

AGRICULTURE ET ÉNERGIE : COMMENT CHOISIR ?

par Monsieur Pierre-Henri Texier

Ingénieur général honoraire des Ponts, des Eaux et des Forêts,

Vice-Secrétaire de l'Académie d'Agriculture de France

Sommaire

INTRODUCTION

1. QUANTIFIER LA BIOMASSE RÉCOLTÉE

- 1.1. PLANTES ET ÉNERGIE
- 1.2. L'ÉNERGIE PRIMAIRE
- 1.3. L'UNITÉ DE MESURE DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE ISSUE DES PLANTES
- 1.4. ÉVALUATION DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE RÉCOLTÉE
- 1.5. RÉPARTITION MONDIALE DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE RÉCOLTÉE

2. ÉVALUATION DE L'ÉNERGIE FINALE OBTENUE

- 2.1. LES UTILISATIONS DE L'ÉNERGIE PRIMAIRE
- 2.2. LES ÉNERGIES FINALES
- 2.3. LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE DE L'AGRICULTURE

3. LES DIFFÉRENTES CONTRAINTES

- 3.1. PROBLÉMATIQUE DE LA HIÉRARCHIE DES USAGES
- 3.2. LES CONTRAINTES TERRITORIALES
 - 3.2.1. La répartition mondiale de l'énergie primaire récoltée
 - 3.2.2. Évolution de l'affectation des terres
 - 3.2.3. Le changement d'affectation des sols indirect (CASI / ILUC)
- 3.3. LES CONTRAINTES ÉCOLOGIQUES
 - 3.3.1. Aspects historiques
 - 3.3.2. La fertilité des sols
- 3.4. LES CONTRAINTES ÉCONOMIQUES
 - 3.4.1. Compétition entre pétrole et matière première agricole
 - 3.4.2. La volatilité des prix
 - 3.4.3. La gestion des filières agro-alimentaires

4. CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

Liste des tableaux

TABLEAU 1

PRODUCTIONS D'ÉNERGIE PRIMAIRE À L'ÉCHELON MONDIAL

TABLEAU 2

ÉVOLUTION DES RENDEMENTS ÉNERGÉTIQUES PAR GRANDES RÉGIONS DU MONDE ENTRE 1961 ET 2000

TABLEAU 3

PROSPECTIVE DES RENDEMENTS ÉNERGÉTIQUES PAR GRANDES RÉGIONS DU MONDE EN 2050

TABLEAU 4

ÉVOLUTION DU PRIX DU GAZOLE HORS TAXES EN FRANCE, CONVERTI EN DOLLARS

TABLEAU 5

CRISES ALIMENTAIRES DE 2008 ET 2011 : ÉVOLUTIONS DES PRIX ET DES STOCKS DE BLÉ, MAÏS, RIZ ET SUCRE

Liste des graphiques et des figures

GRAPHIQUE 1

ENSEMBLE DES ÉNERGIES PRIMAIRES CONSOMMÉES

GRAPHIQUE 2

PRODUCTION MONDIALE D'ÉNERGIE PRIMAIRE SELON L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE

GRAPHIQUE 3

PRODUCTION MONDIALE D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN INTÉGRANT L'ENSEMBLE DE L'ÉNERGIE VÉGÉTALE

GRAPHIQUE 4

UTILISATIONS FINALES MONDIALES DE L'ÉNERGIE ISSUE DE LA BIOMASSE

GRAPHIQUE 5

ÉNERGIES PRIMAIRES UTILISÉES POUR LA PRODUCTION VÉGÉTALE MONDIALE

GRAPHIQUE 6

ÉVOLUTION ANNUELLE DES COURS DU GAZOLE ET DES HUILES ENTRE 2000 ET 2013

FIGURE 1

FLUX PHYSIQUES ISSUS DE LA BIOMASSE RÉCOLTÉE

FIGURE 2

RESSOURCES ET USAGES AU PLAN MONDIAL : OÙ VA LA BIOMASSE RÉCOLTÉE ?

INTRODUCTION

Suite au développement démographique mondial, à la rémanence des famines, à la montée de l'écologie, aux vicissitudes des marchés et des politiques agricoles sont apparus, depuis quelques années, de nouveaux questionnements sur l'avenir de l'agriculture. Parallèlement, de nouvelles peurs se sont manifestées : peur de ne plus pouvoir nourrir les populations à venir, peur de la trop grande consommation de viandes (en particulier bovine), peurs sanitaires et alimentaires suite, par exemple, à la crise de la vache folle, peur de manquer de sols cultivables, peurs sur l'utilisation des produits chimiques de traitement, des engrais, des organismes génétiquement modifiés, etc.

Alors que, jusque-là, la seule préoccupation était de produire davantage, ces événements ont contribué à un brusque changement de paradigme quant à l'appréciation du rôle de l'agriculture dans l'économie mondiale. En plus de la nécessité de nourrir les hommes et les animaux, s'est faite jour l'urgence de conserver « l'agro-système Terre » pour le transmettre, en bon état, aux générations futures. Les concepts d'agro-écologie ont été introduits et de nouveaux adjectifs associés au terme agriculture, comme durable, raisonnée, biologique ou écologiquement intensive. Mais cela n'est pas suffisant. Pour répondre aux nouveaux questionnements, nous devons revoir notre approche globale des productions végétales existantes, ainsi que leurs utilisations. Dans ce contexte, le but de cet article est de déterminer une démarche permettant de quantifier les différentes productions végétales récoltées et les besoins qu'elles doivent satisfaire. Cette quantification doit permettre de comparer les filières alimentaires et non-alimentaires et de mettre en évidence les concurrences avec les énergies fossiles. De ce fait :

- ◆ Nous commencerons par définir l'unité unique permettant la comparaison entre biomasse récoltée et produits finaux consommés
- ◆ Ensuite, nous présenterons les différentes contraintes, aux niveaux économique et écologique, auxquelles sont soumis les différents stades d'utilisation de la biomasse.
- ◆ Cela nous permettra de dégager les choix et les orientations à prendre en compte pour nourrir l'ensemble des habitants de la planète, sans dégrader notre environnement.

1. QUANTIFIER LA BIOMASSE RÉCOLTÉE

1.1. Plantes et énergie

Contrairement à ce que certains laissent supposer, la Terre ne doit pas être considérée comme un système fermé. Notre planète reçoit à chaque instant une grande quantité d'énergie solaire (20 W / m²). La biomasse en utilise environ le vingtième dans le processus de photosynthèse : le dessus des feuilles des plantes capte l'énergie des photons de la lumière solaire, alors que le dessous capte le gaz carbonique de l'air et que les racines absorbent l'eau de la terre. Les feuilles fabriquent ainsi du glucose et renvoient de l'oxygène dans l'air. Autrement dit : plante + gaz carbonique + eau + sels minéraux → chlorophylle + chloroplastes qui, sous l'action de la lumière, → énergie chimique ¹. La photosynthèse permet l'entrée d'énergie dans le système Terre : c'est un convertisseur de l'énergie solaire en énergie chimique.

La matière végétale est considérée comme « noble » car facile à transformer en une autre énergie. Sa principale destination est d'être métabolisée par les hommes afin de leur donner la force de se mouvoir et d'effectuer un travail : le mot « énergie » vient d'ailleurs du grec « *energeia* » qui signifie « force en action ».

La biomasse entre ainsi, à part entière, dans la définition du mot énergie : les êtres vivants peuvent l'utiliser pour se mettre en action. L'énergie ingérée sous forme de nourriture est transformée par la digestion en chaleur afin de maintenir la température du corps à 37 °C, mais aussi en énergie mécanique permettant la marche, les activités sportives et les travaux manuels. Il en va de même pour les animaux qui transforment l'énergie contenue dans les végétaux en travail ou en production de lait, d'œufs, de viandes ou de laine. Nous pouvons donc bien parler d'énergie des plantes.

1.2. L'énergie primaire

L'énergie primaire correspond aux différentes formes d'énergie délivrées par la nature. Elle est disponible dans l'environnement et directement exploitable : elle n'a subi aucune transformation. Elle est constituée, pour les deux tiers, d'énergie fossile non renouvelable : pétrole brut, charbon, gaz naturel ou ... énergie nucléaire. Le tiers restant correspond aux

1 - Énergie chimique représentée par glucides, lipides, protides, cellulose, lignine.

énergies issues du rayonnement solaire, de l'eau et du vent. Il est essentiellement constitué de la biomasse, c'est-à-dire des plantes récoltées par les agriculteurs, de l'herbe des pâturages, du bois coupé par les forestiers, mais aussi des énergies photovoltaïque, hydraulique ou éolienne.

L'énergie de la biomasse est d'autant plus importante qu'elle est renouvelable (à la différence du pétrole ou du charbon), stockable (à la différence de l'électricité), pas dangereuse (à la différence de l'énergie nucléaire) et diffuse sur tout le territoire.

