



LA BIOMASSE : UN RÉSERVOIR D'ÉNERGIE POUR DEMAIN



Remarque

On s'éclairait déjà il y a 12 000 ans, avec de la graisse, ce qui est encore vrai pour des populations isolées vivant près du pôle Nord.



Remarque

Le premier moteur diesel dans les années 1900 fonctionnait à partir d'huiles végétales plutôt que de carburants fossiles (pétrole, gaz, charbon).

Avant même l'arrivée du pétrole, le premier biocarburant était l'avoine !

Cinq millions d'hectares étaient utilisés pour produire l'avoine qui servait de nourriture aux chevaux afin de véhiculer des populations, les marchandises...

C'était une forme de biocarburant mais le réacteur qui traduisait l'avoine en énergie était le cheval qui savait très bien la biotransformer.

Les sciences ont progressé et l'homme est aujourd'hui capable, tels les chevaux, d'effectuer des chimio- ou biotransformations à partir de ce que nous appelons la biomasse.

Nous allons tout le long de ce chapitre parcourir les évolutions réalisées dans ce domaine et ainsi prendre conscience de comment l'homme a pu développer des sources énergétiques nouvelles et prometteuses pour l'avenir.



Figure 1

Avant l'arrivée du pétrole.



Qu'est-ce que la biomasse ?

Le terme regroupe l'ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale pouvant devenir des sources d'énergie.

Les matières organiques qui proviennent des plantes peuvent être considérées comme une forme de stockage de l'énergie solaire, captée et utilisée par les plantes grâce à une substance chimique dite chlorophylle et bien sûr le dioxyde de carbone ambiant.

Nous considérerons comme biomasse la partie biodégradable des :

- produits déchets et résidus provenant de l'agriculture y compris les déchets organiques de l'industrie alimentaire ;
- produits et déchets provenant de la sylviculture (« sylvia » en latin = bois, forêt) ;
- déchets et résidus végétaux de l'industrie du bois (exploration forestière...).

Les biocarburants

En préambule, il faut noter que dans le monde en développement, les besoins énergétiques en mobilité dépassent substantiellement les besoins en électricité (Fig. 2).

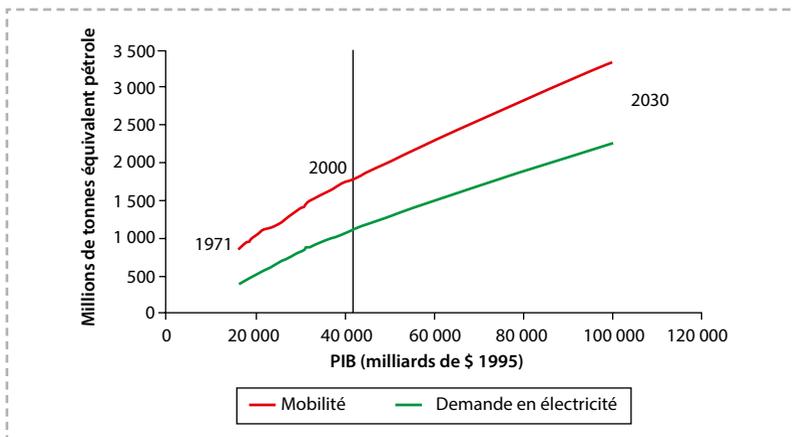


Figure 2

Une demande en croissance pour la mobilité.



