

Biomasse : la matière première renouvelable de l'avenir

La biomasse est – et restera – la seule ressource alimentaire de l'humanité. Ce point-clé est essentiel pour comprendre les évolutions passées et à venir de cette matière première, notamment dans les domaines énergétique et chimique. Mais la biomasse est – et restera – aussi une ressource multi-usages dont il faudra accroître la production, développer les synergies entre usages différents et organiser la valorisation et les marchés.

Dmitri
SAVOSTIANOFF

Promo 63

d'après
Jean-François
ROUS*

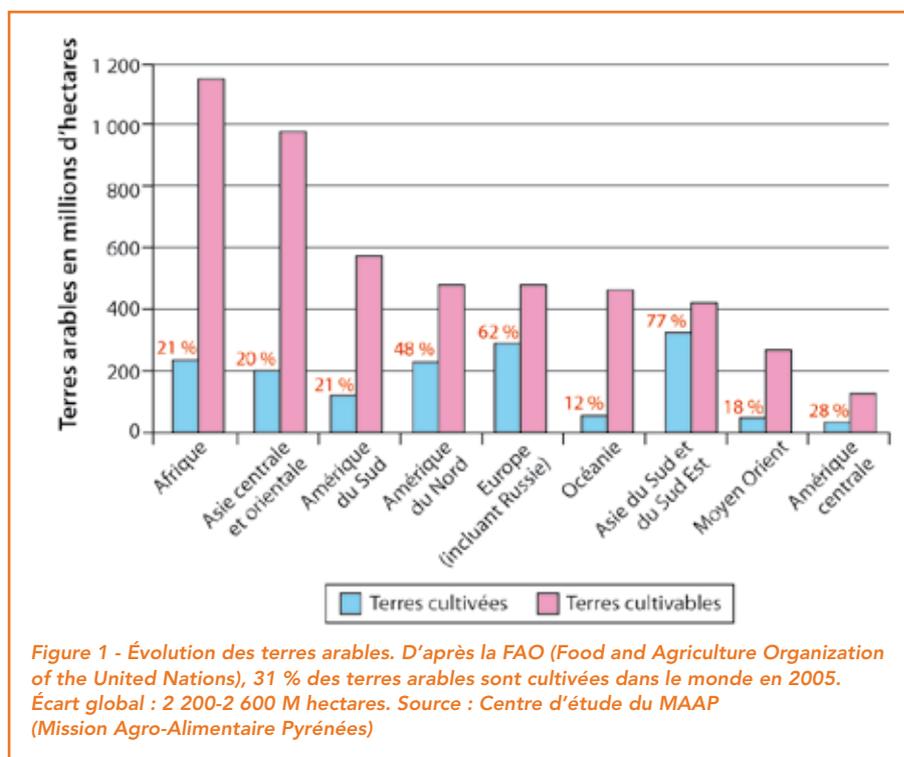
Sans examiner dans le détail l'histoire des grandes évolutions de l'énergie, il faut souligner que des ressources végétales ou animales comme les graisses et les huiles ont été utilisées depuis la préhistoire à autre chose que l'alimentation. On s'éclairait déjà avec de la graisse il y a 12 000 ans, et il est intéressant de constater que le premier moteur Diesel dans les années 1900 fonctionnait aux huiles végétales et non aux carburants fossiles. Faire des biocarburants à partir d'huiles n'est donc pas une invention récente.

Il faut aussi rappeler que jusqu'au début du 19^e siècle le mix énergétique utilisé par l'humanité était totalement à base de ressources renouvelables (hydraulique, vent, force musculaire, bois, déchets végétaux et animaux), sinon effectivement renouvelées (c'est le déboisement et la pénurie de bois qui en a résulté qui a conduit à l'exploitation du charbon).

En fait, le second biocarburant connu avant le pétrole était ... l'avoine : 5 millions d'ha étaient utilisés pour produire l'avoine nécessaire aux chevaux – qui la bio-transformaient en énergie mécanique – pour transporter hommes et marchandises.

Pour assurer la transition énergétique, il sera nécessaire de recourir à un mix énergétique, dans lequel la biomasse jouera un rôle croissant sans faillir, pour autant, à sa mission alimentaire principale.

En ce qui concerne les ressources énergétiques fossiles, il est évident qu'à plus ou moins long terme leur



épuisement et leur remplacement par des ressources énergétiques renouvelables sont inévitables.

L'autre élément à prendre en considération est, évidemment, l'accroissement de la population mondiale qui dépassera les 9 milliards d'individus en 2050. Nous devons trouver des solutions pour nourrir cette population qui croît beaucoup plus vite que les productions agricoles.

On peut, en revanche, être plus optimiste en ce qui concerne le potentiel en terres cultivables. On constate sur la *figure 1* qu'en 2005, seulement 31 % des terres arables étaient cultivées dans le monde. Force est de constater que l'on est encore loin d'exploiter

toutes les surfaces agricoles potentielles. Ce potentiel est cependant très inégalement réparti. Il est beaucoup plus faible dans les zones très peuplées d'Europe et d'Asie du Sud-Est alors qu'en Afrique, en Asie centrale et orientale ou en Amérique du Sud, qui sont des zones à plus faibles densités de population, il reste encore d'importantes marges de progrès.

