



Biocarburants ou agrocarburants ?

L'expression biocarburant indique que ce carburant est obtenu à partir de matière organique (biomasse), par opposition aux carburants issus de ressources fossiles. L'appellation biocarburant a été promue par les industriels de la filière et certains scientifiques. C'est la dénomination retenue par le Parlement européen.

L'expression agrocarburant, plus récente (2004), indique elle que le carburant est obtenu à partir de produits issus de l'agriculture.

Elle est privilégiée par certains scientifiques, une partie de la classe politique française (à sensibilité écologiste) et des médias qui estiment que le préfixe « bio » est associé en France au mode de production de l'agriculture biologique et soupçonnent les industriels de la filière de profiter de l'image positive de celle-ci.

En langue anglaise l'expression « biofuel » qui fait consensus peut être également retrouvée dans des textes francophones.

Première et deuxième génération

On distingue les biocarburants de première et de seconde génération. Plusieurs définitions complémentaires coexistent. Une des plus importantes distingue les carburants issus de produits alimentaires, des carburants issus de source ligno-cellulosique (bois, feuilles, paille, etc.) ou de déchets.

Ainsi la première génération de biocarburants repose sur l'utilisation des organes de réserve des cultures :

- ✓ les graines des céréales (blé, maïs) ou des oléagineux (colza, tournesol, jatropha),
- ✓ les racines de la betterave ou la canne à sucre,
- ✓ les fruits du palmier à huile.

Ces organes de réserves des plantes stockent le sucre (betterave et canne), l'amidon (blé, maïs), ou l'huile (colza, tournesol, palme, jatropha).

Ces organes de réserves étant également utilisés pour l'alimentation humaine, la production de biocarburants se fait en concurrence de la production alimentaire.



Les biocarburants de seconde génération n'utilisent plus les organes de réserve des plantes mais les plantes entières ou des déchets de végétaux. Ce qui est valorisé est la lignine et la cellulose des plantes qui sont contenues dans toutes les cellules végétales. Il est alors possible de valoriser les pailles, les tiges, les feuilles, les déchets verts (taille des arbres, etc) ou même des plantes dédiées, à croissance rapide.

Pour cette raison, certains considèrent que la production de biocarburants de deuxième génération nuit moins aux productions à visée alimentaire.

Une autre définition repose sur les moyens utilisés pour produire le carburant avec d'une part les biocarburants produits à partir de processus techniques simples et d'autre part ceux produits à partir de techniques avancées.