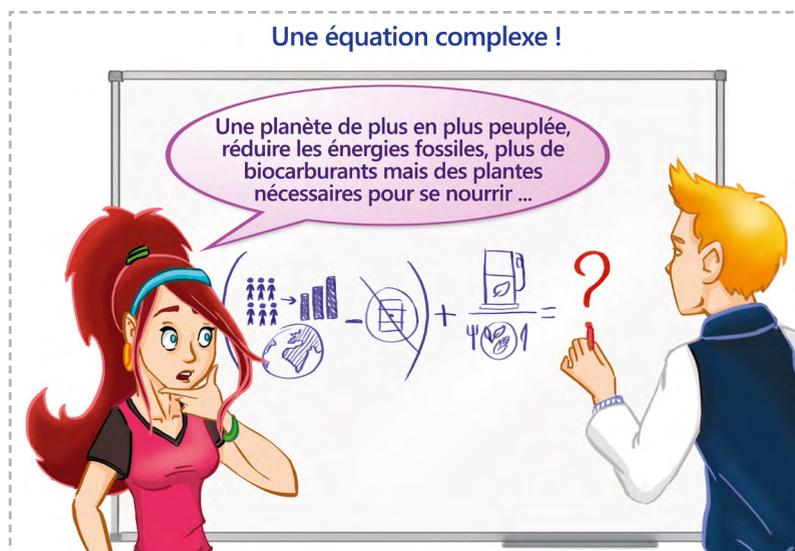
Si l'on tient compte des enjeux du futur, les objectifs sont :

- réduire la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles (charbon et pétrole pour l'essentiel) en diversifiant les sources d'énergie ;
- contrôler le réchauffement climatique et entre autres, diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Les biocarburants, c'est-à-dire les carburants issus de matières végétales sont une alternative aux énergies fossiles dans le secteur des transports.

Figure 3

La biomasse, une solution d'avenir.



La diversité des biocarburants

Différents types de biocarburants

On trouve les biocarburants liquides comme gazeux :

- liquides :
 - éthanol/ETBE (éthyle t-butyle éther),
 - huile végétale pure,
 - biodiesel : esters des acides gras,
 - huile végétale hydrogénée,
 - autres produits (bio-butanol...)
- gazeux :
 - biogaz,
 - DME (diméthyle éther),
 - hydrogène.

Les biocarburants sont classés en deux voire trois générations.



Génération 1

Elle est issue des plantes qui ont un contenu énergétique et sont facilement accessibles, puisque c'est en partie celles que nous utilisons pour nous nourrir.

Il y a là indiscutablement une concurrence entre production alimentaire et production de carburants : faut-il cultiver les terres agricoles pour produire des ressources alimentaires ou pour fabriquer de l'énergie ?

Génération 2

Cette génération est intéressante dans la mesure où elle se développe à partir des déchets, ceux du type lignocellulosique.

Génération 3

Les procédés s'appuient de plus en plus sur l'utilisation de microorganismes tels que les microalgues. Ce type de procédés doit se développer et s'industrialiser dans un futur proche



Remarque

Il s'agit de la betterave, de la canne à sucre, du blé, du maïs, de la pomme de terre, du colza, du tournesol...



Remarque

Il s'agit du bois, de l'herbe, des résidus agricoles et forestiers.

Figure 4

Une nouvelle génération de biocarburant grâce aux microalgues.



Photosynthèse :

processus biochimique qui permet aux plantes, grâce à l'énergie solaire et une substance chimique dite chlorophylle, de transformer le carbone inorganique (dioxyde de carbone) en matière organique, par exemple le sucre.

Les cyanobactéries et les microalgues sont toutes deux des microorganismes photosynthétiques bien que différents dans leur constitution ; les uns étant dans l'ordre des procaryotes, les autres des eucaryotes.



Procarvte :
micro-organisme généralement unicellulaire dont la cellule, très petite, est dépourvue d'organites et de noyau. Le matériel génétique se trouve dans le cytoplasme de la cellule par exemple les bactéries.

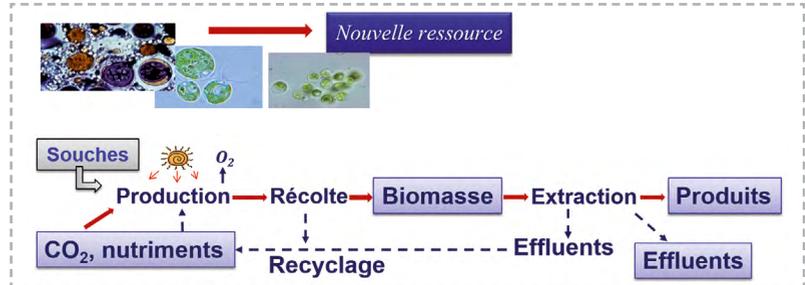
Figure 5

Le cycle de production des microalgues.