1.3. L'unité de mesure de l'énergie primaire issue des plantes

Comme toute énergie, celle de la biomasse est quantifiable. Mais les différentes énergies ne sont pas toutes quantifiées de la même manière. Au fil des siècles, suivant les besoins et les ordres de grandeurs, les sociétés ont créé leurs propres unités de mesure. Les professionnels ont ainsi l'habitude d'utiliser leurs propres unités :

- ◆ Les électriciens utilisent le kilowattheure (kWh) qui correspond à l'énergie consommée par un appareil de 1 000 watts pendant une heure.
- ◆ Les zootechniciens et les vétérinaires utilisent l'unité fourragère (UF) qui correspond à la valeur énergétique d'un kilo d'orge récolté au stade de grain mûr.
- ◆ Les pétroliers comme les économistes et les prospectivistes parlent de baril / jour, ainsi que de tonne équivalent pétrole (tep) qui correspond au pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole.
- ◆ Les nutritionnistes parlent de calories pour quantifier l'alimentation de leurs patients. C'est l'unité indiquée sur la plupart de nos produits alimentaires. La calorie – *c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour chauffer un gramme d'eau d'un degré aux conditions normales de température et de pression* – est une unité historique définie en 1824 par le physicien Nicolas Clément. Suite à son imprécision, elle a été remplacée vingt ans plus tard par le joule, lorsque James Prescott Joule expliqua les équivalences entre travail et chaleur. Une calorie est égale à 4,18 joules : autrement dit, calorie et joule sont du même ordre de grandeur.

Dans le Système international d'unités (qui est le système d'unités le plus employé au monde ²), le joule est l'unité légale de travail, d'énergie et de quantité

de chaleur. Pourquoi n'est-il pas utilisé comme unité d'énergie pour les plantes ? Pour chauffer l'eau d'un chauffe-eau de 200 litres de 10° à 40°, 25 millions de joules sont nécessaires. Autrement dit, le joule est une très petite unité à l'échelle humaine, donc encore plus petite pour mesurer des phénomènes à l'échelle mondiale. À ce niveau, il faut recourir à d'autres unités : à savoir, la tonne équivalent pétrole (tep), une tep équivalant à 42 milliards de joules ³.

Depuis 2002, la France a adopté la position mondialement reconnue de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) qui comptabilise les énergies finales en millions de tep (Mtep). Dans ce dossier, afin de faciliter les comparaisons avec les énergies fossiles et l'appréhension concrète des notions présentées, nous utiliserons le Mtep pour évaluer les flux de biomasse issus de l'agriculture. La biomasse est donc une énergie, exprimée à l'échelle de chaque individu et à l'échelle de la journée en calories. Dans une étude mondiale ou pour des calculs annuels, on préférera le Mtep. Ainsi, en moyenne, l'homme a besoin d'environ 2 700 Kcal / jour, soit 0,1 tep par an ⁴ ou l'équivalent de 250 kg de sucre par an.

Ayant déterminé l'unité adéquate, nous pouvons maintenant aborder le problème de l'évaluation de la quantité d'énergie primaire contenue dans les végétaux récoltés par les agriculteurs ou consommés directement par les herbivores, dans les pâturages.

1.4. Évaluation de l'énergie primaire récoltée

Afin d'évaluer l'énergie primaire végétale récoltée, il faut prendre en compte l'ensemble de l'appareil végétatif récolté et pas seulement les parties utiles des plantes : autrement dit, l'énergie contenue dans les grains, dans les pailles, les tiges et les rafles, dans le sucre et les huiles, dans les betteraves, les cannes, les régimes de palmes, les gousses et les fanes d'arachide.

À partir des superficies mondiales couvertes de terres cultivées, de pâturages et de forêts, il est possible d'estimer les quantités de végétaux récoltés et donc de calculer leur valeur énergétique en équivalent tep :

- ◆ La production végétale agricole occupe aujourd'hui 3,5 milliards d'hectares de pâturages et 1,5 milliard d'hectares de terres cultivées, dont 250 millions de cultures irriguées et autant de cultures

2 - Le Système international d'unités (SI) a sept grandeurs physiques de base : longueur (m), masse (kg), temps (s), courant électrique (A), température (K), quantité de matière (mol) et intensité lumineuse (cd).

3 - Les énergies de production d'électricité sont mesurées en kWh, 1 kWh = 3 600 000 joules. On note 2 700 kcal / jour = 0,1 tep / an = 30 kWh / jour ; 0,001 tep = 1 kep = 11 kWh et 1 million de barils / jour = 50 millions de tep / an.

4 - Ou 6 000 kcal / jour pour un bûcheron canadien ou un pêcheur breton.

pérennes (vignobles, vergers, palmeraies). La production mondiale peut donc être estimée à 2 100 Mtep ⁵, dont plus de la moitié provenant des cinq premières cultures récoltées sur la planète : maïs, blé, riz, orge et soja.

- ◆ Les prairies et les pâturages produisent à la fois des fourrages récoltés par l'homme (foin, ensilage) et des plantes directement broutées par les animaux. La valeur énergétique de ces productions fourragères ⁶ est estimée à environ 1 200 Mtep.
- ◆ Le contenu énergétique des produits forestiers est estimé à environ 1 900 Mtep.

On peut donc évaluer à environ 5 100 – 5 200 Mtep l'ensemble de l'énergie primaire végétale terrestre récoltée à l'échelon mondial. Mais, à ce stade, l'énergie contenue dans les produits de cueillette n'est pas quantifiée : gibiers, insectes consommables, pêche en rivière, champignons, feuilles, algues, baies, racines, plantes hallucinogènes, plantes médicinales et aro-

5 - L'évaluation des flux mondiaux de la biomasse en équivalent tep provient des travaux effectués dans le cadre du rapport « Hiérarchisation des usages de la biomasse », S. Alexandre et al, CGEDD, CGAAER, CGIET. Le tableau final a été établi à partir de l'actualisation des travaux de Rémi Carillon, dans le cadre du CNEEMA, et de ceux plus récents de Stephan Wirsenius. Les évaluations des pâturages proviennent de J.P. Boutonnet et Y. Combarrous. Enfin l'évaluation des fertilisants organiques provient des remarques pertinentes d'Interbev.

6 - À partir des travaux de J.P. Boutonnet, J.P. Bonnet et de S. Wirsenius.

matiques, fleurs, ... Celle-ci ne représente guère plus de 3 % de l'énergie mondiale. Néanmoins, elle peut, dans certains cas, jouer, un rôle non négligeable dans les ruptures d'équilibre de certains écosystèmes.

1.5. Répartition mondiale de l'énergie primaire récoltée

Il faut souligner que toutes les études estimant la biomasse ne prennent pas en compte les mêmes données et peuvent donc arriver à des conclusions différentes :

- ◆ Les présentations habituelles, notamment le *BP statistical review of world energy* publié chaque année en juin qui fait autorité chez les professionnels, incluent, dans l'énergie de la biomasse, les biocarburants et l'énergie des déchets issus de la biomasse.
- ◆ L'Agence internationale de l'énergie (AIE) et, en France, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ajoutent le bois de feu aux biocarburants et à l'énergie des déchets issus de la biomasse. Elles en concluent que la biomasse représente un peu plus de 8 % de l'énergie totale, dans l'énergie primaire consommée à l'échelon mondial (*Graphique 1*).

Graphique 1
Ensemble des énergies primaires consommées
(Source : Agence Internationale de l'Énergie, 2013)

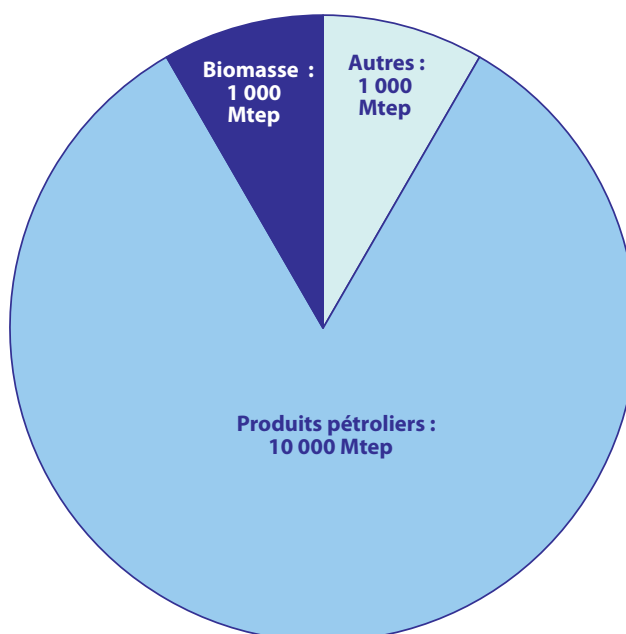


Tableau 1
Productions d'énergie primaire à l'échelon mondial (en Mtep)

	Modèle Agence Internationale de l'Énergie (AIE)	Modèle intégrant l'ensemble de l'énergie végétale
Biomasse	1 000 *	5 100
Produits pétroliers	10 000	10 000
Autres	1 000	1 000
Total	12 000	16 100
<i>Part Biomasse / Total</i>	<i>8 %</i>	<i>31 %</i>

* La biomasse considérée est celle ayant un intérêt pour la production de chaleur, biocarburant, cogénération.