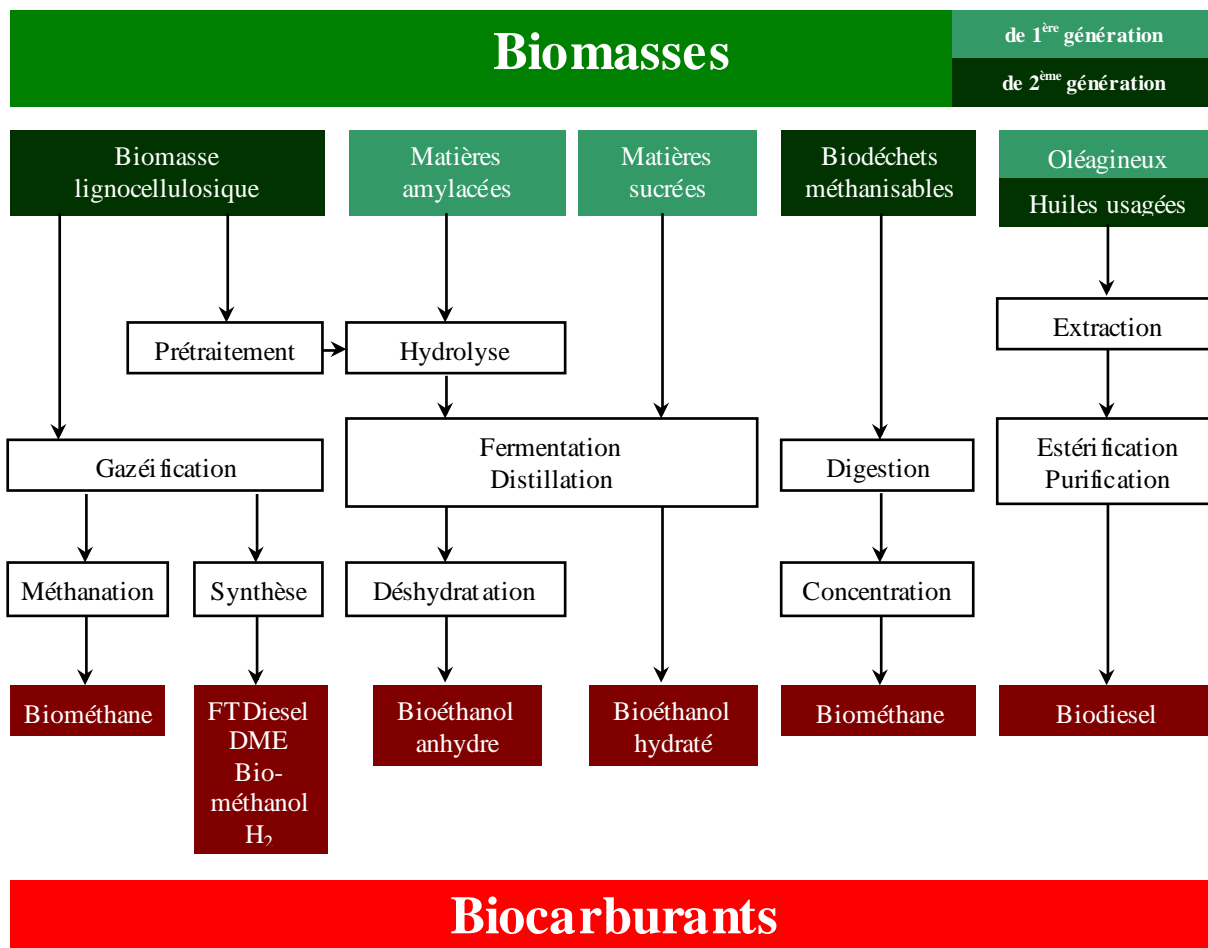


Diagramme de synthèse des biocarburants de 1^{ère} et de 2^{ème} génération

Les filières de première génération

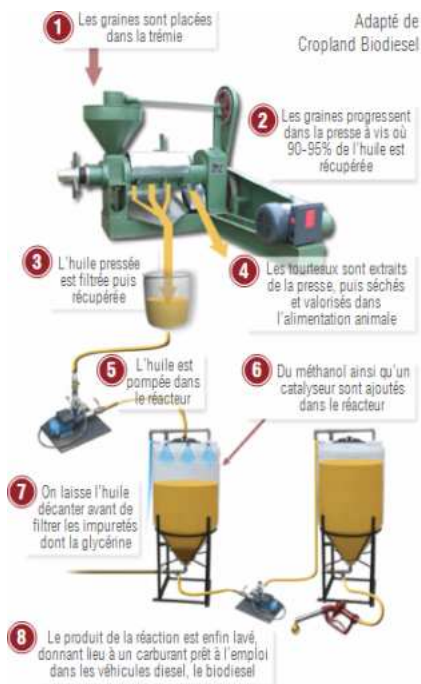
Filière huile pour les véhicules diesel

On cherche à adapter l'agrocarburant (par transformation chimique pour obtenir du biodiesel par exemple) aux moteurs actuels, conçus pour fonctionner avec des dérivés du pétrole. C'est la stratégie actuellement dominante mais elle n'a pas le meilleur bilan énergétique ni environnemental.

Les huiles végétales s'obtiennent classiquement par simple pressage de graines oléagineuses telles que le colza, le tournesol, le soja, etc. Des graisses animales ainsi que des huiles alimentaires usagées peuvent également être utilisées à cet effet.

Deux grandes voies d'utilisation sont ouvertes :

- ✓ L'huile végétale brute (HVB) peut être utilisée directement, dans les moteurs diesels, pure ou en mélange, mais, notamment à cause de sa viscosité relativement élevée et d'un indice de cétane (aptitude à l'auto-inflammation) trop faible, l'utilisation d'une fraction d'huile importante nécessite l'adaptation des moteurs.
- ✓ Le biodiesel (aussi appelé en France diester), obtenu par la transformation des triglycérides qui constituent les huiles végétales; la transestérification de ces huiles, avec du méthanol ou de l'éthanol, en présence d'un catalyseur, généralement de l'hydroxyde de potassium KOH ou de sodium NaOH), produit des Esters d'Huile Végétale, respectivement méthyliques (EMHV) et éthyliques (EEHV). La réaction de transestérification est réalisée à température modérée (20-80°C) et à pression atmosphérique.



- 1 Déchargement
- 2 Pressage
- 3 Filtration
- 4 Extraction des tourteaux
- 5 Pompage
- 6 Ajout des réactifs
- 7 Transestérification et décantation
- 8 Lavage

Processus de production de biodiesel ou diester

Source <http://www.plateforme-biocarburants.ch>

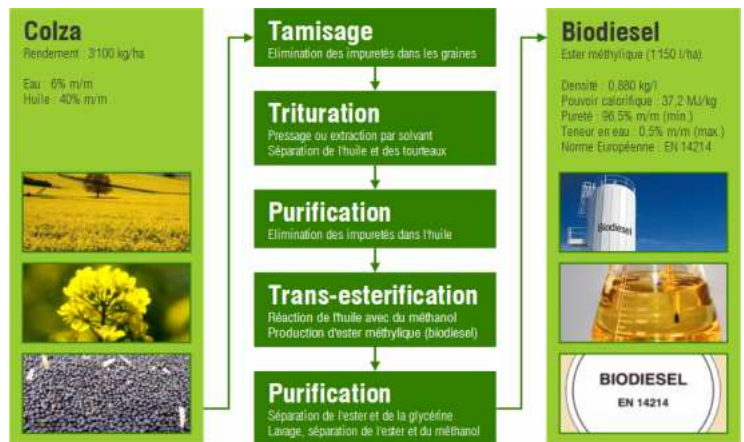


Site de production de Grand Couronne (76)

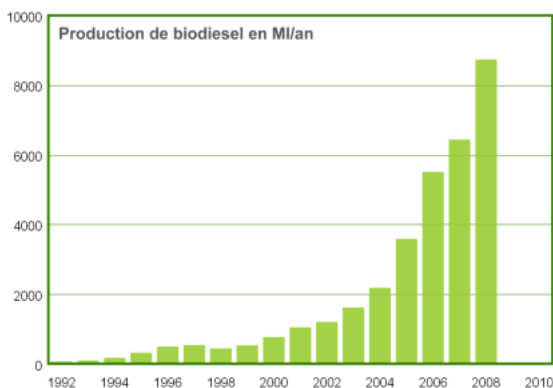
En France, c'est principalement le colza qui est utilisé (avec une faible part de tournesol) pour la fabrication des EMHV.

Le diester était utilisé à hauteur de 5% d'incorporation depuis 2005 jusqu'en 2007. Cette valeur est passée à 5.75% en 2008 en France. Les objectifs sont de 7% en 2010 et 10% d'ici 2015.

A ces niveaux il ne nécessite pas d'adaptation des moteurs.

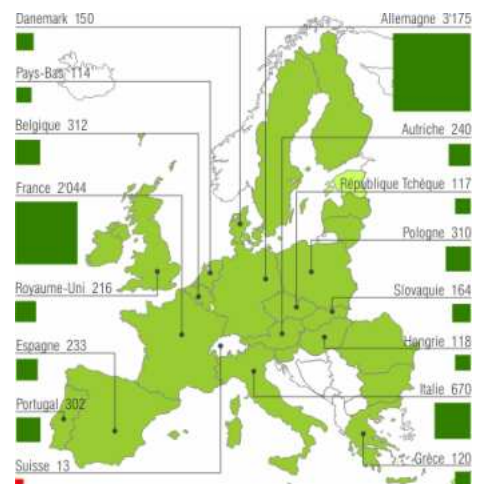


Le B30 est un carburant qui est dû à l'association de 30% de EMVH et de 70% d'énergie fossile. Pour l'utiliser il faut juste faire une modification mineure sur les moteurs diesel. Il est utilisé seulement pour les transports en commun et véhicules d'entreprises.