Eucaryote :
organisme plus compliqué dont le matériel génétique est contenu dans un noyau et permet une plus large diversification génétique (Homme, animaux, plantes...)

Le procédé est assez simple : il s'agit de fournir aux microalgues, au sein d'un bassin, les nutriments nécessaires et du dioxyde de carbone qui grâce au rayonnement solaire, produiront la biomasse exigée (Fig. 5).



La photosynthèse, seule partie visible du spectre, permet l'utilisation du carbone minérale donc du CO₂ pour le métabolisme de l'organisme.

De la même façon que les autres plantes, les nutriments se résument à du phosphore, nitrates, etc.



Remarque

La production d'algocarburants permettrait également de recycler le CO₂ émis par des usines ou des centrales thermiques.

La valorisation énergétique des microalgues

L'hydrogène

Les premières études, déjà anciennes, se sont intéressées à l'hydrogène puisqu'il a été observé, depuis les années 1940, que sous certaines conditions, les algues étaient capables de produire de l'hydrogène.

Et ceci constitue une des cibles privilégiées des industriels pour la production future.



Remarque

La production se fait à partir d'une microalgue appelée *chlamydomonas reinhardtii*.

Elle possède une enzyme (catalyseur biologique), dite hydrogénase et est capable de transformer les protons en hydrogène, H⁺ en H₂.

Les hydrocarbures

Beaucoup de laboratoires se sont orientés vers la production des lipides, de carburants diesel ou d'autres hydrocarbures puisque certaines microalgues les produisent et les relèguent dans le milieu.



La *figure 6* montre un exemple de production de substances lipidiques à fort potentiel énergétique.

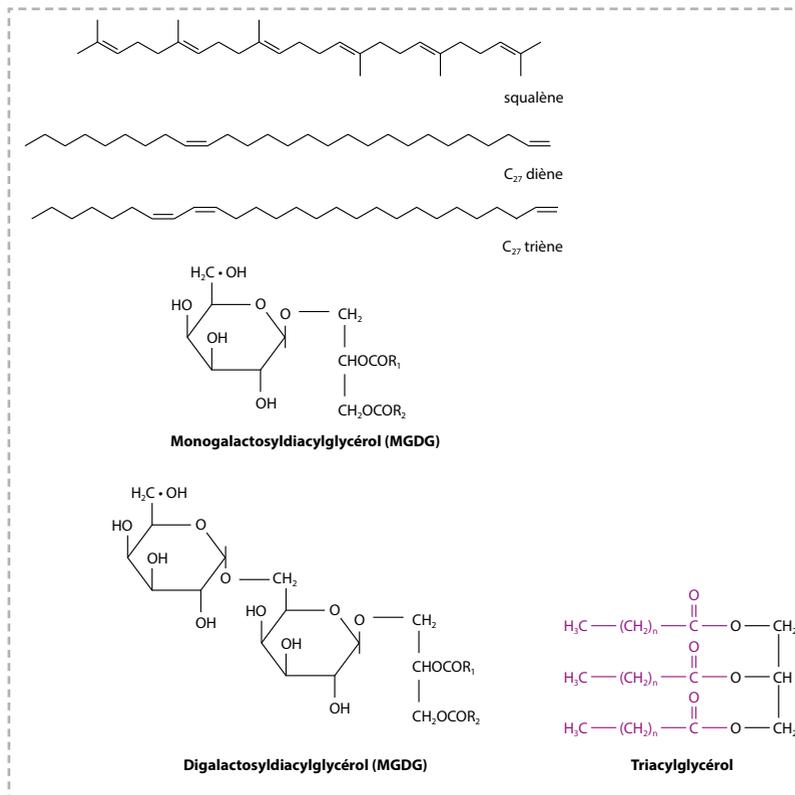


Figure 6

Les lipides neutres, comme les triacylglycérols, sont une des classes de molécules produites par les microalgues, lieu de stockage d'énergie.



Remarque

Les polysaccharides sont une source de bioéthanol.

Autres biomatériaux

Des mélanges avec d'autres déchets sont possibles pour la phase de production et extraction.