Comment augmenter les ressources végétales ?

Le premier facteur sur lequel on peut agir est l'**optimisation de l'occupation des sols**. Actuellement, les cultures

(Figure 2) n'occupent que 1 513 millions d'ha, la majorité des terres arables étant occupées par la forêt et les pâturages. En préservant les surfaces forestières, on dispose encore d'un potentiel considérable en pâturages (3 340 millions d'ha) sur lequel on pourrait prélever d'ici 2050, 500 millions d'ha qui seraient transformés en cultures, mais en intégrant un mode de gestion minimisant les émissions de gaz à effet de serre.

Un autre facteur important sur lequel il est possible d'agir est **l'accroissement des rendements**. La figure 3 montre l'évolution mondiale des rendements pour différentes cultures sur les 45 dernières années. Caractéristique en Europe, la betterave n'est pas citée dans cette figure. Elle a pourtant connu une croissance extraordinaire sur les 15-20 dernières années avec un accroissement de 400 % de la production, une multiplication par 4 des rendements, tout en divisant par 4 l'utilisation d'intrants. Aujourd'hui, la betterave produit plus de sucre à l'ha que la canne qui permet pourtant deux récoltes annuelles et garde le leadership de la production mondiale. Ce qui montre que les solutions tendant vers la transition énergétique globale doivent aussi tenir compte des logiques et stratégies locales. On observe depuis quelques années une stagnation des rendements des productions végétales au niveau mondial, probablement en raison d'aléas climatiques locaux. L'accroissement des rendements est un des grands enjeux pour les semenciers, la R&D agricole, les producteurs et les organismes agricoles.

La sélection variétale, la mise en place de nouvelles techniques agronomiques, l'adaptation au changement climatique nécessiteront des efforts considérables dans les prochaines années.

Autre enjeu stratégique : **la réduction des pertes**. L'agriculture produit 4 600 kilocalories par être humain et par jour sur la planète. Mais dès la récolte, des pertes interviennent au niveau de la collecte, du transport et du stockage, qui contribuent à réduire cette disponibilité de 600 kilocalories. La production de protéines animales consomme environ 1 700 kilocalories sous forme d'aliments végétaux et restitue pour l'alimentation humaine

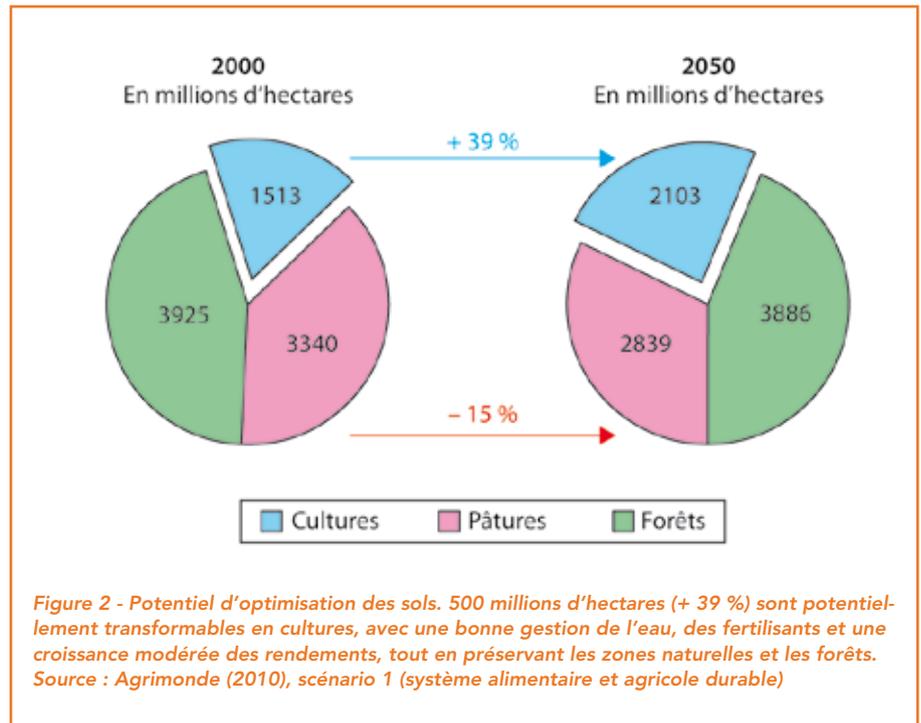


Figure 2 - Potentiel d'optimisation des sols. 500 millions d'hectares (+ 39 %) sont potentiellement transformables en cultures, avec une bonne gestion de l'eau, des fertilisants et une croissance modérée des rendements, tout en préservant les zones naturelles et les forêts. Source : Agrimonde (2010), scénario 1 (système alimentaire et agricole durable)