En fait, les présentations précédentes ne tiennent pas compte de :

- ◆ L'énergie primaire contenue dans les végétaux récoltés
- ◆ L'énergie utilisée par les bêtes de trait : bovins, bubalins, équidés, camélidés pour fournir le travail du sol et les transports ⁷
- ◆ L'énergie consommée directement par les herbivores dans les pâturages, alors que ces mêmes pâturages sont comptabilisés dans la production de gaz à effet de serre (GES) !

Il apparaît même des anomalies puisque :

- ◆ L'énergie primaire utilisée pour la fabrication de matériaux (bois d'œuvre, papier, cuir et textile laine, lin, coton, caoutchouc naturel) n'est pas comptabilisée, alors que le pétrole utilisé pour la fabrication des textiles synthétiques (nylon, polyéthylène), du caoutchouc synthétique et des matières plastiques est pris en considération
- ◆ Les emballages papiers ne sont pas comptabilisés, à la différence des emballages synthétiques
- ◆ Les algues, le phytoplancton et les fertilisants biologiques ne sont pas comptabilisés, alors que les engrais azotés produits à partir du gaz et du pétrole le sont !

Il s'en suit une différence notable dans les évaluations, comme le montre le *Tableau 1*.

On arrive ainsi à des données extrêmement différentes et très parlantes comme le révèlent les *Graphiques 2* et *3*. Ces schémas prouvent que les conclusions pour l'avenir de l'agriculture mondiale peuvent être très différentes ! L'étude énergétique, qui inclut la totalité de l'énergie de la biomasse au sein de l'ensemble des énergies primaires utilisées par l'homme, remet en perspective l'interaction des différentes formes

d'énergie et restitue la place de l'agriculture et de la sylviculture dans le monde actuel. Ne pas prendre en compte une grande partie de l'énergie végétale, alors qu'elle représente presque le tiers de l'énergie mondiale utilisée par les hommes, conduit à une vue erronée des problèmes d'actualité, tel celui de la faim dans le monde.

2. ÉVALUATION DE L'ÉNERGIE FINALE OBTENUE

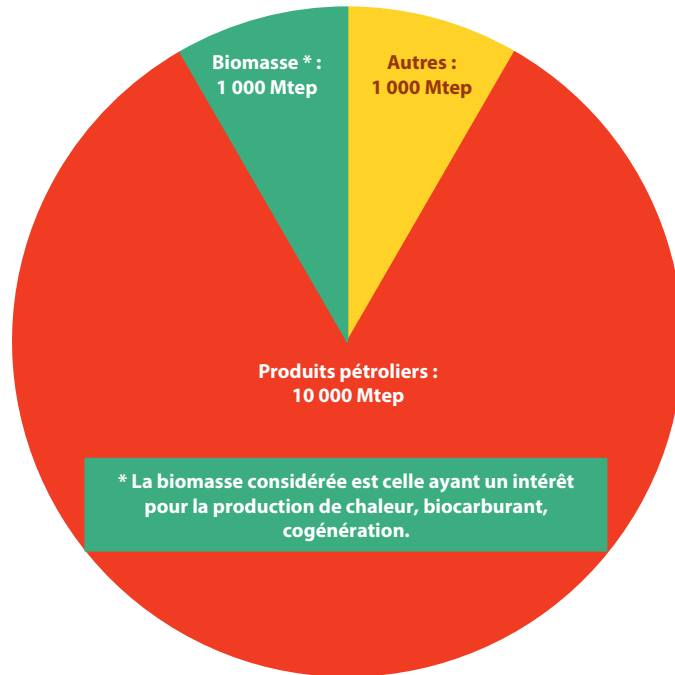
L'énergie finale correspond aux formes délivrées aux consommateurs. Parfois, dans le cas par exemple du gaz et des fruits et légumes, elle est identique au produit initial. Mais, dans la plupart des cas, elle résulte d'une ou plusieurs transformations des énergies primaires, tels le biocarburant obtenu après trituration du colza, l'électricité produite à partir de la transformation du charbon, la viande après abattage et découpe, l'essence issue du raffinage du pétrole.

2.1. Les utilisations de l'énergie primaire

Après avoir été récoltées par l'agriculteur, les productions végétales sont consommées, pour moitié, par les animaux d'élevage. L'autre moitié subit une transformation : séparation physique dans les moulins à céréales et à huiles, séparation thermique dans les sucreries ou épluchage et cuisson en cuisine. Moins de 5 % des plantes ont un usage non-alimentaire : hévéa, tabac, jute, chanvre. Le coton est considéré comme plante oléo-protéagineuse (c'est la deuxième plante oléagineuse mondiale) puisque sa graine, qui représente 65 % de la récolte, est constituée d'huile et sert d'aliment du bétail.

7 - Les évaluations relatives à la culture attelée mondiale proviennent notamment du livre « *La traction animale* » de Bruno Losch, Cirad.

Graphique 2
Productions d'énergie primaire à l'échelon mondial
selon la présentation de l'Agence Internationale de l'Énergie
(Source : AIE, 2013)



Graphique 3
Productions d'énergie primaire à l'échelon mondial
selon la présentation intégrant l'ensemble de l'énergie végétale
(Source : ADEME)

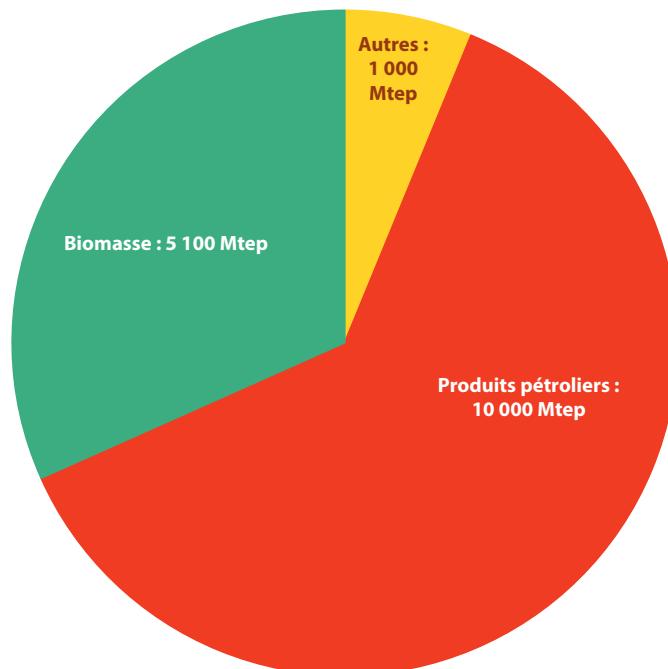
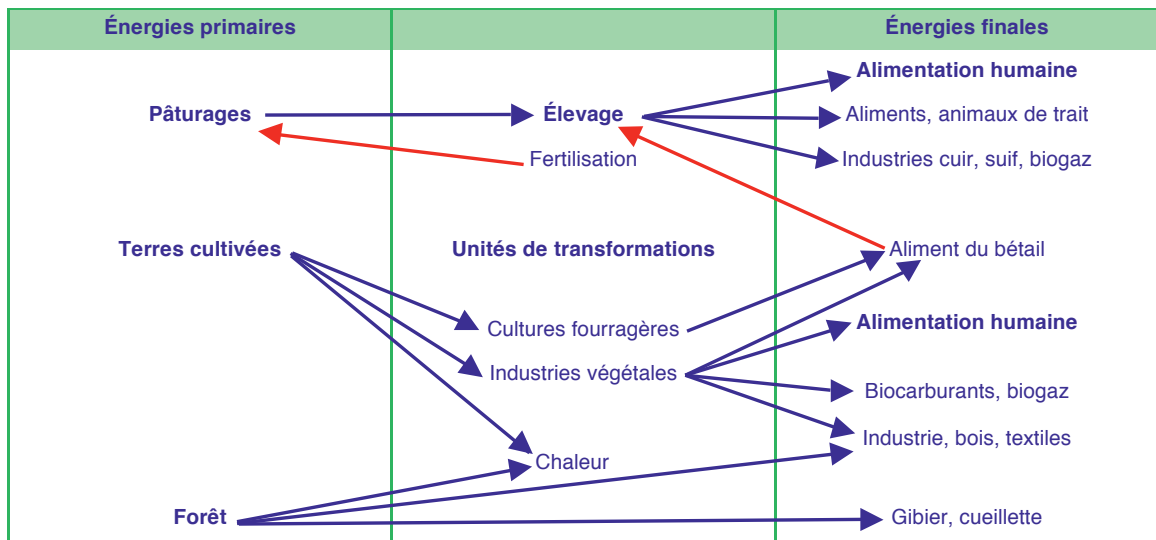


Figure 1
Flux physiques issus de la biomasse récoltée



Hormis les fruits, les légumes et quelques tubercules, tous les produits végétaux récoltés subissent une transformation avant leur utilisation par l'homme : égrappage du maïs, décorticage du riz, écrasement et blutage du blé, pressage des graines oléagineuses et des grappes de raisin, etc.