Là aussi, il y aura de la concurrence avec les ressources en nutrition mais il faut souligner le potentiel de haut rendement de production des « biomatériaux » (protéines, glucides, lipides...) quand les différentes étapes d'élaboration seront optimisées.



Spiruline : algue comestible, de la famille des cyanobactéries, utilisée comme complément alimentaire.

Un exemple parlant : la spiruline

Une poignée de spiruline peut contenir l'équivalent d'environ :

- 35 g de bœuf en protéines ;
- trois verres de lait en calcium ;
- trois bols d'épinard en fer.

À noter que la qualité des protéines de la spiruline est celle exigée pour l'alimentation humaine.

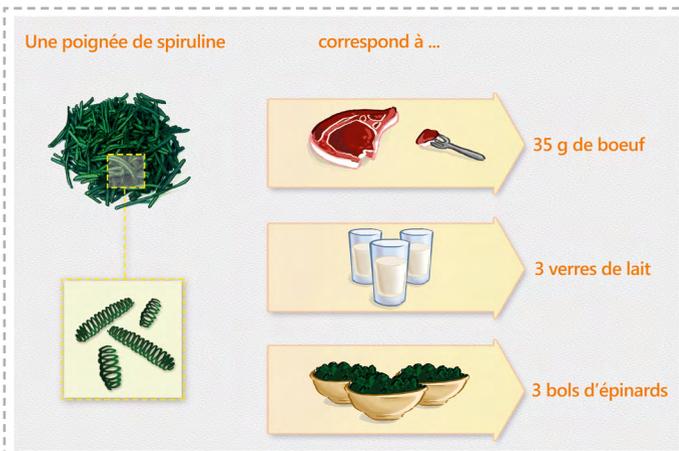


Figure 7

Exemple de la spiruline (compétition ressources nutritionnelles).

La biomasse : un projet d'avenir pour la chimie

La règle d'or consiste à vérifier que l'énergie consommée est inférieure ou au moins égale à celle produite par le nouveau procédé.

Une des stratégies consiste à scinder les molécules issues de la nature en monoxyde de carbone et hydrogène et les recombinaison pour former des hydrocarbures par une réaction de synthèse dite de « Fischer-Tropsch ».



Synthèse de « Fischer-Tropsch »

L'invention du procédé remonte à 1923.

Il repose sur la transformation catalytique de l'oxyde de carbone par l'hydrogène en hydrocarbures, servant de carburant liquide synthétique.

Ce procédé a été mis au point et exploité lors de la Seconde Guerre mondiale par l'Allemagne, pauvre en pétrole mais riche en charbon.

La *figure 8* ce que nous pouvons faire par cette reconstitution et les utilisations possibles.

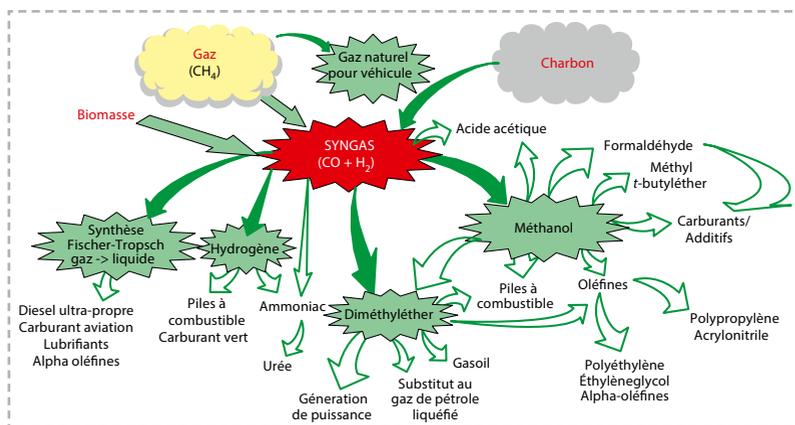


Figure 8

Chimie et filières alternatives en vue de diminuer les rejets de gaz à effet de serre.

Cette voie de synthèse n'est pas optimale dans la mesure où il s'agit d'une voie thermochimique donc par définition énergivore.