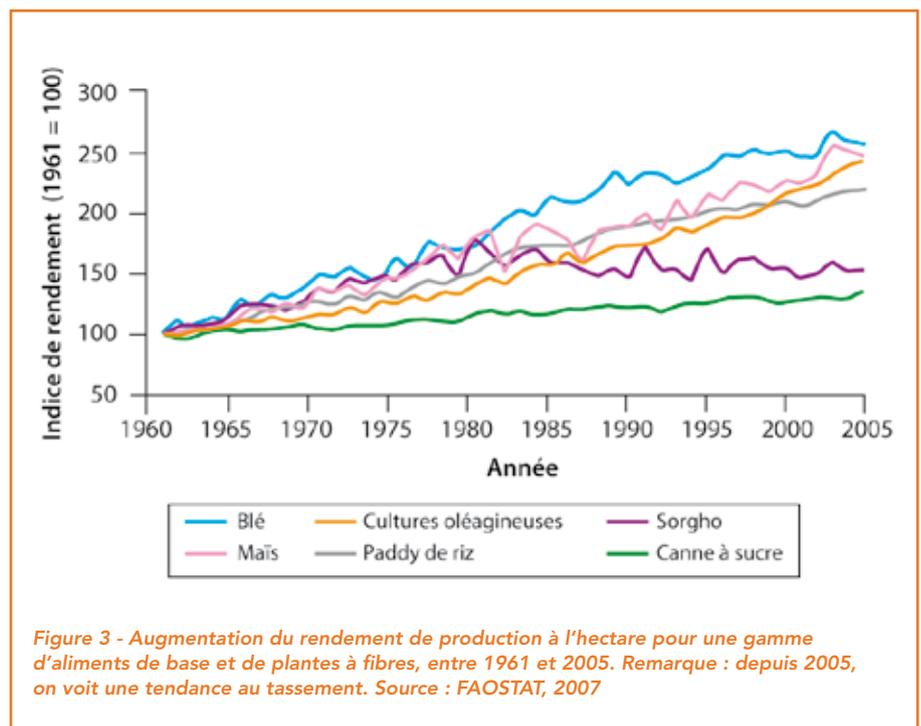


Figure 3 - Augmentation du rendement de production à l'hectare pour une gamme d'aliments de base et de plantes à fibres, entre 1961 et 2005. Remarque : depuis 2005, on voit une tendance au tassement. Source : FAOSTAT, 2007

de l'ordre de 500 kilocalories. Dans les pays développés s'ajoute une perte supplémentaire liée à la distribution et aux habitudes de consommation. Le résultat net est qu'il reste 2 000 kilocalories disponibles sur les 4 600 produites au départ. On dispose donc d'un potentiel d'économies considérable : en récupérant 1 500 kilocalories sur les 2 600 perdues, un grand pas serait fait vers l'amélioration de notre capacité à nourrir la planète.

Les grands usages de la biomasse

Priorité à l'alimentation. Le premier usage de la biomasse est évidemment l'alimentation ; la biomasse – et l'agriculture en particulier – sert avant tout à nourrir les hommes. Plusieurs scénarios prospectifs sont proposés par les grands organismes pour prévoir les besoins alimentaires du monde en 2050 et en déduire les surfaces à cultiver.

Le premier, celui de la FAO (*Food and Agriculture Organization*) des Nations Unies, estime que 90 % des besoins alimentaires seront satisfaits par l'accroissement des rendements. Cela semble difficile, car nous avons vu que l'on observe une tendance à la stagnation des rendements dans les grandes cultures. Les 10 % restants seraient couverts par l'augmentation des surfaces cultivées ; chiffre réaliste qui ne représente que 70 millions d'ha, à comparer aux 500 millions d'ha de pâturages qui pourraient basculer vers la culture.

Le deuxième scénario est proposé par Agrimonde 2050, organisme de prospective mis en place par l'Institut national de la recherche agronomique (INRA). Il semble plus réaliste en termes de faisabilité, puisqu'il inclut la préservation des zones naturelles forestières et considère un faible accroissement des rendements. Dans ces conditions, l'augmentation des surfaces à cultiver pour satisfaire les besoins alimentaires en 2050 s'élèverait à 336 millions d'ha. Cet objectif est théoriquement possible à atteindre, compte tenu des 500 millions d'ha potentiellement mobilisables. (figure 4)

L'autre enjeu pour la biomasse concerne son **rôle dans la transition énergétique**. Le débat sur la réparti-

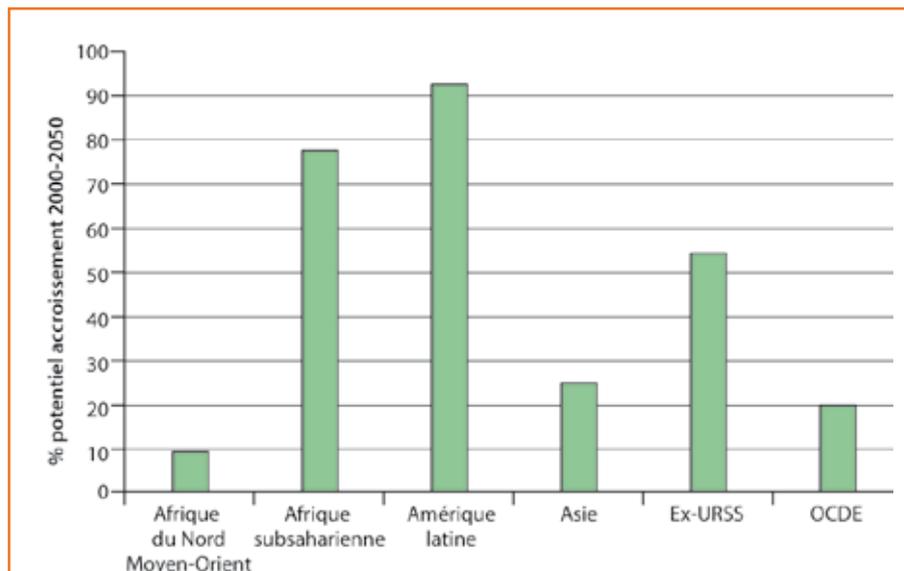


Figure 4 - Potentiel d'accroissement entre 2000 et 2050. Cultures : + 39 % = 500 millions d'hectares ; pâtures : - 15 % ; forêts : - 1 %.

