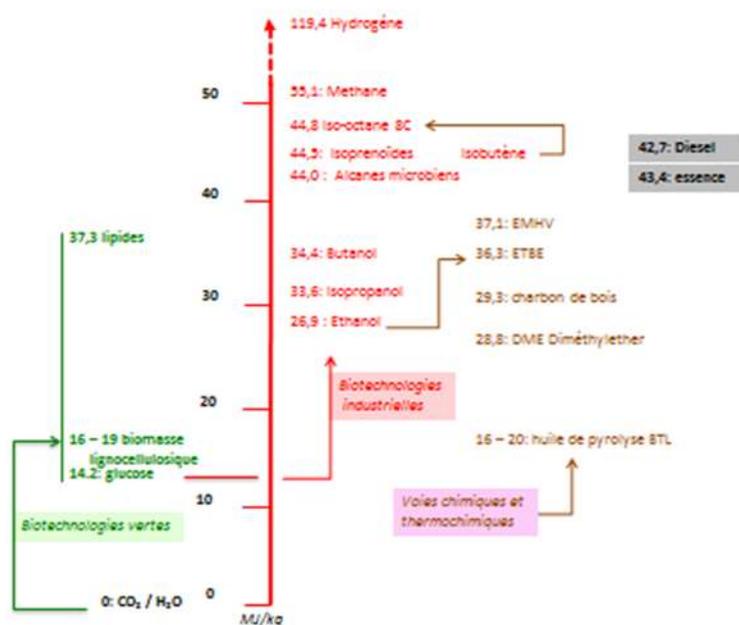
Les **biocarburants de 2<sup>ème</sup> génération**, fabriqués à partir de ressources ou de fractions lignocellulosiques, entrent peu ou pas en concurrence avec la production alimentaire (résidus agricoles et forestiers, cultures dédiées, déchets et coproduits organiques). Plusieurs filières sont possibles et font appel à des technologies thermochimiques ou biotechnologiques. Ces biocarburants de 2<sup>ème</sup> génération font l'objet d'une importante recherche et certaines technologies sont proches des premières applications industrielles (pilote/démonstrateur).

Les **biocarburants de 3<sup>ème</sup> génération** sont fabriqués à partir de microalgues ou de microorganismes. L'une des filières est la production de microalgues lipidiques (dont on s'efforce d'augmenter la teneur en lipides). Leur croissance peut être accélérée par l'intermédiaire de modes de cultures spécifiques mis en oeuvre en photobioréacteur (intrants, illumination, absorption de CO<sub>2</sub>). Cette technologie est encore émergente et trouve ses débouchés économiques dans des produits à haute valeur ajoutée comme les cosmétiques ou les additifs alimentaires, mais pas encore dans l'énergie car les modes de production n'ont pas montré leur viabilité économique et n'ont pas encore démontré un bilan énergétique favorable. Une autre filière en lien avec les micro-algues, mais également portant sur d'autres ressources, est la liquéfaction hydrothermale qui permet la production d'une biohuile combustible ou d'un carburant après hydrotraitement ou raffinage. L'intérêt de ce procédé est la possibilité de traiter directement des ressources humides (>50% d'humidité) sans séchage préalable.

Tous ces développements technologiques de traitement de la biomasse fondent le concept de **bioraffinerie**. Une bioraffinerie permet de **synthétiser à la fois biocarburants, molécules chimiques de base voire d'autres produits directement valorisables** à l'instar des raffineries de pétrole. Ces ensembles industriels valoriseraient l'intégralité de la bioressource en visant les usages à plus haute valeur ajoutée. Elles mettraient en oeuvre des procédés pour déconstruire la biomasse, pour fractionner ses composants (tige, grain, tubercule, etc.) en ses différents éléments constitutifs (fibres, lipides, amidons, sucres, protéines...). Ces derniers peuvent être ensuite fonctionnalisés par différents procédés mécaniques, physico-chimiques ou biologiques, afin d'obtenir des produits intermédiaires non alimentaires (chimie, énergie, matériaux) et alimentaires (alimentation humaine comme des huiles, animale comme des tourteaux). Ces produits sont ensuite directement utilisés ou formulés selon les besoins des industriels finaux (alimentaires, non alimentaires comme les matériaux, carburants, détergents, lubrifiants...). Les bioénergies sont à inscrire dans un système bioéconomique et non comme une filière autonome, à l'instar des autres énergies renouvelables.