Evolution de la production de biodiesel dans l'UE

Production de biodiesel en 2008 en Ml/an



Filière alcool pour les véhicules à essence

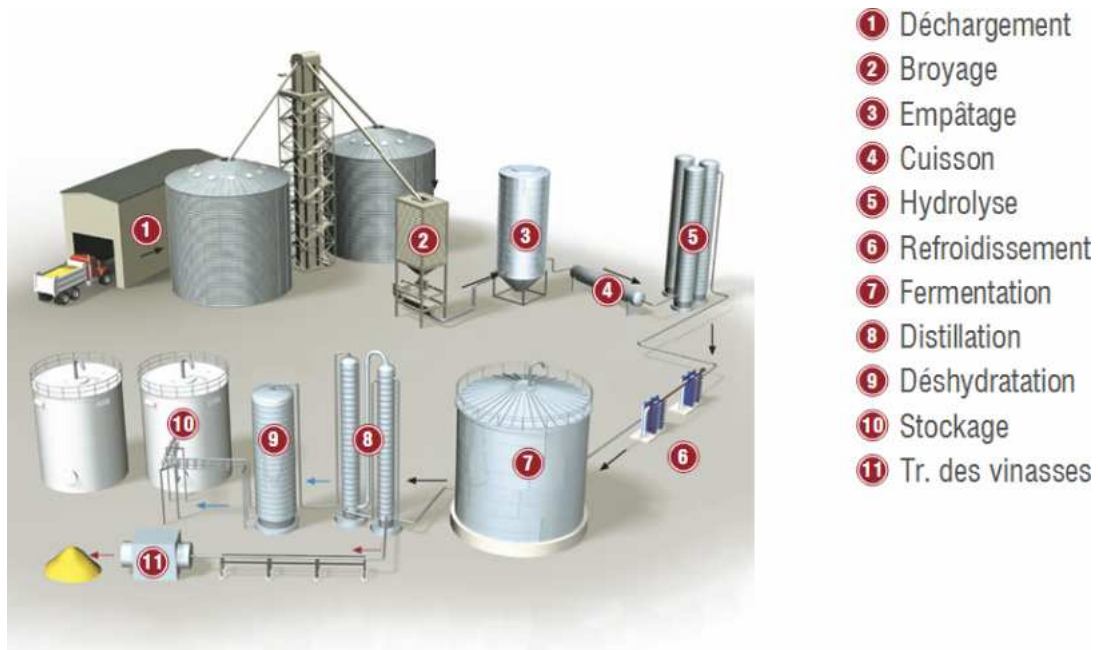
De nombreuses espèces végétales sont cultivées pour leur sucre : c'est le cas par exemple de la canne à sucre, de la betterave sucrière, du maïs, du blé ou encore dernièrement de l'ulve (laitue de mer).

- ✓ Le bioéthanol est obtenu par fermentation de sucres (sucres simples, amidon hydrolysé) par des levures du genre *Saccharomyces*.

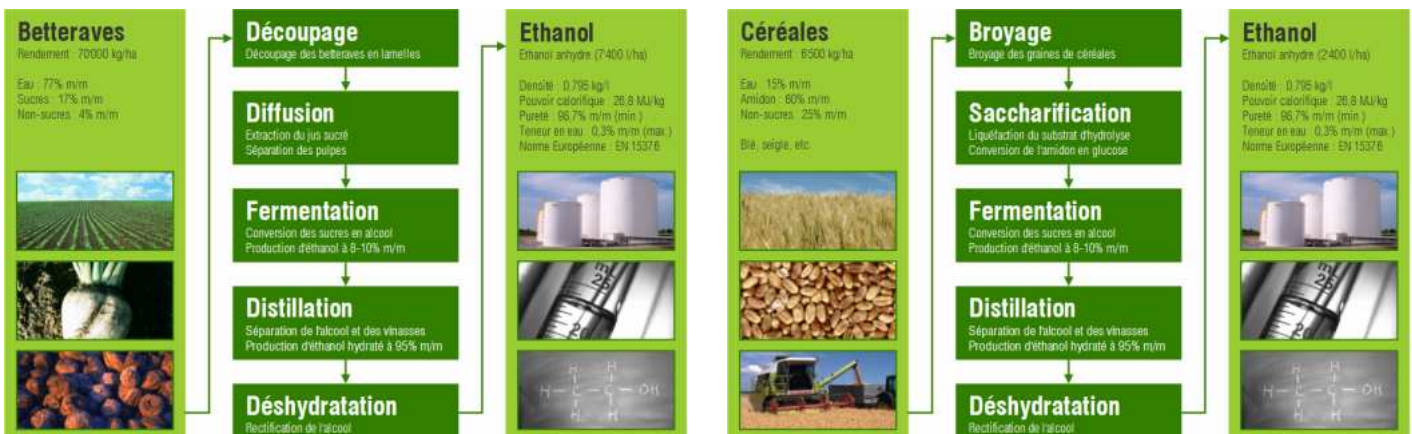
L'éthanol peut remplacer partiellement ou totalement l'essence. Il existe plusieurs types de carburants contenant de l'éthanol la plupart sont des mélanges d'essence et d'éthanol à différentes proportions. On les désigne par la lettre E suivie du pourcentage d'éthanol dans le mélange : par exemple du E85 représente un carburant contenant 85% d'éthanol et 15% d'essence. On trouve ainsi du E5, E7, E10, E15, E20, E85, E95, E100 en fonction du pays dans lequel on se trouve et de l'utilisation que l'on veut en faire.

En France, la commercialisation de l'E85 aux particuliers, légalement nommé Superéthanol, est officielle depuis le 1er janvier 2007.

La figure ci-dessus présente de façon schématique le processus de production de bioéthanol à partir de céréales. Suivant l'état de polymérisation, ces sucres doivent subir un (ou plusieurs) traitement(s) préalable(s), dont le but est de transformer les chaînes de polymères en sucres simples. Après fermentation à l'aide de micro-organismes (levures, bactéries, etc.), l'éthanol est recouvré par distillation (éthanol hydraté à 95-96% v/v), puis par déshydratation (éthanol anhydre à 99,7% v/v).