tion en 2050 des différentes ressources énergétiques laisse place à de nombreuses hypothèses. Néanmoins, il est admis que l'on va vers une diminution de la disponibilité des énergies fossiles, une réduction ou une stagnation de la production d'énergie nucléaire, un développement des ressources en énergies renouvelables, dont la biomasse qui contribuera à couvrir partiellement la demande en électricité, chaleur et carburants.

Dans le cadre des études de l'IEA (International Energy Agency), un rapport prospectif sur l'évolution des biocarburants à l'horizon 2050 a été réalisé, dont les résultats sont résumés sur la figure 5. Ce scénario prévoit un accroissement des productions de biodiesel et bioéthanol issus de ressources ligno-cellulosiques et la disparition du biodiesel ex-huiles végétales et bioéthanol ex-betterave, blé ou maïs de première génération.

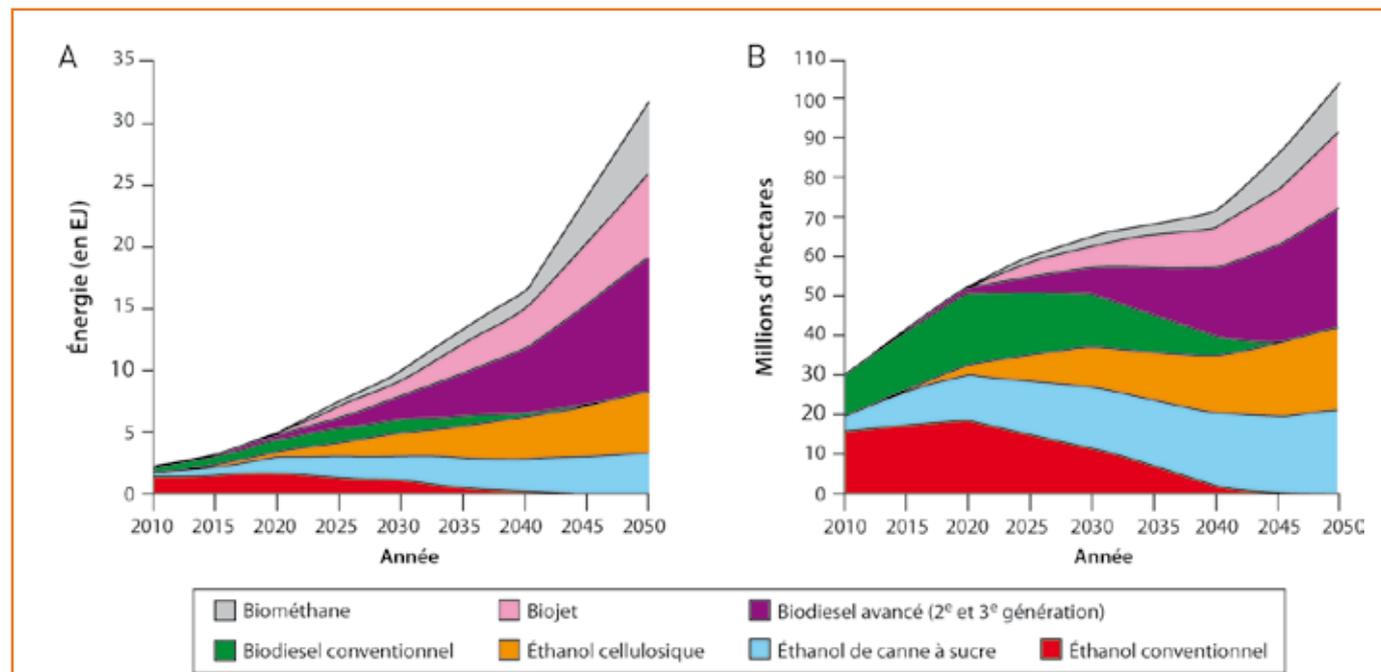


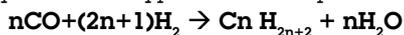
Figure 5 - Besoins en biocarburants (A) et en terres (B). Besoins de surface pour les biocarburants en 2050 : 58 millions d'ha selon la FAO, 100 millions d'ha selon l'IAE 2008, 224 millions d'ha selon Agrimonde. Source : IEA analysis based on IEA, 2010

Dans cette perspective, le bioéthanol ex-canne à sucre poursuivrait son développement.

Actuellement, les biocarburants avancés, bio-jet et bio-méthane, encore marginaux ou inexistants, sont au stade d'hypothèses. L'avenir de ces biocarburants s'affirme comme un véritable défi qui exigera un mix de solutions en fonction des usages, associé à un mix de ressources locales de biomasse en qualité et quantité. A titre d'exemple, pour les futurs biodiesels, la voie de recherche prépondérante est la voie thermo-chimique dite BTL (*biomass to liquids*), avec des enjeux considérables de R&D pour les chimistes.