Au-delà des solutions drop-in, la principale dynamique de recherche est l'obtention de molécules à fort contenu énergétique, au moins équivalent à celles de molécules d'origine fossile. Les innovations

technologiques apparaissent alors comme une recharge énergétique de l'atome de carbone, depuis le niveau CO<sub>2</sub>.



**Figure 4** : Pouvoirs calorifiques inférieurs des bioénergies, à comparer à celui de l'hydrogène (119,4 MJ/kg).

Une fois des schémas technologiques définis sur des bassins de production de biomasse, peut être posée la question de la **durabilité des bioénergies**.

La première interrogation est l'impact environnemental des bioénergies. L'origine biologique de la biomasse ne confère pas une garantie de durabilité aux bioénergies. C'est un sujet qui a suscité de fortes controverses d'ordre méthodologiques (Searchinger et al., 2008). Tout bilan GES doit prendre en compte les changements d'usage des sols directs (CAS) ou indirecte (CASI) en France et à l'étranger via les importations. Les zones équatoriales tropicales ont suscité de nombreux travaux (risques de déforestation, impacts sur la biodiversité et sur le bilan carbone des filières utilisatrices de biomasse) qui ont su consolider des données venant de différentes origines. Valin et al. (2015), Wicke et al. (2015) ont montré, à l'aide de simulations couplant des modèles économiques et des modèles biotechniques, que les biocarburants présentaient des impacts très contrastés selon les biomasses mobilisées et les technologies mises en œuvre.

La seconde interrogation concerne le potentiel de création d'emplois (en grand partie non délocalisables) et d'entreprises, notamment en milieu rural, au regard de son état actuel. La diversité des biomasses et des cultures donne à la recherche française un contexte particulier. Il s'agit pour la France de saisir cette opportunité en investissant dans la valorisation de cette ressource, sous-valorisée (en forêt, par exemple, 60% de l'accroissement annuel biologique net de la mortalité est prélevée).

Ces différentes problématiques mettent en évidence que des acteurs économiques sont présents à différents niveaux des filières de production. Le système de **gouvernance** de l'énergie demeure relativement centralisé pour les énergies majeures (électricité, pétrole, charbon, gaz). Pour les énergies renouvelables, des progrès concrets, en termes de moyens financiers et humains, doivent être mis en œuvre à des échelles locales afin de parvenir à une décentralisation effective et efficace sur les sujets énergétiques et environnementaux. Les territoires à énergie positive inventent un nouveau paysage

énergétique, en combinant les valeurs d'autonomie et de solidarités, et en utilisant l'énergie et l'environnement comme un levier de développement local. Un territoire à énergie positive vise l'objectif de réduire ses besoins d'énergie au maximum, par la sobriété et l'efficacité énergétiques, et de les couvrir par les énergies renouvelables locales ("100% renouvelables et plus"). Un territoire à énergie positive adopte une démarche répondant à de nombreux enjeux (économiques, sociaux, environnementaux et de gouvernance) de durabilité. Il intègre la question de l'énergie dans un engagement politique, stratégique et systémique en faveur du développement local. En découle le défi de proposer des structures pertinentes de filières pour mobiliser les ressources des territoires avec le comportement des agriculteurs, des propriétaires forestiers, des populations des territoires concernés, conduisant à des jeux d'acteurs complexes. Une part importante des surfaces boisées françaises est détenue par des propriétaires qui n'exploitent pas cette ressource, sans doute par méconnaissance mais aussi par absence de visibilité économique. Ceci peut passer par des schémas de contractualisation innovants, voire des nouvelles formes de modèles économiques, mais aussi des outils facilement utilisables (réalisés par des tiers de confiance ou ayant des labels authentifiant leur qualité) par les acteurs, notamment les propriétaires forestiers qui sont souvent en situation d'asymétrie d'information.