Après la première transformation, les végétaux donnent des produits utilisés dans l'alimentation humaine et des coproduits pour l'alimentation du bétail (tourteaux, drèches) et la fabrication de biocarburants. La filière élevage produit directement du lait ou des œufs, mais les viandes sont consommées après abattage des animaux et découpe. Il faut aussi souligner l'importance de l'alimentation des animaux de trait et surtout des déjections animales utilisées comme fertilisants ou engrais organiques. Plus de la moitié des produits forestiers est utilisée par l'industrie du papier, des matériaux de construction et des meubles, le reste servant pour le chauffage. Les produits industriels (cuir, laine, suifs) représentent, *in fine*, seulement 5 % de l'énergie issue de l'élevage. Enfin, les résidus et sous-produits servent à produire de la chaleur utilisée directement ou indirectement dans le process industriel.

En résumé, la Figure 1 présente les différentes transformations de la phyto-masse. Pour comparer les importances relatives de chaque élément présenté dans celle-ci, il faut comptabiliser les énergies mises en jeu et obtenir les flux énergétiques issus de la biomasse récoltée (Figure 2).

2.2. Les énergies finales

Sur les 3 200 Mtep d'énergie primaire récoltés, seuls 700 Mtep d'énergie finale sont consommés pour l'alimentation humaine (Graphique 4). Les utilisations finales mondiales de l'énergie issue de la biomasse peuvent en effet être regroupées en trois parties quasi équivalentes, énergiquement parlant :

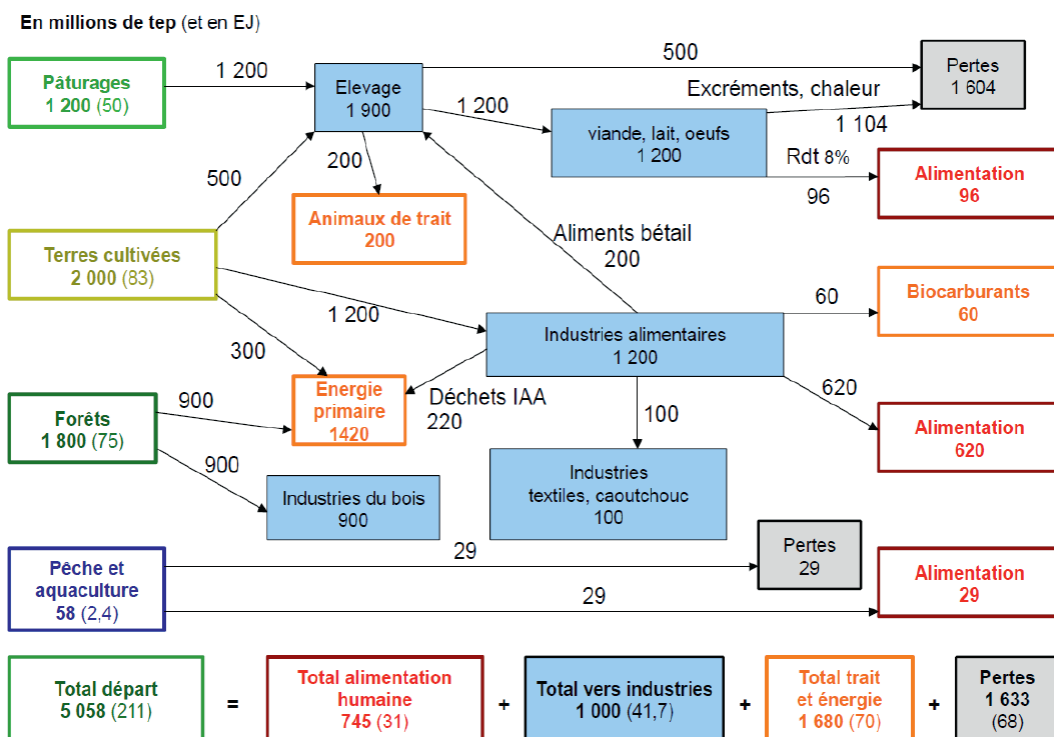
- ◆ L'alimentation : 700 Mtep, sachant que les produits animaux consommés en alimentation humaine représentent 100 Mtep en énergie finale et les produits végétaux, 600 Mtep. Les rendements des produits animaux sont estimés sur les bases suivantes : 45 tonnes de phyto-masse / tonne de carcasse de viande bovine (14 Mtep d'énergie finale) ; 6,7 tonnes de phyto-masse / tonne de carcasse de viande de porc (22 Mtep d'énergie finale) ; 3,6 tonnes de phyto-masse / tonne de carcasse de viande de poulet (15 Mtep d'énergie finale) ; 1,6 tonne de phyto-masse pour 1 000 litres de lait (43 Mtep d'énergie finale) et 3,6 tonnes de phyto-masse / tonne d'œufs (6 Mtep d'énergie finale).
- ◆ Les produits pour l'industrie et la fertilisation : 800 Mtep
- ◆ L'énergie thermique (chauffage) et les transports : 700 Mtep.

Les pertes, qui peuvent être estimées à 1 000 Mtep, ne doivent pas être négligées dans les calculs. Elles correspondent essentiellement à la chaleur dégagée par les animaux durant leurs vies, ainsi qu'aux

Figure 2

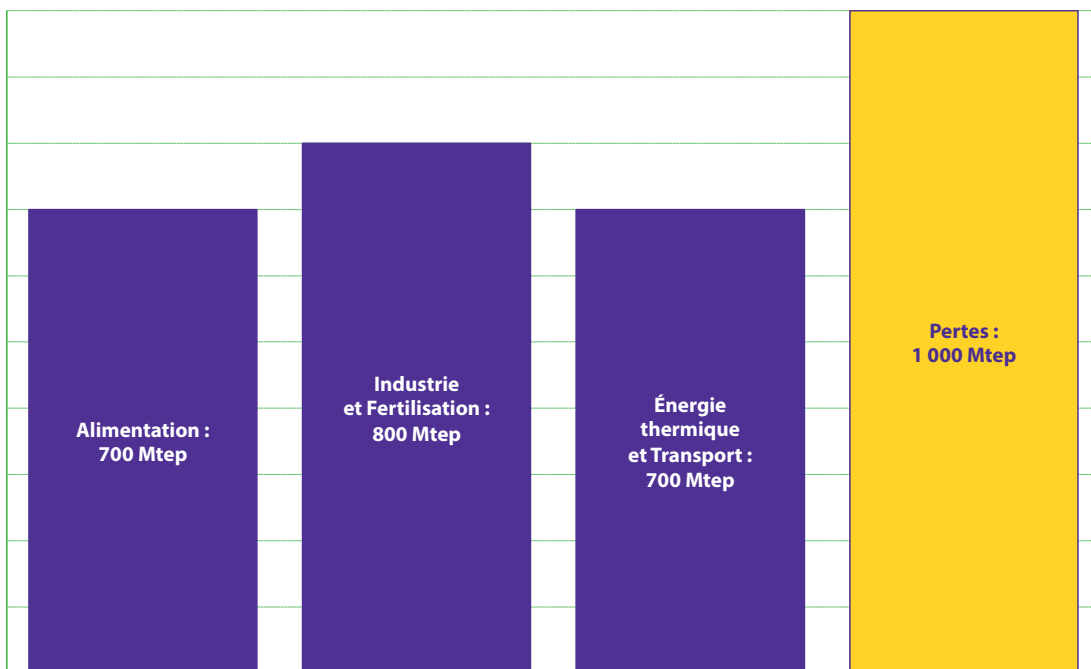
Ressources et usages au plan mondial : où va la biomasse récoltée ?

(Source : Les usages non-alimentaires de la biomasse, Rapport CGAAER, CGEJET et CGEDD, décembre 2012)



Graphique 4

Utilisations finales mondiales de l'énergie issue de la biomasse



produits végétaux perdus lors des transformations (*Graphique 4*).

2.3. Le rendement énergétique de l'agriculture

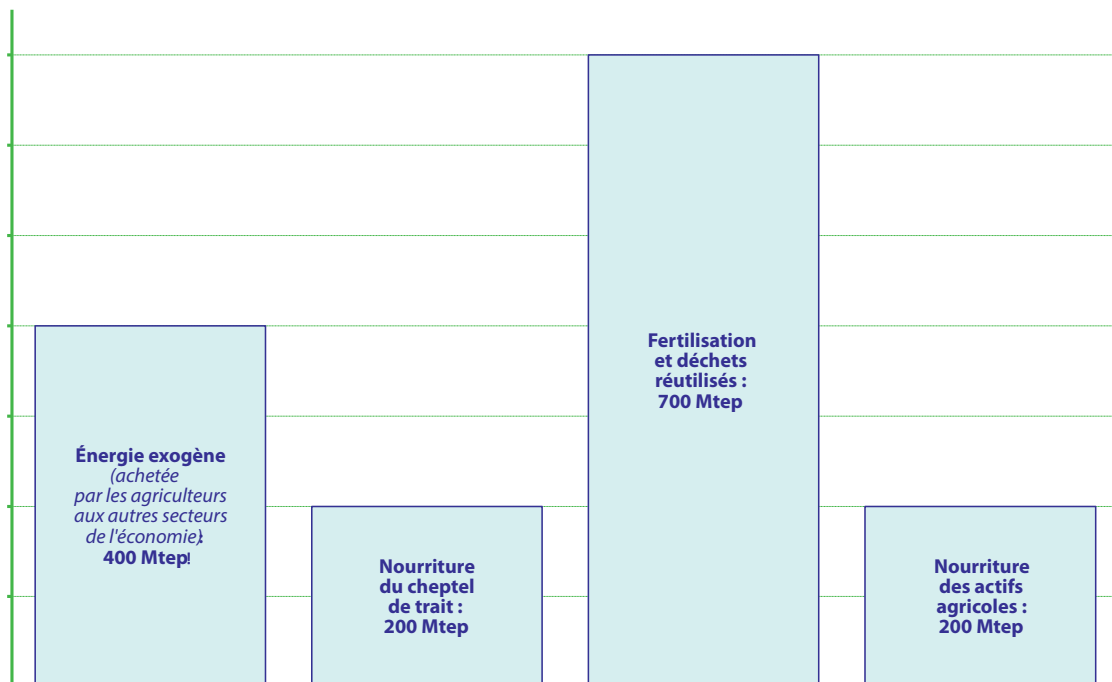
Le rendement énergétique de l'agriculture mondiale peut être calculé ainsi : valeur énergétique de la production végétale à la récolte sur valeur de l'énergie primaire mise en œuvre. Comme nous l'avons vu, la valeur énergétique de la production végétale récoltée a été établie à 3 200 Mtep. La valeur de l'énergie primaire consommée par l'agriculture pour l'obtention de la production végétale comprend :