La biomasse : un vaste chantier pour la chimie

Une stratégie consiste à scinder les molécules issues de la nature en monoxyde de carbone et hydrogène, et de les recombinaison pour former des hydrocarbures par une réaction de synthèse de type Fischer-Tropsch :



Ce procédé est ancien puisqu'il a été développé en 1918 pour valoriser le charbon sous forme de carburants liquides.

Il utilise des catalyseurs (par exemple à base de fer, cobalt, ruthénium, etc.), mais nécessite encore beaucoup de R&D coûteuse pour être réellement opérationnel avec différents types de biomasse. On dénombre aujourd'hui dans le monde sur ce sujet davantage de projets qui s'arrêtent que de projets qui démarrent !

D'autre part, la question se pose aussi de savoir s'il faut vraiment déconstruire la biomasse dans sa totalité, pour la reconstruire en totalité. La biomasse est en effet riche de multiples composants pouvant être extraits, purifiés et valorisés comme matières premières dans de nombreuses réactions chimiques. Quelles sont, à cet égard, les combinaisons les plus prometteuses ?

Les perspectives du secteur agro-industriel

Elles impliquent **une connaissance détaillée des ressources**. Il faut parler de « biomasses », en raison de la diversité des ressources et des caractéristiques de « la » biomasse.

Les biomasses agricoles et forestières

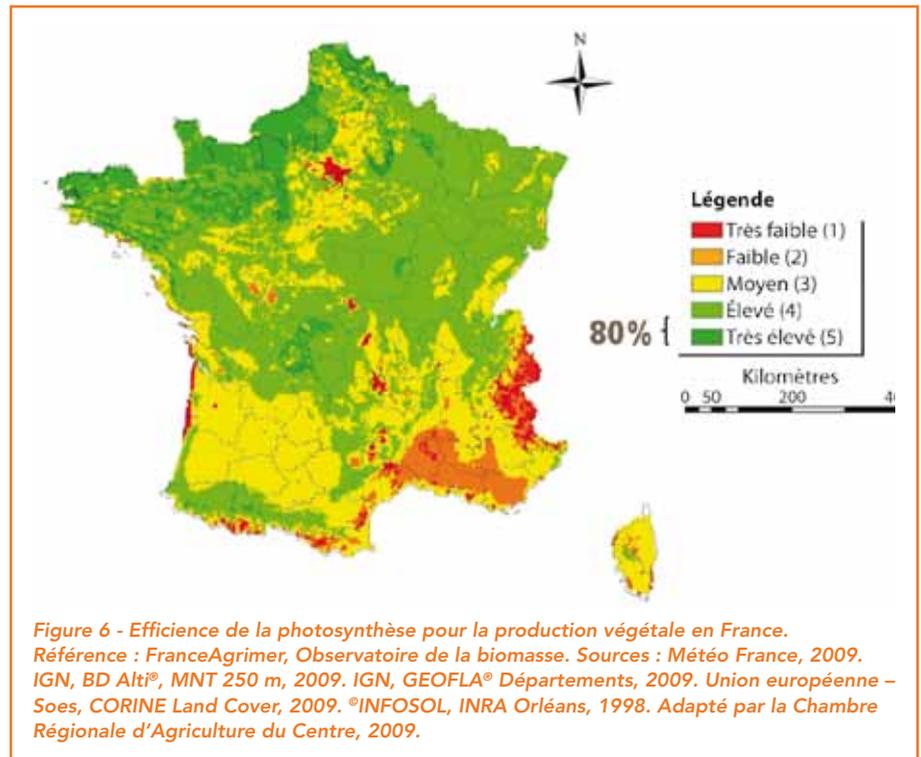


Figure 6 - Efficacité de la photosynthèse pour la production végétale en France.

Référence : FranceAgrimer, Observatoire de la biomasse. Sources : Météo France, 2009. IGN, BD Alt®, MNT 250 m, 2009. IGN, GEOFLA® Départements, 2009. Union européenne – Soes, CORINE Land Cover, 2009. ©INFOSOL, INRA Orléans, 1998. Adapté par la Chambre Régionale d'Agriculture du Centre, 2009.

multiples et variées (plantes entières, graines, résidus de graines, pailles, plaquettes forestières, branches, troncs...), les biomasses ligno-cellulosiques, les biomasses constituées de déchets fermentescibles d'ordures ménagères... constituent un ensemble disparate très complexe, au niveau national, et encore plus au niveau international.

On attend des acteurs du secteur industriel une connaissance approfondie de ces biomasses, de leurs potentiels, de leurs disponibilités en quantité et qualité, mais aussi l'acquisition de savoir-faire dans la collecte, le stockage, la distribution et le développement de ces procédés.

Pour bâtir des stratégies, il revient aux organismes de R&D d'analyser les potentialités de développement des ressources.

La *figure 6* montre l'efficacité de la photosynthèse pour la production végétale agricole et forestière sur le territoire national. Les zones vertes représentent des conditions climatiques optimales de croissance. Une stratégie pourrait consister à reconsidérer les productions et l'occupation des sols dans ces régions pour s'orienter vers des cultures plus productives en biomasse.