Aujourd'hui, le bilan des bioénergies est un verre à moitié plein ou à moitié vide selon la perspective dans laquelle on se place. Toutes les problématiques énergétiques se situent dans un contexte global de surabondance énergétique, et notamment électrique, de faibles coûts des énergies fossiles, et d'un très faible prix du carbone. Certes des progrès non négligeables ont ainsi été réalisés en de nombreux points, mais ne sont toutefois pas suffisants pour atteindre les objectifs européens. Le développement des investissements énergétiques se heurte à trois difficultés :

- L'instabilité législative.
- La mise en place de garanties qui permettent de différer la rentabilité de projets à moyen terme en raison des temps de croissance de la biomasse lignocellulosique.
- La non prise en compte du bénéfice qu'apportent les énergies renouvelables, en particulier l'absence d'un prix plancher du carbone.

La Commission européenne a entrepris d'entendre les avis de différentes parties prenantes sur la place des bioénergies au-delà de 2020.

Plusieurs ONG, WWF, ActionAid, BirdLife, CAN Europe, EEB, FERN, Greenpeace, OXFAM, Transport & Environment and Wetlands, se sont entendues sur quatre recommandations pour les bioénergies :

- Introduire une limite valeur d'usages des biomasses pour l'énergie pour garantir la durabilité des approvisionnements,
- Orienter les usages efficaces des biomasses en poussant dans une logique de cascade d'usage,
- Intégrer un compte carbone rigoureux pour la biomasse,
- Introduire de nouveaux critères de durabilité en particulier sur la biodiversité.

Ces recommandations sont à situer comparativement à celles qui devront évoluer pour les carburants fossiles. A ce jour les émissions CO<sub>2</sub> des carburants fossiles sont comptées avec une valeur unique alors que les nouvelles sources de carburants fossiles ont des valeurs bien différentes.

Ce paysage complexe induit le besoin d'enrichir la perception collective quant aux énergies renouvelables. Les efforts de recherche ne peuvent se projeter simplement par reproduction homothétique des poids économiques des solutions technologiques en place, mais plutôt par leurs espérances de leurs apports après des innovations technologiques et organisationnelles.

Ce CIAg permet de réunir les acteurs recherche et développement actifs dans les différentes dimensions de la durabilité des bioénergies.

### Références bibliographiques

Anastas P.T., Warner J.C., 1998. Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, New York.

Arends J.B.A., Verstraete W., 2012. 100 years of microbial electricity production: three concepts for the future. *Microb Biotechnol* 5(3):333-346.

EuroStat, [ec.europa.eu/eurostat](http://ec.europa.eu/eurostat)

FCBA, IGN et ADEME, 2016. Etude de la disponibilité en bois pour l'énergie et les matériaux en France, à l'horizon 2035.

Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.H., 2008. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* 319: 1238-1240.

Teglia C., Tremier A., Martel J.-L., 2011. Characterization of Solid Digestates: Part 1, Review of Existing Indicators to Assess Solid Digestates Agricultural Use. *Waste and Biomass valorization*, 2 :1, 43-58.

Teglia C., Tremier A., Martel J.-L., 2011. Characterization of Solid Digestates: Part 2, Assessment of the Quality and Suitability for Composting of Six Digested Products. *Waste and Biomass valorization*, 2 :2, 113-126.

Tripathi V., Sheikh A. Edrisi, O'Donovan A., Gupta V.K., Abhilash P.C., 2016. Bioremediation for Fueling the Biobased Economy. *Trends in Biotechnology*, Vol. 34, No. 10 : 775-776.

Valin H., Daan P., van den Berg M., Frank S., Havlik P., Forsell N., Hamelinck.C., 2015. with further contributions from: Pirker J., Mosnier A., Balkovic J., Schmid E., Dürauer M., di Fulvio F..The land use change impact of biofuels consumed in the EU. Quantification of area and greenhouse gas impacts. Cooperation of Ecofys, IIASA and E4tech. UE Project number: BIENL 13120

Wicke B., 2015. Model collaboration for the improved assessment of biomass supply, demand, and impacts. *GCB Bioenergy*, 7:3. 422 -43

Winters K., Parker P.L., Van Baalen C., 1969. Hydrocarbons of blue-green algae: Geochemical significance. *Science* 163, 467.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou son DOI)