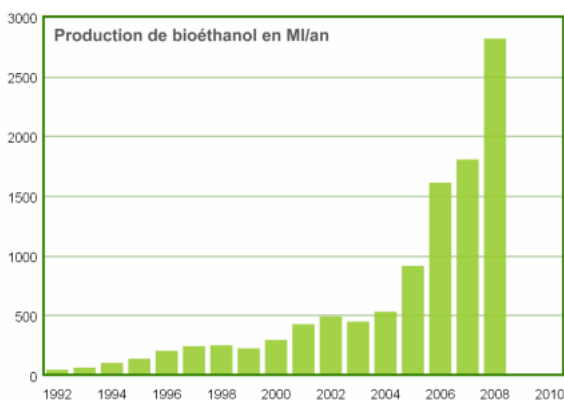


En France, ce sont la betterave et les céréales qui sont les principales ressources utilisées pour la production de l'éthanol.



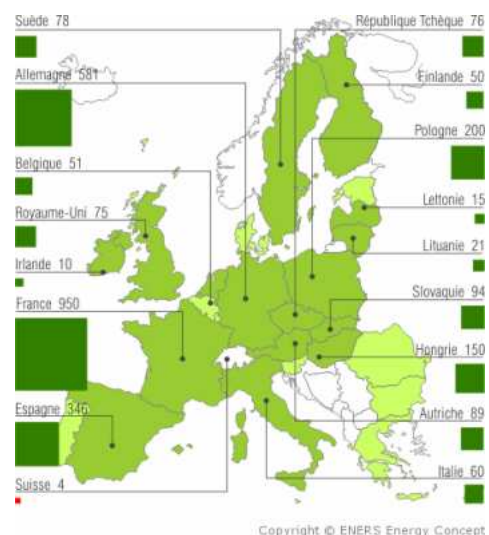
- ✓ L'éthyl-tertio-butyl-éther (ETBE) est un dérivé de l'éthanol. Il est obtenu par réaction entre l'éthanol et l'isobutène (obtenu lors du raffinage du pétrole) et est utilisé comme additif à hauteur de 15 % à l'essence.
L'ETBE aurait l'avantage d'être mieux adapté aux moteurs. En effet, l'incorporation directe de l'éthanol à l'essence pose certaines difficultés techniques : le mélange essence/éthanol a une pression de vapeur plus élevée et tolère mal la présence de traces d'eau. Néanmoins, l'ETBE est moins vertueux pour l'environnement, d'où le choix de la France (et de nombreux autres pays) pour l'E85.
- ✓ Le biobutanol (ou alcool butylique) est obtenu grâce à la bactérie *Clostridium acetobutylicum* qui possède un équipement enzymatique lui permettant de transformer les sucres en butanol-1 (fermentation acétonobutylique). Du dihydrogène, et d'autres molécules sont également produites : acide acétique, acide propionique, acétone, isopropanol et éthanol. Les entreprises BP et DuPont commercialisent actuellement le biobutanol ; il présente de nombreux avantages par rapport à l'éthanol (moins volatile et moins agressif vis-à-vis de certains plastiques) et est de plus en plus souvent évoqué comme biocarburant de substitution à l'heure du pétrole cher. Il n'est pour l'instant pas distribué en Europe.

Remarque : le méthanol est aussi utilisable, en remplacement partiel (sous certaines conditions) de l'essence, comme additif dans le gasoil, ou, à terme, pour certains types de piles à combustible. Le méthanol est cependant très toxique pour l'homme.



Evolution de la production de bioéthanol dans l'UE

Production de bioéthanol-carburant en 2008 en Ml/an



Les filières de deuxième génération

Les biocarburants de 2^{ème} génération sont obtenus à partir de biomasse sans concurrence d'usage avec l'utilisation alimentaire : paille de céréales, miscanthus, bois et résidus forestiers et cultures dédiées. Il y a deux filières de production possibles: la filière biochimique de production d'éthanol cellulosique et la filière thermochimique de production de carburant diesel de synthèse BtL (Biomass to Liquid).

Mais quelles sont les principales sources de biomasse lignocellulosique ?

Les pailles, parties résiduelles des céréales, représente environ 50% du poids total de la plante. Historiquement elles ont été principalement utilisées pour l'alimentation animale mais les récents usages incluent les biocarburants du fait de la conversion possible de la lignocellulose en bioéthanol.



Les arbres à croissance rapide et les herbes comme l'eucalyptus, le chanvre, le miscanthus, la canne de provence.

Des travaux de recherche sont actuellement menés (en France par l'INRA) sur des espèces de peupliers.



Production d'éthanol cellulosique

C'est la voie biochimique

Les procédés de production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique intègrent plusieurs considérations de base:

- la lignine ne peut être fermentée en éthanol,
- la matrice lignocellulosique doit être prétraitée pour rendre cellulose et hémicelluloses hydrolysables,
- les fractions cellulosiques et hémicellulosiques sont des sources potentielles de sucres fermentescibles.

Par conséquent, le schéma générique du procédé comprend les principales opérations unitaires suivantes : le prétraitement de la matière première, l'hydrolyse, la fermentation éthanolique et la séparation de l'éthanol du moût de fermentation.



Source : Etat des lieux, perspectives et enjeux du développement - David BALLERINI, avec la collaboration de Nathalie ALAZARD-TOUX

Le prétraitement

Il ne s'agit pas du conditionnement du végétal proprement dit qui consiste généralement en un broyage/découpage des matériaux fibreux, mais du traitement nécessaire pour rendre la cellulose accessible à l'hydrolyse.

Les principaux procédés de prétraitement ont pour objectif :

- d'abaisser la teneur en lignine et hémicelluloses du substrat solide à traiter,
- d'augmenter la porosité de la matrice, en diminuant la cristallinité de la cellulose ou en augmentant sa surface spécifique,
- de conjuguer les deux principes.