Le secteur agro-industriel doit aussi **développer des procédés efficaces** pour permettre l'accès aux molécules

intermédiaires ou aux molécules-briques de base (building-blocks), qui seront ensuite utilisées par les acteurs de la chimie comme matière première pour les procédés chimiques existants.

Concernant les nouveaux processus de transformation à développer, deux grandes familles se distinguent : la voie de la thermo-chimie et la voie de la biotechnologie/chimie (*figure 7*). Le domaine des biotechnologies est en plein essor et la biotechnologie industrielle est en phase de progression constante depuis une vingtaine d'années, avec des perspectives de développement très prometteuses.

De nombreuses connaissances restent à acquérir à l'interface entre la biomasse, la production de la biomasse et sa bioconversion ou sa biotransformation en molécules valorisables.

L'une des stratégies mise en œuvre vise à cibler le besoin en termes de molécules, afin de rechercher le type de « bioconvertisseur » et la nature de la biomasse à utiliser pour faciliter cette bioconversion.

Cette approche nécessite des échanges réels et soutenus entre biochimistes et chimistes, mais aussi en amont, avec les spécialistes de la sélection variétale, de la physiologie végétale, les agronomes et les biologistes.

Le développement des procédés dans ce domaine est en phase de

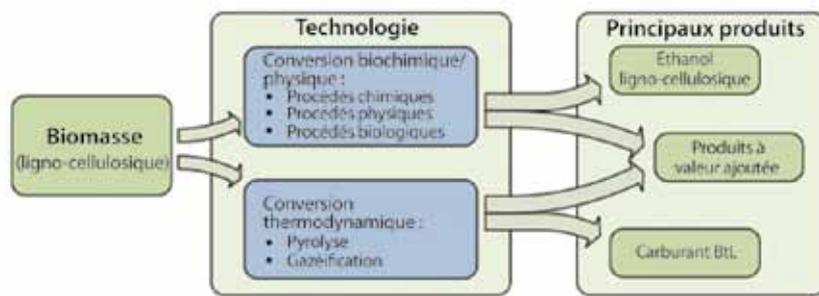


Figure 7 - Les deux grandes familles de procédés à développer. Produire en quantité et en qualité la plante la plus adaptée, en jouant sur la sélection variétale, les meilleures conditions agropédoclimatiques tout en permettant de limiter les opérations de conversion (écoprocédés simplifiés) et en étant compétitif sur les marchés.

peut être amené à faire. Le *tableau 1* donne les chiffres pour la France, l'Union européenne et le monde, des surfaces utilisées pour la culture des oléagineux, ainsi que ceux de l'évolution comparée sur les dix dernières années des surfaces consacrées à la production d'huile et de tourteaux pour l'alimentation animale.

L'Europe est actuellement très dépendante de l'importation des protéines à usage alimentaire animal, qui représentent 75 % de ses consommations, essentiellement sous forme de tourteaux de soja. Ils proviennent majoritairement des États-Unis et de l'Amérique du Sud, qui s'y substitue de plus en plus. L'engagement européen est de développer la production européenne de protéines. La France a pris la décision de s'organiser au niveau national, en développant la production du colza contenant à la fois de l'huile (environ 45 % dans la graine) et des protéines (environ 25 % dans la graine et 40 % dans le tourteau), autrefois utilisées pour la nourriture des porcs. La valorisation de l'huile était économiquement indispensable pour parvenir à des équilibres financiers. Après les travaux de mise au point de biocarburant en collaboration avec l'Institut Français du Pétrole (IFP), le groupe Sofiprotéol a pris la décision, dès 1992, d'installer la première unité industrielle de production de biodiesel au monde produisant sur le site de Compiègne 20 000 t/an d'ester d'huile végétale à partir du colza. Aujourd'hui, le Groupe produit annuellement deux millions de tonnes de diester et environ 2,6-2,7 millions de tonnes de protéines, qui se substituent aux importations.

La France fait figure de cas à part au niveau européen car sa dépendance a été réduite de façon drastique (passage de 75 % à moins de 50 %). Les partenaires européens sont toujours fortement importateurs de protéines de soja, partiellement OGM. Cet exemple illustre l'intérêt de développer le multi-usage et le multi-marché : le développement d'un produit tel que le biocarburant a permis de conforter la disponibilité en protéines, qui était la production ciblée initialement. À cette époque, l'huile de colza était impropre à la consommation humaine en raison de la présence dans sa composition d'acide érucique et de facteurs anti-nutritionnels.

démarrage et il existe en exploitation uniquement deux ou trois unités industrielles de bioconversion dans le monde. Les bioproductions « chimiques » se chiffrent à quelques dizaines ou à quelques centaines de milliers de tonnes, comparées aux millions de tonnes produites par l'industrie chimique. Il reste de grands progrès à accomplir avant de disposer d'outils optimisés en biotechnologie industrielle. L'objectif suivant consistera à élaborer différents produits à partir de la ligno-cellulose et des biocarburants.

Fournir les molécules de base pour la chimie. Le fractionnement des biomasses mettra à disposition des produits intermédiaires tels que des amidons, des celluloses, des hémicelluloses, des lignines, des sucres simples, des huiles (acides gras), des protéines (acides aminés), des composés mineurs...