- ◆ L'énergie exogène, c'est-à-dire celle achetée par l'agriculteur aux autres secteurs de l'économie : soit 400 Mtep. Elle est répartie pour 40 % en engrais et produits phytosanitaires, 30 % en énergie directe pour les tracteurs, les moteurs et les chaufferies et 30 % pour l'énergie indirecte du matériel et des bâtiments.

- ◆ La nourriture du cheptel de trait : l'auto-consommation est évaluée au niveau des récoltes végétales à 200 Mtep.
- ◆ L'énergie des déjections animales utilisée en fertilisation et / ou en production de biogaz, soit 700 Mtep.
- ◆ La nourriture des agriculteurs eux-mêmes, évaluée au niveau de l'auto-consommation des récoltes végétales : soit 200 Mtep pour 1,3 milliard d'actifs.

La valeur de toute l'énergie primaire pour la production végétale s'établit ainsi à 1 500 Mtep (*Graphique 5*). Pour l'ensemble du monde, le rendement énergétique de l'agriculture peut être calculé de la manière suivante : valeur énergétique de la production végétale à la récolte (soit 3 200 Mtep) sur valeur de toute l'énergie primaire mise en œuvre pour la production végétale (soit 1 500 Mtep). Le rendement ainsi obtenu est de 2,1. Le rendement énergétique de l'agriculture mondiale est exceptionnellement élevé. Il s'explique uniquement par le fait que le soleil, source gratuite d'énergie, intervient essentiellement pour former l'output énergétique obtenu sous forme de récoltes végétales. On ne peut

Graphique 5
Énergies primaires utilisées pour la production végétale mondiale



donc pas reprocher à l'agriculture d'être dévoreuse d'énergie. De manière plus imagée, le film récent *Il était une forêt* du réalisateur Luc Jacquet montre qu'une graine de 1 gramme en forêt tropicale produit 40 millions de fois sa masse, sans aucune autre énergie que le soleil.

3. LES DIFFÉRENTES CONTRAINTES

Aux plans mondial, européen et national, les usages concurrents de la biomasse agricole appellent à des arbitrages pour répondre aux objectifs vitaux que sont la sécurité alimentaire, la sécurité énergétique et la préservation des biens communs environnementaux.

3.1. Problématique de la hiérarchie des usages

Les agriculteurs ont toujours eu le souci d'accroître la production. La sélection de semences plus performantes, la lutte contre les ravageurs, l'utilisation de nouveaux fertilisants et la conception de matériels (de la houe au tracteur laser) constituent quelques exemples des inventions, successives ou simultanées, et des efforts fournis pour produire toujours plus. Cette politique a été si performante qu'une surproduction relative mondiale s'en est suivie, conduisant à des prix tendanciellement bas. On a alors observé un manque d'investissement dans les secteurs agricoles de certaines régions du Sud. L'Union européenne, quant à elle, a donné la priorité à la limitation de la production : plan Mansholt – Vedel, mise en place de jachères et de quotas.

Puis, en 2005, lorsque le prix du baril a dépassé les 100 dollars, les céréales sont devenues compétitives avec le pétrole, entraînant des programmes de production de biocarburants stimulés par la puissance publique. Résultat : quelques années plus tard, suite aux émeutes de la faim de 2008, la compétition entre l'agriculture productrice d'aliments et l'agriculture source d'énergie pour les moteurs est réapparue, mais dans l'autre sens. Les polémiques qui ont suivi ont mis en cause les programmes de développement des biocarburants initiés quelques années auparavant. Certaines questions ont même été exprimées de manière particulièrement imagée : « *Les vaches volent-elles la nourriture des hommes ?* », « *Manger ou rouler, faut-il choisir ?* », « *Y aura-t-il assez de terres cultivables pour nourrir les hommes ?* », « *Cultiver le colza en France tue-t-il les forêts amazonienne et indonésienne ?* ».

Ces interrogations révèlent en fait de profondes préoccupations auxquelles les experts doivent répondre de manière objective et argumentée. Il s'agit de hiérarchiser les critères qui devraient nous permettre de privilégier l'une ou l'autre des trois grandes catégories que nous avons dégagées précédemment : les produits alimentaires, les produits destinés à l'industrie et à la fertilisation, les produits utilisés pour le chauffage et les transports. La hiérarchisation des critères doit tenir compte des contraintes écologiques, économiques et territoriales auxquelles nous sommes confrontés.

3.2. Les contraintes territoriales

3.2.1. La répartition mondiale de l'énergie primaire récoltée

Selon les conditions climatiques, pédologiques, techniques et économiques, les rendements énergétiques présentent des différences notables. L'étude *Agrimonde*, réalisée par le CIRAD et l'INRA en 2009, a partagé le monde en grandes régions agricoles et évalué les rendements pour chacune ⁸.

Le *Tableau 2* donne les résultats comparés pour les années 1961 et 2000. Il apparaît qu'en quarante ans, le rendement énergétique moyen mondial par hectare des cultures a plus que doublé. Mais les évolutions varient suivant les zones : triplement en Asie, stagnation dans l'ex-URSS et quasi-doublement ailleurs. Les meilleurs rendements, soit presque 1 tep par hectare, sont enregistrés en Asie et sont à comparer aux rendements trois fois moins efficaces de l'ex-URSS et de l'Afrique subsaharienne. Cela laisse à penser que la production mondiale d'énergie alimentaire peut encore augmenter dans des proportions notables, même s'il faut tenir compte des climats, des disponibilités en eau, des niveaux technologiques, de la répartition entre terres arables et pâturages pour apprécier les possibilités réelles d'augmentation de rendements dans ces régions.

Si les rendements annuels moyens des grandes régions du monde étaient tous inférieurs à 1 tep/ha en 2000, ils atteignaient en 2010 2 tep aux États-Unis et 3 tep au Brésil. Mais l'efficacité énergétique dépend du type de cultures : 4 à 5 tep pour la canne à sucre et pour le riz irrigué en double culture et 3 à 3,5 tep pour la betterave, le maïs (grain + rafle) et le blé (grain + paille).

8 - <http://www6.paris.inra.fr/depe/Projets/Agrimonde>

Tableau 2

Évolution des rendements énergétiques par grandes régions du monde entre 1961 et 2000
(énergie primaire, en tep / hectare / an)

	Afrique du Nord	Afrique subsaharienne	Amérique latine	Asie	Ex-URSS	Pays de l'OCDE	Monde	Superficies récoltées
1961	0,18	0,18	0,33	0,35	0,24	0,39	0,31	4 300 millions d'ha
2000	0,47	0,35	0,68	0,92	0,27	0,83	0,68	4 500 millions d'ha

Source : d'après Agrimonde, INRA - Cirad, février 2009

Tableau 3

Prospective des rendements énergétiques par grandes régions du monde en 2050
(énergie primaire, en tep / hectare / an)

	Afrique du Nord	Afrique subsaharienne	Amérique latine	Asie	Ex-URSS	Pays de l'OCDE	Monde	Superficies récoltées
2050	0,65	0,65	0,95	1,33	0,61	1,1	1	5 100 millions d'ha

Source : d'après Agrimonde, INRA - Cirad, février 2009

À l'horizon 2050, la moyenne des rendements régionaux considérés dans les scénarios d'Agrimonde⁹ s'établit comme présentée dans la *Tableau 3*. Ceux-ci pourraient croître de près de 50 % et les surfaces cultivées augmenter de l'ordre de 13 %. Pour 9 milliards d'habitants, on arriverait ainsi à 0,56 tep par an et par habitant contre 0,45 actuellement. Autrement dit, si la production végétale des terres augmente selon les prévisions moyennes considérées, il sera possible de nourrir les 9 milliards d'habitants prévus sur terre en 2050. Mais cela implique que les rende-

ments doublent en Afrique et dans l'ex-URSS et donc nécessitera des investissements conséquents.