Procédés physiques	Broyage mécanique intense (fragments <2mm) Thermolyse (chauffage à T<300°C suivi d'une hydrolyse acide)
Procédés physico-chimiques	Thermohydrolyse (cuisson sous forte pression à ~200°C pendant 15 à 60 minutes permettant la solubilisation de l'hémicellulose et de la lignine) Explosion à la vapeur (injection de vapeur à haute pression pendant quelques secondes suivi d'une détente brutale à pression atmosphérique) Explosion à la vapeur en conditions acides (identique à la précédente mais en milieu acide) Procédé AFEX (Ammonia Fiber Explosion) Explosion au CO₂
Procédés chimiques	Prétraitement à l'acide dilué à chaud Prétraitement en milieu alcalin (qui conduisent à une solubilisation quasi-totale de la lignine et d'une partie des hémicelluloses et à un gonflement des fibres de cellulose ainsi rendues beaucoup plus accessibles aux enzymes) Le procédé Organosolv consiste à solubiliser et extraire la lignine et les hémicelluloses dans un solvant organique Procédés d'oxydation chimique , notamment l'ozonolyse ou l'oxydation humide Procédés biologiques mettant en oeuvre des enzymes de type peroxydase ou des champignons lignolytiques

Le procédé de prétraitement universel et idéal n'existe pas. Les technologies a priori les plus attrayantes sont la thermohydrolyse, le prétraitement à l'acide dilué et l'explosion à la vapeur. Elles dépendent du matériau à traiter.

L'hydrolyse

Du fait de la structure de la cellulose, de sa cristallinité et de son association avec la lignine et les hémicelluloses encore présents, même après l'étape de prétraitement, son hydrolyse en monomères fermentescibles (glucose) est une opération difficile qui peut être réalisée par deux méthodes : hydrolyse chimique catalysée par un acide ou hydrolyse enzymatique.

L'hydrolyse chimique se fait en deux étapes. La première est semblable au prétraitement par acide dilué et permet de digérer les hémicelluloses et de solubiliser les sucres qui en sont issus. Après séparation, la fraction solide contenant la cellulose est soumise à une nouvelle hydrolyse.

L'hydrolyse de la cellulose par des enzymes est souvent la voie préconisée pour l'obtention des sucres fermentescibles pour les raisons suivantes :

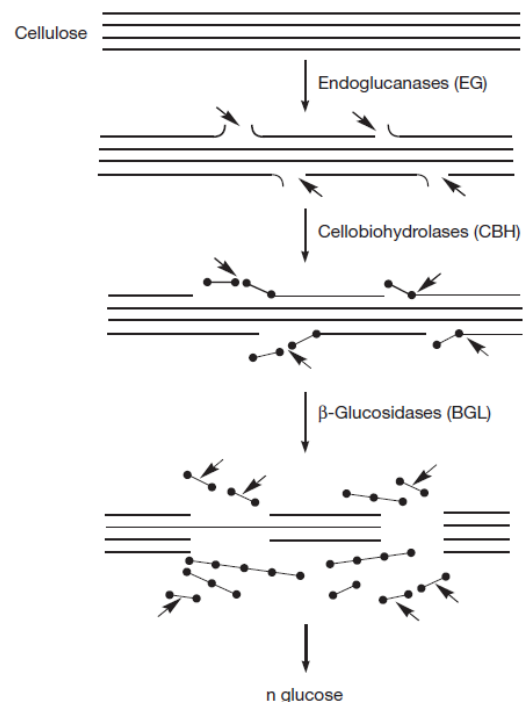
- elle est plus économique ,
- elle génère peu d'effluents à traiter,
- elle présente des perspectives d'amélioration beaucoup plus grandes que l'hydrolyse chimique qui a fait l'objet de travaux depuis plusieurs dizaines d'années.

Parmi les bactéries cellulolytiques figurent des bactéries appartenant aux genres *Ruminococcus*, *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Thermonospora*, *Streptomyces*. Bien que certaines bactéries comme *Clostridium thermocellum* produisent des cellulases ayant une activité spécifique élevée, leurs capacités de production et leurs taux de croissance sont trop faibles pour envisager leur utilisation au stade industriel.

Les champignons cellulolytiques appartiennent à différents genres : *Aspergillus*, *Schizophyllum*, *Penicillium*, *Trichoderma*...

Parmi ceux-ci, *Trichoderma reesei* est capable de sécréter des concentrations importantes de cellulases très actives et a fait l'objet d'utilisation industrielle.

Les systèmes cellulolytiques sont des systèmes multi-enzymatiques possédant trois types d'action qui sont capables de dégrader totalement la cellulose.



Les efforts actuels visent à diminuer le coût de production des cellulases et à augmenter leur activité spécifique.

La fermentation éthanologique

Une fois la cellulose hydrolysée en glucose, celui-ci est fermenté de la même façon que le glucose issu de l'amidon. Il demeure des problèmes spécifiques à l'utilisation de matériaux lignocellulosiques comme substrat initial tels que :

- la fermentation des pentoses en éthanol (xylose issu des hémicelluloses),
- la présence de composés toxiques et inhibiteurs issus des hémicelluloses et de la lignine,
- la possibilité d'effectuer l'hydrolyse enzymatique et la fermentation en une seule étape.

Fermentation par les levures

Alors que *Saccharomyces cerevisiae*, dont certaines souches sont utilisées industriellement pour la fermentation alcoolique, ne peut utiliser le xylose comme source de carbone, d'autres espèces de levures peuvent convertir le xylose en éthanol (*Pichia stipitis*, *Candida shehatae*, *Pachysolen tannophilus*). Cependant ces levures présentent de nombreux points faibles : performances fermentaires sensiblement inférieures à celles de *S. cerevisiae* sur glucose, inhibition par l'éthanol à partir de concentrations de l'ordre de 3 à 5 % , forte sensibilité aux inhibiteurs présents dans les hydrolysats tels que l'acide acétique.

Des études sont menées pour modifier le génome de *Saccharomyces cerevisiae* de façon à le rendre capable de transformer le xylose.