Pour y remédier, il s'agit donc de développer et accélérer deux axes de recherche et de développement bien distincts qui demanderont coopération et synergie des savoir-faire de disciplines voisines :

- la découverte et mise au point (procédés de synthèse) de nouveaux catalyseurs susceptibles d'abaisser l'effort énergétique exigé ;
- la voie biochimique basse température utilise des enzymes pour catalyser la transformation de la biomasse en sucre, qui par fermentation, conduit à l'éthanol dit de deuxième génération (*Fig. 9*).



Catalyseur :

substance qui favorise une réaction chimique au moindre coût énergétique ; il s'agit simplement d'un levier qui nous permet de soulever des poids insoulevables autrement.



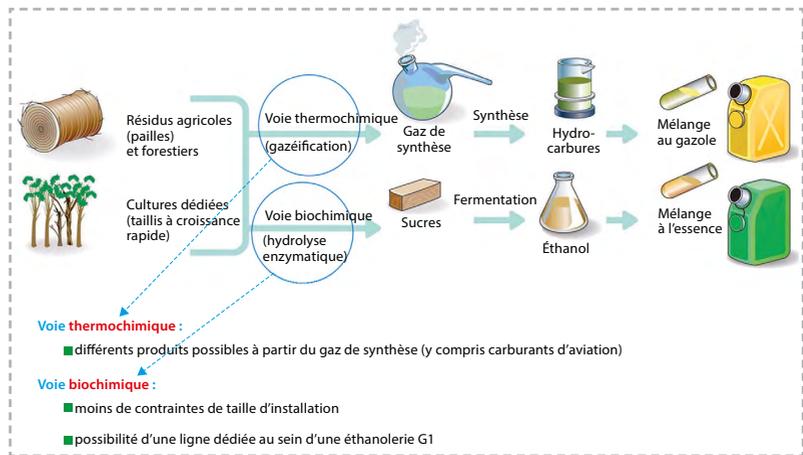
Enzyme :

substance organique qui active une réaction biochimique.



Figure 9

Les filières biocarburants de 2^e génération.

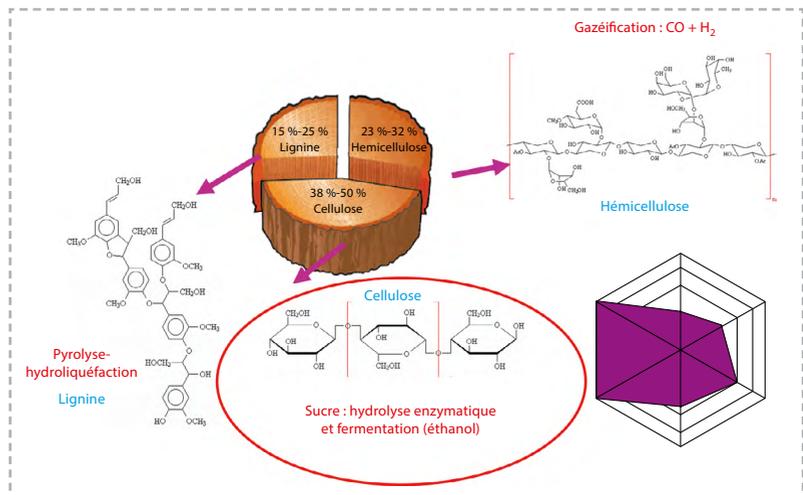


Pyrolyse : défaire des liaisons chimiques par le feu (pyra en grecque = feu).

Cette dernière méthode pose moins de contraintes de tailles d'installations. Il faut séparer la lignine de la cellulose comme de l'hémicellulose ; le procédé actuellement utilisé demande une réaction chimique exigeant une très haute température dite pyrolyse (Fig. 10).

Figure 10

Éthanol de seconde génération.