Les premières transformations conduiront aux building blocks, ces molécules qui vont homogénéiser et standardiser cet ensemble et serviront de briques de base à l'industrie chimique pour permettre la préparation de produits déjà utilisés.

On rêverait de synthétiser de nouvelles molécules, mais cette option exigerait de créer de nouveaux outils de transformation en aval. Dans le cas de la conception de biopolymères très novateurs par exemple, cette démarche impliquerait de changer toutes les unités de polymérisation actuelles, ce qui est évidemment non envisageable sur le plan économique. La démarche adoptée consiste à obtenir des monomères semblables à ceux issus du pétrole et

exploitables dans les unités de production actuelles.

L'enjeu économique est considérable et la connaissance se limite aujourd'hui à une partie infime (quelques pour cents) de ce qui pourrait être conçu comme briques de base.

L'aventure de la chimie du végétal ne fait que commencer !

Concilier usages alimentaires et industriels. Comme mentionné précédemment, une optimisation dans la gestion de l'occupation des sols est susceptible de mieux concilier les productions de biomasses à usages alimentaires et industriels.

Au niveau national, le potentiel biologique total est de 140 millions de t/an, soit un équivalent énergétique de 47 millions de t équivalent pétrole (tep). Ce potentiel est significatif si on le compare à nos consommations énergétiques actuelles :

- 135 millions tep/an d'énergies fossiles ;
- 112 millions tep/an d'électricité ;
- 17 millions tep/an d'énergies renouvelables.

Il est raisonnable d'envisager de consacrer un certain pourcentage de l'usage de la biomasse nationale à des applications chimiques et énergétiques, tout en sachant que l'essentiel concerne les besoins pour l'usage alimentaire.

L'utilisation multi-usage des oléagineux

Un exemple de l'utilisation multi-usage de la biomasse est illustré par la filière de valorisation des productions oléagineuses, assez représentative de ce que le secteur agro-industriel

Les semenciers ont sélectionné des plantes plus adaptées à des usages alimentaires et, selon les derniers rapports de fin 2010, cette huile est remarquable par sa valeur nutritionnelle.

Le cheminement de la production des protéines, du biodiesel, est parvenu à créer une nouvelle variété de colza qui est aujourd'hui une matière alimentaire de grande qualité ! Cet exemple souligne les possibilités de créativité entre les sciences et l'économie.

Malgré des qualités nutritionnelles reconnues, la consommation alimentaire d'huile de colza atteint aujourd'hui 100 000 tonnes en France, pour une consommation totale de 600 000 tonnes (huiles de tournesol, olive...). Cette situation ouvre le champ de nouvelles valorisations de l'huile de colza, en particulier dans le domaine de l'oléochimie.

Quelques exemples de biomasses mobilisables

L'eucalyptus au Brésil, l'acacia dans le Sud-Est asiatique sont maintenant des espèces extensivement exploitées. La culture de canne à sucre, bien connue pour ses divers usages, fournit des résidus végétaux (feuilles et panicules), non encore utilisés. Le potentiel de ressources est considérable.

Actuellement, on produit 620 millions de tonnes de sucre, et la « bagasse » représente un « réservoir » de 155 millions

de tonnes, dont 34 millions de tonnes de feuilles et panicules.

L'huile de palme est extraite des fruits du palmier, dont la production mondiale est de 155 millions de tonnes. La Malaisie et l'Indonésie en sont les producteurs les plus importants.

Lorsque le palmier est en phase de croissance, les feuilles sont élaguées (que l'on appelle les fonds) et, à l'issue de l'exploitation, les troncs sont considérés comme résidus de culture (coupes tous les 25-26 ans). Cette ressource représente 60 millions de tonnes de biomasse ligno-cellulosique par an, uniquement pour ces deux pays, et elle est peu valorisée aujourd'hui. À cela s'ajoutent 32 millions de tonnes de résidus d'exploitation constitués par la matière cellulosique, après récupération de l'huile.

Optimisation de l'exploitation de la biomasse : les verrous pour l'avenir

La diversité des sources de biomasse existantes, la diversité des espèces, les larges étendues des bassins de production, la difficulté d'organisation des collectes ont été évoquées.

Par ailleurs, l'émergence de filières va nécessiter l'adaptation d'un machinisme agricole et forestier, des équipements de stockage et de manutention, voire de moyens de transport.

Des équipes aux USA travaillent par exemple sur des méthodes permettant

de récupérer en même temps les grains de maïs, les rafles, les tiges, les feuilles, en un seul passage. Des travaux de R&D sont menés activement pour optimiser la production conjuguant hauts rendements, durabilité et écologie.

Il s'agit d'améliorer les niveaux de production de la biomasse, d'accroître les qualités variétales, d'optimiser les itinéraires techniques dans le sens des économies financière, énergétique, de consommation de fertilisants et produits phytosanitaires et d'améliorer les bilans environnementaux.

Il convient notamment de réfléchir à la manière de gérer très efficacement les intrants – principalement les engrais azotés – qui sont à la source d'émission de protoxyde d'azote (N₂O), gaz à effet de serre puissant, comparable à celui du méthane. Il y a lieu de développer également les outils de modélisation : économie et inter-modalité, éco-calculateurs, critères d'implantation d'unités, gestion des ressources (eau, intrants...).