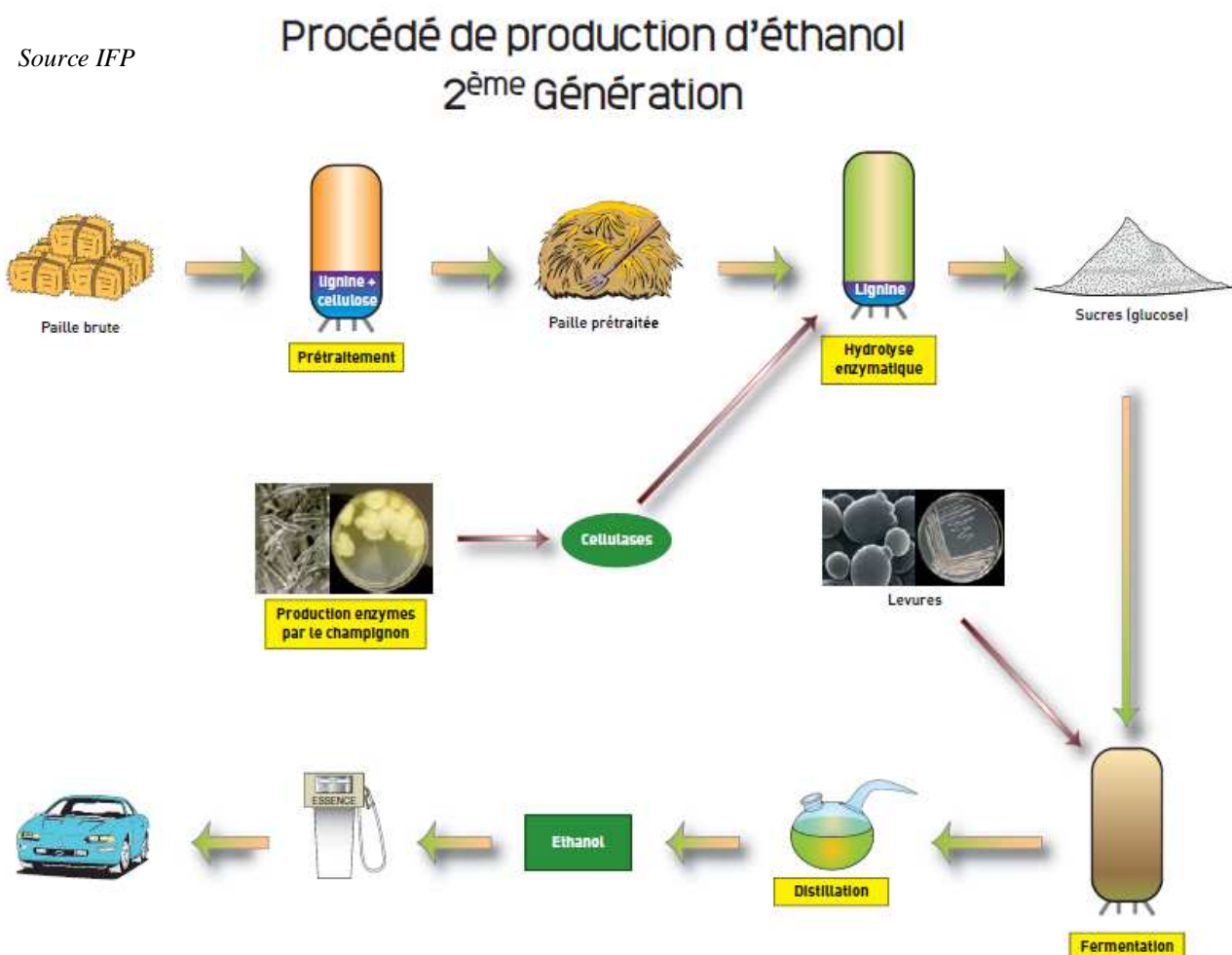
Fermentation par les bactéries

Le xylose est convertible en éthanol par plusieurs espèces de bactéries thermophiles comme *Thermoanaerobacter ethanolicus*, *Clostridium thermohydrosulfuricum* ou par des souches modifiées de *Bacillus stearothermophilus*. Des bactéries mésophiles comme *Escherichia coli* et *Klebsiella oxytoca* ou *K. planticola* sont également capables de fermenter les pentoses.

De bonnes productions d'éthanol ont été obtenues avec des souches d'*E. coli* chez lesquelles des améliorations notables ont été obtenues: forte expression de certains gènes (*pdc* et *adh*) pour orienter le flux de carbone vers la production d'éthanol, obtention de mutants résistants à l'éthanol, délétion du gène de la fumarate réductase à l'origine de la formation de succinate.

La distillation

Les étapes de récupération de l'éthanol par distillation/rectification/déshydratation sont identiques à celles des procédés déjà éprouvés de production d'éthanol de 1^{ère} génération.



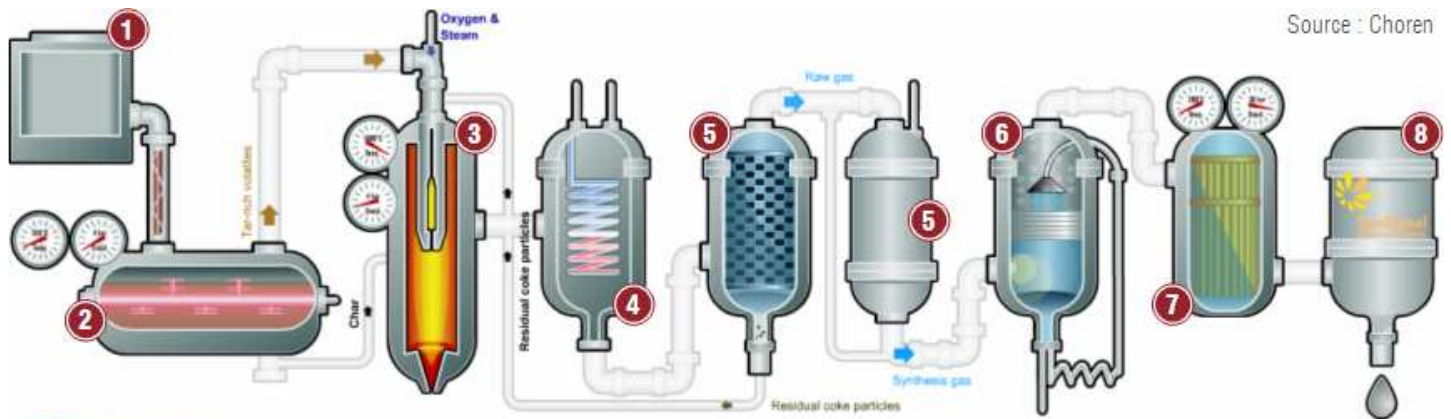
Gazole de synthèse ou BTL (Biomass To Liquid)

Le terme BtL est appliquée aux carburants synthétiques produits à partir de biomasse par voie thermo-chimique. L'objectif est de produire des carburants similaires à ceux actuels issus de l'énergie fossile et qui pourront donc être utilisés dans les systèmes existants de distribution de carburant et avec des moteurs standard.