3.2.2. Évolution de l'affectation des terres

Les sociétés affectent les terres disponibles selon les potentialités intrinsèques dont elles disposent, mais aussi les attentes sociétales d'une époque donnée. Ainsi, en France depuis un peu moins de cent ans, les prairies permanentes et les cultures pérennes diminuent, alors que les superficies boisées et les cultures céréalières augmentent notablement. La disparition de la culture attelée a conduit à la quasi-disparition de

9 - AG1 hypothèses basse et haute et AGO.

la culture d'avoine et des plantes fourragères. Durant la première moitié du vingtième siècle, la France comptait 3 millions de chevaux qui étaient nourris grâce à 3 millions d'hectares d'avoine. La sole consacrée à l'alimentation des bœufs et des chevaux de trait représentait près du tiers des surfaces cultivées. Remplacer les chevaux par des tracteurs a permis de récupérer 9 millions d'hectares pour d'autres usages que cet approvisionnement des « *bio-moteurs* ». Aujourd'hui dans le monde, plus de 200 millions d'hectares sont encore dévolus à la satisfaction des besoins énergétiques des animaux de trait : soit 15 % des superficies cultivées. Favoriser la modernisation de l'agriculture des pays du Sud dégagerait au moins 100 millions d'hectares pour nourrir les hommes : une superficie loin d'être négligeable alors que certains experts estiment que les surfaces cultivables pourraient s'avérer insuffisantes à l'horizon 2050, mais aussi un chiffre intéressant à comparer aux 40 millions d'hectares actuellement dévolus aux agro-carburants.

3.2.3. Le changement d'affectation des sols indirect

L'une des grandes controverses actuelles concerne la concurrence entre l'utilisation des terres pour des cultures alimentaires ou non-alimentaires. Depuis 2008 a émergé dans la littérature scientifique le critère de *changement d'affectation des sols indirect* (CASI ou ILUC en anglais). Celui-ci quantifie, en termes d'émissions de gaz à effet de serre, l'impact des cultures destinées à la production de biocarburants occupant des terres consacrées aux cultures alimentaires. Dans certains cas, il conduit à remettre en cause certaines cultures : par exemple, le colza en Europe, l'extension du soja en Amérique du Sud ou du palmier à huile en Asie. Pourtant, suivant l'angle d'attaque et l'optique considérés, on peut défendre deux thèses diamétralement opposées. Prenons, par exemple la question « *Faut-il supprimer la culture du colza en France ?* » :

◆ Dans l'optique de la production d'huile : produire du biodiésel à partir du colza français entraîne la diminution de la production d'huile alimentaire (1,5 Mt). De ce fait, les importations augmentent : cela encourage donc la production d'huile en Indonésie et, par ricochet, la mise en culture de palmiers sur des surfaces de forêts défrichées (250 000 hectares). Conclusion : il faut supprimer la production de biodiésel en France.

◆ Dans l'optique de la production de tourteaux : produire du biodiésel issu du colza français augmente la production de tourteaux de 2,2 Mt, donc, réduit les importations de tourteaux de soja en provenance d'Amérique du Sud et, par ricochet, empêche le défrichement de 800 000 hectares de forêts. Conclusion : Il faut maintenir la production de biodiésel en France.

La pertinence du facteur CASI a fait l'objet de plusieurs études telles que :

◆ La méta-analyse réalisée par De Cara et al. (INRA, 2012). Elle a montré que les données présentent une forte variabilité qui reflète les incertitudes, mais aussi la diversité des approches, des définitions et des hypothèses.

◆ La thèse d'Antony Benoist du CIRAD qui conclut : « *les résultats disponibles sont si divergents qu'ils peuvent conduire à des décisions de politiques publiques totalement opposées* ».

Il faut donc utiliser avec beaucoup de prudence ces concepts qui n'ont pas prouvé leur pertinence...

3.3. Les contraintes écologiques

L'écologie a été remise au goût du jour il y a une trentaine d'années. C'est « *la plus humaine des sciences de la nature ... Elle fait converger biologie, physique, chimie, économie, mais aussi histoire* »¹⁰. Elle nous rappelle le lien indissociable entre l'homme et la Terre. Au cours des siècles, lorsque ce lien n'a pas été intégré, il s'en est, dans bien des cas, suivi des catastrophes irréversibles.

3.3.1. Aspects historiques

Par le passé, différentes populations ont été, à plusieurs reprises, confrontées à la problématique de gestion de leur écosystème. Leurs décisions ont conduit à la disparition de plusieurs civilisations, comme l'a montré le biologiste américain Jared Diamond dans son best-seller « *Effondrement : comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie* »¹¹. Les Grecs étaient réputés pour leur maîtrise technologique du bronze. Pour ce faire, ils utilisaient du bois en grandes quantités et la plus grande partie de la Grèce fut ainsi déforestée, à tel point que Platon dans « *Critias ou l'Atlantide* » écrivit : « *Ce qui existe*

¹⁰ - Deleage, 1991.

¹¹ - Ce paragraphe reprend des éléments des livres « *Effondrement. Comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie* » de Jared Diamond, « *Une nouvelle conscience pour un monde en crise* » de Jeremy Rifkin et « *Les grandes représentations du monde et de l'économie à travers l'histoire* » de René Passet.

aujourd'hui, comparé à ce qui existait alors, est semblable au squelette d'un homme malade : toute la terre grasse et fertile a disparu ». Au milieu du premier siècle avant Jésus-Christ, à l'époque de Jules César, l'Afrique du Nord constituait le grenier à blé des Romains. Pourtant, quatre siècles plus tard, la moitié des sols était devenue inutilisable. Certains auteurs estiment que ce changement résulte de l'utilisation massive du bois. La surexploitation des forêts aurait entraîné des doublages successifs du prix du bois au cours du troisième siècle et Rome a alors vécu sa première grande crise monétaire. L'île de Pâques constitue évidemment l'exemple extrême de déforestation : c'est le cas le plus flagrant d'une société ayant contribué à sa propre perte en surexploitant ses ressources. Au début de la période dite des « temps modernes », entre 1550 et 1630, le prix du bois a été multiplié par sept. La découverte du charbon de terre, qui se substitua au charbon de bois, sauva la situation.

Est-il audacieux de comparer ces périodes aux augmentations successives du prix du pétrole entre 1973 et 2011 et à la crise financière actuelle ? Peut-on espérer trouver une énergie fossile de remplacement, comme semblent le penser les promoteurs du gaz de schiste au vu des récentes performances des États-Unis en la matière ?

Il a toujours été sage, voire indispensable de s'appuyer sur les faits historiques pour ne pas refaire les mêmes erreurs et surtout comprendre le présent. L'agriculture ne déroge pas à cette règle et le récit de l'essor ou de la chute de grandes civilisations dus à leur gestion du cycle du carbone et du cycle de l'eau peut nous indiquer les attitudes à prendre. « Celui qui ne sait pas tirer les leçons de trois mille ans d'Histoire vit au jour le jour » affirmait le poète allemand Goethe.

Nous comprenons ainsi qu'il est essentiel de concevoir le management des matières premières agricoles afin d'entretenir et de maintenir notre écosystème agro-forestier en bon état et éviter les catastrophes. Historiquement, la perte de matière organique des sols a constitué l'un des facteurs de la baisse notable des rendements agricoles : il faudra donc tenir compte en premier de la pérennité de la qualité des sols.

3.3.2. La fertilité des sols

Alors que les préoccupations sociétales portent essentiellement sur les problématiques de réchauffement climatique et de lutte contre les gaz à effet de serre, il est important de rappeler l'importance de la fertilité des sols. En corrélation avec la végétation qu'il porte,

celui-ci joue un rôle déterminant dans le contrôle des flux de gaz carbonique du fait de la respiration de la végétation et de son système bactérien. Il joue aussi un rôle notable dans le cycle de l'eau et de l'azote. Le sol est « le plus gros moteur du monde »¹².

Il s'agit donc d'aboutir à une rationalisation permettant de protéger notre patrimoine agricole. Les teneurs en carbone et en azote constituent les éléments essentiels du maintien du potentiel productif des sols. Malheureusement, on n'a pas toujours tenu compte de la pérennité de ces éléments. Pire, dans de nombreuses régions du monde, les lanceurs d'alertes sur la préservation de ce capital ne sont guère entendus. À l'échelon mondial, le stock de carbone dans les sols s'élève à 1 500 milliards de tonnes, soit autant que les stocks contenus dans les roches profondes (nappes de gaz, pétrole, charbon), dans l'atmosphère et l'hydrosphère.

Le recyclage des résidus d'élevage permet la réintroduction du carbone dans les sols et le maintien de la qualité de ceux-ci. On a ici un bon exemple d'économie circulaire.

Certains auteurs, comme Pimentel en 1997 qui a estimé la valeur des sols mondiaux, Chevassus – au-Louis qui a évalué le capital bio-diversité, ont essayé de sensibiliser à une approche économique du problème. Il faut sûrement aller plus loin et la bio-économie doit prendre en compte cette question, à l'instar de Charles Carey qui fut l'un des premiers économistes américains¹³. C'est dans ce cadre que la communauté internationale a nommé « 2015, année des sols ». Dans ce domaine, les possibilités sont nombreuses et encore mal exploitées.