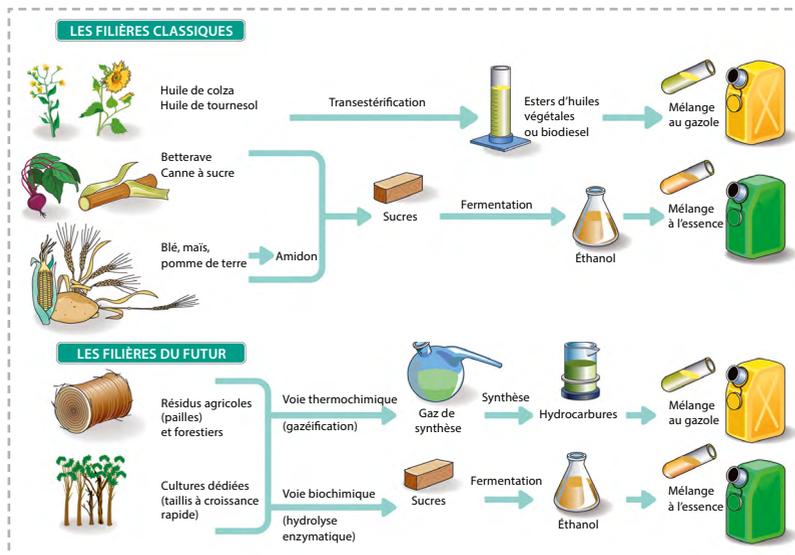
La cellulose est par la suite hydrolysée en glucose par l'intermédiaire d'une réaction de catalyse enzymatique.

Le glucose est transformé en méthanol par fermentation puis récupéré par distillation.



Comme le montre la *figure 11*, pour ce qui concerne l'hémicellulose qui représente en gros 30 % du bois, elle peut aussi être valorisée et transformée en gaz de synthèse.

En termes de conclusion, si l'on compare les différentes voies de production de biocarburants, les procédés biochimiques apparaissent plus intéressants car moins consommateurs en énergie. La *figure 11* résume l'ensemble des démarches poursuivies.



Remarque

La cellulose est un polymère de glucose qui lie chaque unité en une chaîne qu'il faut défaire pour récupérer l'unité (anneau) élémentaire.

Figure 11
Les principales voies pour la production de biocarburants.

Distillation : procédé qui consiste grâce au point d'ébullition d'un liquide de le séparer par chauffage des autres liquides qui l'accompagnent dans un mélange parfois complexe ; ainsi le méthanol qui « bout » avant l'éthanol où l'eau est le premier à être évaporé et récupéré par refroidissement sous forme de liquide propre.

Les biocarburants **de première génération**, utilisant le sucre, les céréales et les huiles végétales ont permis, grâce aux filières classiques, de fabriquer de l'éthanol et du biogaz utilisés dans les moteurs essence, ainsi que du biodiesel à partir d'huiles végétales hydrogénées, utilisé dans les moteurs diesel.

En revanche, ces carburants sont peu utilisables dans l'aviation, un mode de mobilité qui augmente de plus en plus.

Les biocarburants **de deuxième génération** utilisant le bois et les déchets sont ceux dont les filières de production seront développées dans le futur pour produire :

- de l'éthanol, du bio-butanol, du biogaz et de l'hydrogène, utilisables dans les moteurs à essence ;



- du biodiesel à partir de la biomasse transformée en liquide et du diméthyle éther utilisable dans les moteurs diesel ;
- de l'hydrogène et des alcools lourds utilisables dans l'aviation.

En ce qui concerne la **troisième génération** en relation avec les microalgues,

le nombre gigantesque et l'extrême diversité des microalgues offrent un éventail impressionnant pour effectuer des synthèses chimiques ou des biotransformations de produits d'intérêt pour l'ensemble de l'humanité. Ils ont l'avantage d'utiliser, pour grandir et produire, simplement de l'énergie solaire, laquelle est transformée en produits, grâce à la photosynthèse et le gaz carbonique.

Des progrès significatifs ont été réalisés. La conjugaison et coopération future de savoir-faire du génie génétique comme chimique devrait très rapidement permettre l'exploitation de cette immense réserve d'énergie.

Conclusion

La biomasse offre aujourd'hui de belles perspectives comme source d'énergie. Les chimistes doivent continuer à travailler pour développer des techniques afin d'optimiser leur utilisation.