Les biocarburants de synthèse tels que le diesel Fischer-Tropsch (FT-diesel), le diméthyl-éther (DME), l'hydrogène (H₂) et, dans une moindre mesure, le biométhanol, figurent parmi les filières de biocarburants liquides les plus prometteuses à moyen-long terme.

Ces filières dites "de synthèse" n'ont toutefois pas encore dépassé le stade du pilote, voire de la recherche et du développement (R&D), et il faudra certainement plusieurs années avant qu'elles ne s'imposent sur le marché des biocarburants. Toutefois, plusieurs projets de grande envergure sont actuellement en cours, visant le développement commercial des premières usines de production.

Parmi les projets les plus ambitieux, notons le projet RENEW (dont Volkswagen, BP et Total sont partenaires). L'un des processus de production évalués dans le cadre de ce projet est le procédé Carbo-V® de la société Choren, illustré par la figure ci-dessous.



CHOREN
The Carbo-V® Process

- 1 Système d'alimentation
- 2 Gazéification à basse température
- 3 Gazéification Carbo-V®
- 4 Récupérateur
- 5 Élimination des poussières
- 6 Lavage et épuration
- 7 Synthèse Fischer-Tropsch
- 8 Finition du carburant



Le procédé Carbo-V® (tel qu'il est décrit par Choren) est un processus de gazéification en trois étapes impliquant la succession des sous-processus suivants :

- gazéification à basse température;
- gazéification à haute température;
- gazéification endothermique à lit entraîné.

La biomasse est dans un premier temps carbonisée de façon continue par oxydation partielle (pyrolyse à basse température) avec de l'air ou de l'oxygène à basse température de l'ordre 400-500°C.

La biomasse est ainsi décomposée en un gaz contenant des goudrons (éléments volatils) et en résidus charbonneux (charbon de bois).

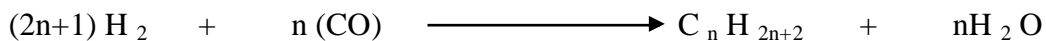
Le gaz contenant du goudron est ensuite post-oxydé avec de l'air et/ou de l'oxygène dans une chambre de combustion fonctionnant au-dessus du point de fusion des cendres du combustible pour la transformer en un milieu de gazéification à haute température.

Le charbon de bois est broyé en un combustible pulvérisé puis injecté dans le milieu de gazéification à haute température.

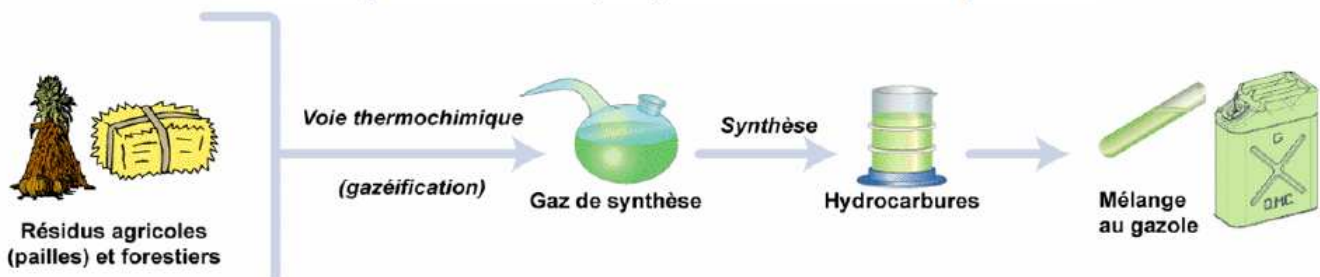
Le combustible pulvérisé et le milieu de gazéification réagissent de façon endothermique dans le réacteur de gazéification à plus de 1000°C où ils sont convertis en un gaz de synthèse brut constitué de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂).

Une fois cette réaction réalisée de manière appropriée, le gaz de synthèse peut être utilisé pour la production de Fischer-Tropsch - Diesel.

Le procédé Fischer-Tropsch est une réaction chimique catalysée dans lesquels l'oxyde de carbone et d'hydrogène sont convertis en hydrocarbures liquides. Généralement les catalyseurs utilisés, pour la réaction suivante, sont basés sur le fer et le cobalt.



Le BTL (biomass to liquid) ou carburant de synthèse

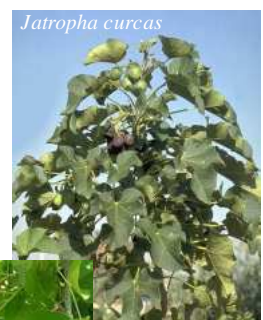


Utilisation de cultures dédiées pour la production de biodiesel

Peuvent être associées aux biocarburants de 2^{ème} génération, les cultures dédiées d'oléagineux dont les technologies utilisées pour obtenir le biocarburant sont les mêmes que pour ceux de 1^{ère} génération, mais qui n'entrent pas en concurrence avec l'alimentation animale.

Parmi celles-ci nous pouvons citer :

- *Jatropha curcas*, qui produit en moyenne 1000 litres d'huile par hectare et par an. Elle peut être cultivée dans des zones arides et sur des sols difficiles, impropres aux autres cultures et permet de lutter contre la désertification.
- *Pongamia pinnata* (ou Karanj) est un arbre à croissance rapide, fixateur d'azote, très résistant à la sécheresse, qui pousse en plein soleil, sur des sols difficiles, même sur des sols salés. L'Inde encourage actuellement fortement la plantation de cet arbre dans les zones impropres aux cultures traditionnelles, ceci dans l'optique de produire de l'huile végétale. Les rendements moyens sont, d'après certains auteurs de 1700 litres d'huile la dixième année.
- *Madhuca longifolia*, *Moringa oleifera*, *Cleome viscosa*



La filière biogaz

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène.

Cette fermentation appelée aussi méthanisation se produit naturellement (dans les marais) ou spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques, mais on peut aussi la provoquer artificiellement dans des digesteurs (pour traiter des boues d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles, etc.).