3.4. Les contraintes économiques

Si les contraintes territoriales et écologiques répondent à des intentions hautement louables et indispensables, elles ne peuvent pas s'affranchir des lois économiques. Les contraintes économiques sont de trois ordres : au niveau des prix, de leur volatilité et de la gestion des flux.

3.4.1. Compétition entre pétrole et matière première agricole

Les équivalences énergétiques entre les céréales et le fuel domestique ont une importance non négligeable pour répondre à la concurrence entre produit alimentaire et produit non alimentaire. Sachant

¹² - Daniel Nahon, « Sauvons l'agriculture ».

¹³ - D. Villey, « Petite histoire des grandes doctrines économiques ».

Graphique 6

Évolution annuelle des cours du gazole et des huiles entre 2000 et 2013

Sources : Oil World pour les huiles ; DIREM - MINEFI pour le gazole hors taxes France

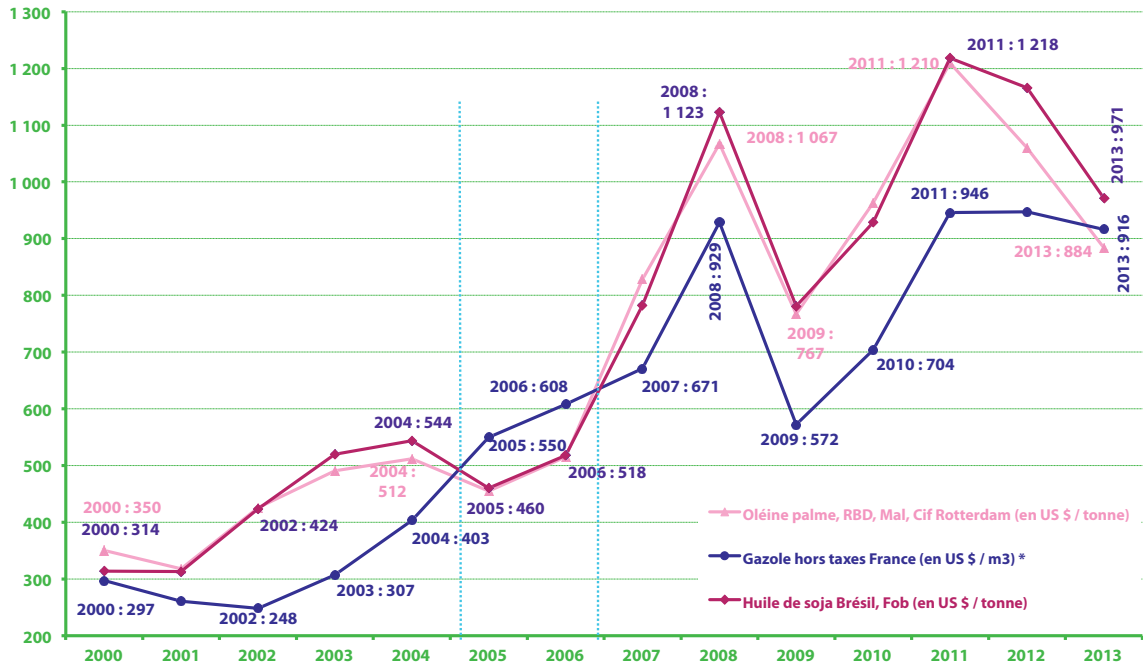


Tableau 4

Évolution du prix du gazole hors taxes en France, converti en dollars

2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Prix du gazole hors taxes France, en euros / litre – Source : DIREM – MINEFI *													
0,321	0,291	0,263	0,272	0,324	0,442	0,484	0,490	0,632	0,410	0,531	0,679	0,737	0,6897
Cours de change de l'euro contre le dollar des États-Unis (USD) – Moyenne annuelle – Source : Banque de France **													
0,9240	0,8957	0,9449	1,1309	1,2433	1,2448	1,2557	1,3706	1,4706	1,3933	1,3268	1,3917	1,2856	1,3282
Prix du gazole hors taxes France, converti en dollars / litre													
0,297	0,261	0,248	0,307	0,403	0,550	0,608	0,671	0,929	0,572	0,704	0,946	0,947	0,916

* DIREM – MINEFI : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Prix-de-vente-moyens-des,10724.html>** http://www.banquefrance.fr/fileadmin/user_upload/banque_de_france/Economie_et_Statistiques/Changes_et_Taux/qs.m.ceurusmm.csv

que 2,5 kilogrammes de grains permettent d'obtenir l'équivalence énergétique d'un litre de mazout et que 5 kg de céréales équivalent à un litre d'essence, il est clair qu'économiquement parlant, suivant les rapports de prix, il peut devenir plus avantageux de se chauffer au blé qu'au fioul ou de rouler à l'huile plutôt qu'au gasoil. D'ailleurs, certains ne s'en sont pas privés quand les prix leur en ont donné la possibilité.

Au vingtième siècle, les écarts de prix entre les équivalences céréales, oléagineux et pétrole ont été clairement favorables aux énergies fossiles : le prix du baril de pétrole était très inférieur à ses équivalents énergétiques en céréales et oléagineux. Par contre, depuis 2005, les courbes de prix se sont très souvent rapprochées, voire inversées. Comme le montre le Graphique 6, le prix de l'huile a été, de 2005 à 2006, inférieur au prix du gazole. Le même phénomène

s'est produit pour le blé. La situation a failli se reproduire en 2013. La compétition entre énergie fossile et biomasse se fait essentiellement au niveau des prix respectifs, tempérés par la volatilité des parités de change des monnaies respectives (Tableau 4).

3.4.2. La volatilité des prix

Les biocarburants ont été accusés de provoquer l'augmentation des prix agricoles et alimentaires lors des crises de 2008 et 2011, voire d'affamer les populations et de provoquer les émeutes de la faim. Qu'en est-il ?¹⁴

Pour répondre, comparons les crises alimentaires de 2008 et de 2011. Lors de la crise de 2008, le prix du riz a flambé. Or, le riz n'est pas utilisé pour fabriquer du biocarburant et cette flambée s'explique par le faible niveau de stock. Sur la même période, le prix du sucre est resté stable, alors qu'il s'agit de l'un des principaux pourvoyeurs d'éthanol. En 2011, le prix du riz est resté stable et son stock correspondait à celui d'une année normale. Les prix du blé, du maïs et du sucre ont augmenté, alors que la production d'éthanol n'a pas varié : mais les stocks étaient bas. Quant aux prix des huiles, l'augmentation a été moins spectaculaire et strictement corrélée au prix du pétrole. En résumé, une analyse fine montre que la flambée des prix de ces commodités est davantage corrélée à leurs niveaux de stocks qu'à la demande en biocarburants (Tableau 5).

14 - Les informations sur les impacts des biocarburants sont issues du rapport « Stratégie française pour la préparation du G20 », CGAAER, IGF, décembre 2011, D. Perrin, P.H. Texier, Ph. Helleisen, ainsi que les préconisations sur la gouvernance mondiale.

3.4.3. La gestion des filières agro-alimentaires¹⁵

a) Le transport des produits

Les marchés agricoles ont longtemps été des marchés locaux car les prix étaient pondérés par des coûts de transport souvent élevés. Se nourrir de produits importés était trop onéreux. La baisse considérable des coûts de transport durant le vingtième siècle, due à l'utilisation et la standardisation des conteneurs sur des bateaux de plus en plus grands, a permis de mondialiser le marché. Le monde raisonne maintenant sur un marché unique et les prix des commodités agricoles s'alignent sur ceux des grandes bourses internationales de matières premières. Il peut être plus intéressant d'approvisionner New York par bateau à partir d'un port européen que par camion à partir de la Californie ou d'acheter du riz thaïlandais en Afrique plutôt que de le produire sur place.

Mais, si le critère prix de revient prend une place importante dans le choix des approvisionnements, les brusques variations des prix des matières agricoles résultant de variations politiques et climatiques à l'échelon mondial peuvent mettre en danger la stabilité de certains pays. D'où la nouvelle émergence du concept de souveraineté alimentaire.

b) L'utilisation des résidus¹⁶

Jusqu'à une date récente, nombre de résidus étaient jetés, voire brûlés sans même récupérer la chaleur produite. Dès l'instant où le prix de la collecte, ajouté

15 - Ces diverses préconisations ont été inspirées du livre « Les triples A de la bio économie », C. Roy et al., Club des bio-économistes.

16 - La biomasse énergie d'avenir ? H. Bichat, P. Mathis.

Tableau 5
Crises alimentaires de 2008 et 2011 :
Evolution comparée des prix et des stocks de blé, maïs, riz et sucre

2008			
Utilisation pour biocarburant		Prix	Stocks
Blé	Faible		Très bas
Maïs	Oui		Bas
Riz	Non		Faibles
Sucre	Oui	Stable	Importants
2011			
Utilisation pour biocarburant		Prix	Stocks
Blé	Faible		Bas
Maïs	Oui		Bas
Riz	0	Stable	Normaux
Sucre	Oui		Faibles

à celui du transport est devenu inférieur à celui de la valorisation, l'utilisation des résidus a été rendue possible. Celle-ci a permis de valoriser économiquement certaines cultures : par exemple, utiliser les feuilles de palme déhiscentes et les tiges de cotonniers pour fabriquer de l'électricité.