Dans l'économie de ces filières, la part des dépenses logistiques est très conséquente et mérite un intérêt tout particulier. La densification des matières (technologie de compactage), le stockage et la conservation des matières premières, les équipements de collecte, les moyens de transport (routier, ferroviaire, fluvial), la standardisation des produits pour une offre industrielle sont autant de voies à explorer dans une approche intégrée.

Source : Oil World. Unité : Mn ha, MnT 2001/02.

		2001/02			2011/12		
		Surface	prod. huile	prod. tourteau	Surface	prod. huile	prod. tourteau
Colza	France	1,08	0,59	0,75	1,56	1,75	2,28
	UE-27	4,09	4,32	5,93	6,72	8,94	12,07
	Monde	23,87	13,46	20,27	33,16	23,64	33,68
Tournesol	France	0,71	0,47	0,6	0,74	0,69	0,85
	UE-27	3,48	2,03	2,61	4,21	2,9	3,64
	Monde	18,44	7,45	8,64	25,65	14,63	16,24
Soja	UE-27	0,45	3,27	14,04	0,43	2,11	8,99
	Monde	79,72	29,44	127,04	103,37	41,27	177,48
Palme	Monde	7,19*	25,07		13,31**	51,49	

*2000-01, **2010-11

Tableau 1 - Surfaces d'oléagineux, production d'huile et de tourteau : évolution 2001-2011.

Le développement de la chimie du végétal

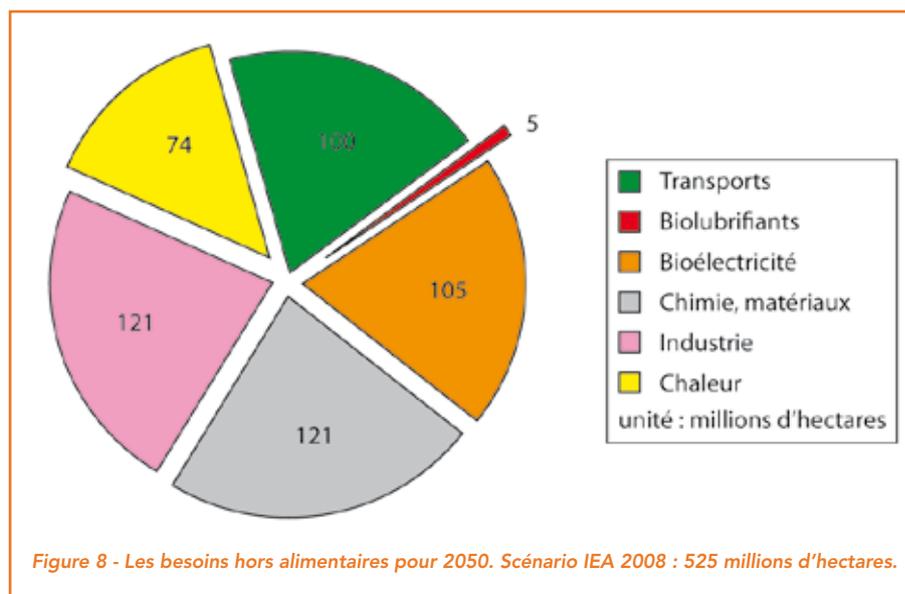
La chimie du végétal a été largement décrite dans *Chimie et nature* (Chapitres de P. Monsan et C. Rupp-Dahlem. Coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, 2012).

L'une des difficultés à résoudre est l'optimisation des procédés en vue de produire des molécules à des prix compétitifs par rapport à ceux obtenus à partir des matières premières fossiles. L'industrie chimique traditionnelle a mis plus de cinquante ans à se mettre en place ; la chimie du végétal est récente, elle progresse, avec des enjeux décisifs en termes de R&D.

Biomasse et enjeux énergétiques

Afin d'assurer la transition énergétique dans le mix énergétique mondial, il faudra consacrer de l'ordre de 500 millions d'ha à la production de biomasse.

L'utilisation prévisionnelle vers les secteurs de l'énergie et des matériaux est présentée sur la *figure 8*. L'accroissement des terres cultivées (*figure 1*) concernera principalement des zones géographiques telles que



l'Afrique sub-saharienne, l'Amérique latine, mais aussi l'ex-URSS. Cette évolution des terres cultivées sur la planète va évidemment entraîner des changements importants dans les flux d'échanges commerciaux. Il est important de noter que le coût de la matière première n'a pas été pris en compte. Il sera évidemment anti-économique d'importer de la biomasse en provenance d'Australie pour fournir de l'énergie en France ! Un autre point à noter est que la Chine

et l'Inde sont les seuls pays où la biomasse apparaît déficitaire. La consommation d'huile est en train d'exploser en Chine, et d'une façon générale ce pays attire toutes les matières agricoles de la planète. Pour faire face à ce déficit, les Chinois ont pour stratégie d'acquérir des terres en Afrique. ■

* d'après Jean-François ROUS, directeur de l'Innovation du groupe Sofiprotéol.

NOTA : Ce texte est un résumé de l'exposé de Jean-François Rous au colloque du 14 novembre 2012, « Chimie et enjeux énergétiques » organisé par la Fondation de la Maison de la Chimie.

Avec l'aimable autorisation de l'auteur, de EDP sciences et de l'Actualité chimique.