Dans le même ordre d'idées, on peut citer le développement de la méthanisation en Allemagne ¹⁷ où l'association de lisier de porc et de plantes entières de maïs permet une production de gaz de méthane équivalent à 4,5 tep / hectare / an. Sachant qu'il s'agit d'une énergie finale et non plus primaire, de nouvelles perspectives de valorisation agricole et d'autonomie énergétique au niveau local sont à envisager.

c) Les gaspillages

Certains experts estiment ¹⁸ que plus de 30 % de la production alimentaire sont perdus. Dans les pays en voie de développement, ces pertes se font au niveau du champ ou du village en raison de l'absence d'infrastructures de stockage et de moyens de lutte contre les ravageurs. Dans les pays développés, les pertes ont lieu au niveau de la grande distribution et de la restauration collective. Une prise de conscience récente a conduit le ministre français de l'Agriculture à modifier les dates de péremption de certains produits alimentaires. Un effet gagnant - gagnant tant au niveau des industriels que des consommateurs s'en est suivi.

Au niveau du consommateur, les gaspillages énergétiques ne sont pas, non plus, négligeables : « *Aller une ou deux fois par semaine chercher 5 ou 10 kg d'aliments à l'hypermarché du centre commercial de banlieue avec 10 ou 20 km de trajet aller-retour, on dépense bien plus de carburants que pour tout le processus de production et de transformation de cette même quantité d'aliments* » ¹⁹.

4. CONCLUSIONS

Les questionnements actuels sur l'agriculture productrice de denrées alimentaires versus l'agriculture productrice de matériaux, de fertilisants et de carburants nous ont conduits à évaluer les productions agricoles à l'aune d'une seule unité de mesure, la *tonne équivalent pétrole* (tep). Il s'en est dégagé deux critères quantitatifs d'analyse : le rendement énergétique par hectare et le rapport de prix entre le grain, l'huile et

le pétrole. Le lien entre ces variables est à la base de toutes les stratégies de développement.

Pour promouvoir une nouvelle « *révolution agro-énergétique* », il faudra prendre en compte la gestion de l'affectation des terres, la fertilité des sols et les substitutions possibles entre les différentes cultures selon la valorisation locale des productions. Il faudra ensuite envisager une mosaïque de solutions au niveau des territoires, combinant les besoins et les ressources, tout en satisfaisant aux attentes économiques et sociales des populations concernées.

La satisfaction des besoins alimentaires mondiaux nécessitera :

- ◆ Une augmentation notable des rendements agricoles dans toutes les régions du monde
- ◆ Une meilleure exploitation des pâturages
- ◆ La réduction des pertes et des gaspillages post-récolte
- ◆ L'amélioration des performances des convertisseurs végétaux et animaux
- ◆ L'intégration de la problématique biocarburant et biogaz dans les problématiques territoriales.

L'augmentation de la production végétale et la mise en place de méthodes relevant de l'agro-écologie entraîneront automatiquement l'accroissement des disponibilités en énergie, puisque l'utilisation des plantes pour l'alimentation s'accompagne de coproduits (tige, coques, pailles) qui sont valorisables pour produire de la chaleur, des matériaux, des carburants et de l'électricité.

Les arbitrages doivent intégrer des mécanismes régulateurs dans la formation des prix. Autrement dit, un certain nombre de décisions doivent être coordonnées à l'échelon international. Les pouvoirs publics devront mener, à différents niveaux, une valorisation conjointe et équilibrée des différentes filières de la biomasse.

Au niveau des marchés, la prise en compte des écarts de performances entre les différentes économies ²⁰ conduira à introduire des bonus ou des handicaps au niveau des échanges internationaux, entre nations ou groupes de pays, afin d'assurer une relative sécurité alimentaire à chaque nations et éviter les perturbations dues à des variations excessives des prix.

À l'échelon international, il serait souhaitable qu'une gouvernance mondiale prenne en compte les utilisations de la biomasse, parallèlement avec ce qui existe pour le pétrole. Il conviendrait d'effectuer une liaison entre le système d'informations statistiques *Jodi-Oil*

17 - Situationsbericht 2011 - 2012, DBV.

18 - Marion Guillou et Gérard Mathron.

19 - René Dumont : « *La croissance de la famine, une agriculture repensée* ».

20 - Par exemple, la productivité du travail agricole entre les agricultures africaine et américaine : de 1 à 100, voire plus.

géré par le Forum international de l'énergie²¹ et le Système d'informations sur les marchés agricoles (AMIS²²) créé lors de la présidence française du G20 en 2011 et géré par la FAO. Seraient ainsi prises en compte les deux grandes « *nourritures terrestres* » : le pétrole et l'alimentation, comme cela avait été esquissé dans le cadre du G20 en 2011.

Pour mettre en place de nouveaux modèles de valorisation circulaire des ressources, prendre simultanément

en compte les caractéristiques des territoires et des mécanismes de formation des prix constitue la démarche fondamentale du paradigme émergent de la bio-économie. Cela entraînera la remise en cause de l'optimum parétien²³ comme critère unique de décision.

S'il semble possible de réaliser le nécessaire accroissement de la production agricole à l'horizon 2050, il ne faut pas oublier que la population de la terre devrait atteindre 8 milliards de personnes entre 2025 et 2030 et que nous risquons de ne pas être prêts à temps pour nourrir le milliard d'habitants supplémentaire et le milliard d'habitants qui, aujourd'hui, a faim.

21 - La *Joint Organisation Data Initiative (Jodi Oil)* a été créée en 2001. Elle regroupe aujourd'hui 90 pays (dont la France), mais aussi l'OPEC, l'AIE, Eurostat. Elle représente 90 % de l'offre et la demande de pétrole (<http://www.jodidata.org/oil/database/overview.aspx>).

22 - Le sigle *AMIS* renvoie à la traduction anglaise : *Agricultural market information system* (http://www.amis-outlook.org/fileadmin/user_upload/amis/docs/AMIS_brochure/AMIS_BROCHURE_FRENCH.pdf).

23 - La meilleure situation - soit au moins une personne satisfaite de plus par rapport aux autres situations.

Bibliographie

- Attali C. Les usages de la biomasse : quelles options politiques ? Annales des Mines
- Bairoch P. Victoires et déboires II Histoire économique et sociale du monde du XVI^e à nos jours. Folio histoire
- Bairoch P. Révolution industrielle et sous-développement. SEDES Paris
- Benoist A. Adaptation de la méthodologie des ACV. Mines ParisTech
- Bichat H. La biomasse énergie d'avenir. Quae
- Bonnet JF. Biomasse, énergie, alimentation. Université Bordeaux 1
- Boutonnet JP. Compétitivité des productions animales en Afrique sub-saharienne. Cirad
- Brunel S. Nourrir le monde, vaincre la faim. Larousse
- Chalmin P. Le monde a faim. Bourin
- Collaert JP. Céréales. Rue de l'échiquier
- Combarous M. Quels développements à court et moyen termes pour les énergies renouvelables dans le monde et autour de la Méditerranée. Université Bordeaux1
- Darlot A. Le problème énergétique mondial. CEMAGREF BI292
- de Rosnay J. Le macroscope. Seuil
- Debier JC, Deleage JP, Hemery D. Une histoire de l'énergie. Flammarion
- Dumont R. La croissance de la famine. Points
- Feillet P. La nourriture des français. Quae
- Griffon M. Pour des agricultures écologiquement intensives. Aube
- Leridon H. de Marsily G. Démographie, climat et alimentation mondiale. Académie des sciences
- Lhoste P. Havard M. Vall E. La traction animale. Quae
- Mazoyer M. Roudart L. Histoire des agricultures du monde. Seuil
- Mons L. Les enjeux de l'énergie. Larousse
- Paillard S. Treyer S. Dorin B. Scénarios et défis pour nourrir le monde en 2050. Quae Agrimonde
- Parmentier B. Nourrir l'humanité. La découverte
- Passet R. Les grandes représentations du monde et de l'économie.
- Perrin D. Helleisen P. Texier PH. Les objectifs potentiels de la présidence française du G20 en matière agricole. Rapport IGF, CGAAER
- Petit M. Pour une agriculture mondiale productive et durable. Quae
- Polanyi K. La subsistance de l'homme, la place de l'économie dans l'histoire et la société. Flammarion
- Pomeranz K. Une grande divergence. Albin Michel
- Pommery L. Aperçu d'histoire économique contemporaine. Librairie de Medicis
- Rastoin JL. Le système alimentaire mondial. Quae
- Rifkin J. La troisième révolution industrielle.
- Rifkin J. Une nouvelle conscience pour un monde en crise.
- Texier PH. Problématiques agricoles du XXI^e siècle. IRA Nantes
- Touchard P. La nouvelle économie mondiale en chiffres. Puf
- Valluis B. Sécurité alimentaire : pour des stocks de réserve. FARM
- Vernier J. Les énergies renouvelables. Puf
- Villalonga A. L'agriculture chinoise tradition et transition. Éditions Bière
- Villey D. Petite histoire des grandes doctrines économiques. Éditions M-Th Génin
- Wirsenius S. Human use of land and Organic material. Gateborg University