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (typiquement 50 à 70%) et de dioxyde de carbone, avec des quantités variables d'eau, et de sulfure d'hydrogène.

Composants	Ordures ménagères	Boues de STEP	Déchets agricoles	Déchets de l'industrie agro-alimentaire
CH ₄ % vol	50-60	60-75	60-75	68
CO ₂ % vol	38-34	33-19	33-19	26
N ₂ % vol	5-0	1-0	1-0	-
O ₂ % vol	1-0	< 0,5	< 0,5	-
H ₂ O % vol	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)	6 (à 40 ° C)
Total % vol	100	100	100	100
H ₂ S mg/m ³	100 - 900	1000 - 4000	3000 – 10 000	400

L'énergie du biogaz provient uniquement du méthane : le biogaz est ainsi la forme renouvelable de l'énergie fossile très courante qu'est le gaz naturel. On peut aussi parler de biométhane.

La méthanisation est assurée grâce à l'action concertée de microorganismes appartenant à différentes populations microbiennes en interaction constituant un réseau trophique. On distingue classiquement trois phases successives:

- l'hydrolyse et l'acidogénèse
- l'acétogénèse
- la méthanogénèse

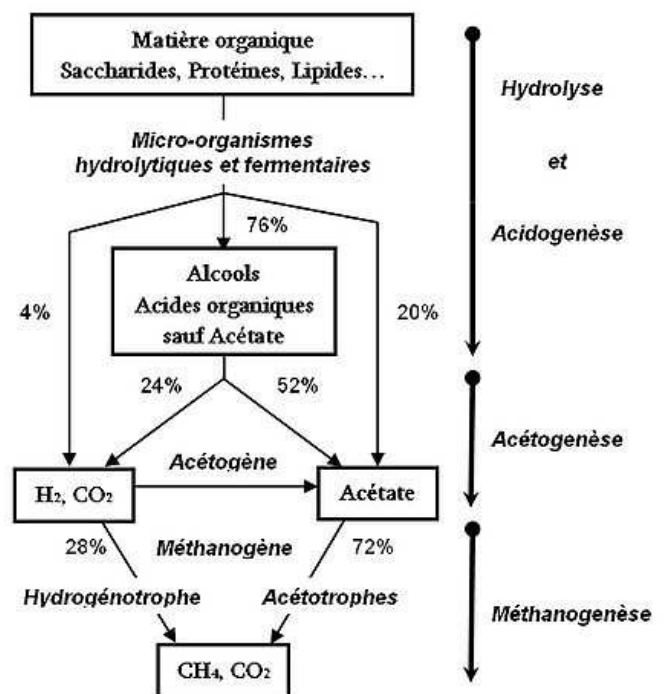
L'hydrolyse et l'acidogénèse

La matière organique complexe est tout d'abord hydrolysée en molécules simples. Cette décomposition est réalisée par des enzymes exocellulaires et peut devenir l'étape limitante dans le cas de composés difficilement hydrolysables tels que la cellulose, l'amidon ou les graisses. Ensuite, ces substrats sont utilisés lors de l'étape d'acidogénèse par les espèces microbiennes dites acidogènes, qui vont produire des alcools et des acides organiques, ainsi que de l'hydrogène et du dioxyde de carbone.

L'acétogénèse

L'étape d'acétogénèse permet la transformation des divers composés issus de la phase précédente en précurseurs directs du méthane : l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène. On distingue deux groupes de bactéries acétogènes:

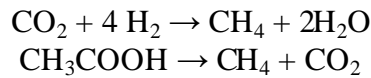
Les bactéries productrices d'hydrogène, anaérobies strictes, capables de produire de l'acétate et de l'H₂ à partir des métabolites réduits issus de l'acidogénèse tels que le propionate et le butyrate.



Les bactéries acétogènes dont le métabolisme est majoritairement orienté vers la production d'acétate. Elles se développent dans les milieux riches en dioxyde de carbone.

La méthanogénèse

La méthanogénèse est assurée par des micro-organismes anaérobies stricts qui appartiennent au domaine des Archaea . Cette dernière étape aboutit à la production de méthane. Elle est réalisée par deux voies possibles : l'une à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone par les espèces dites hydrogénotrophes, et l'autre à partir de l'acétate par les espèces acétotrophes.



Selon une étude de l'ADEME, le potentiel théorique mondial s'élève à 750 Mtep/an (Méga tonne équivalent pétrole) si tous les déchets étaient méthanisés en décharge ou réacteurs, valeur à laquelle il faut rajouter les sous-produits agricoles d'une valeur de 1000 Mtep/an.

Au total, le biogaz représente un gisement comparable à la consommation mondiale de gaz naturel fossile, soit 1800 Mtep/an.

Ressource mondiale en biogaz	Biogaz valorisable (Mtep/an)	Biogaz produit (Mtep/an)
Déchets solides urbains et industriels	750	60 à 100
Eaux usées urbaines et industrielles	50	40 à 50
Sous-produits agricoles	1000	40 à 150
TOTAL	1800	140 à 300
Biogaz/consommation mondiale de gaz naturel	100%	8% à 17%

En France l'énergie susceptible d'être valorisée à partir de la méthanisation de déchets ménagers, de boues d'épuration et des effluents industriels semble être évaluée entre 2,6 et 5 millions de tep/an soit plus de 10% de la consommation actuelle de gaz.

Les filières de troisième génération

Les biocarburants à partir de microalgues appelé "Algo carburant" est souvent présenté comme le biocarburant de troisième génération.

C'est probablement à partir des cultures de microalgues, d'un point de vue théorique 30 à 100 fois plus efficaces que les oléagineux terrestres, que des agrocarburants pourront être produits avec les meilleurs rendements, rendant ainsi envisageable une production de masse, sans déforestation massive ni concurrence avec les cultures alimentaires.

En France, d'intenses recherches sont menées dans ce sens. Nom de code : projet Shamash. Les chercheurs estiment entre 200.000 et plusieurs millions le nombre d'espèces d'algues existantes ; un nombre bien supérieur aux 250.000 espèces de plantes supérieures recensées. Une telle diversité non exploitée constitue un réel potentiel pour la recherche et l'industrie et les atouts des microalgues semblent en faire d'excellentes candidates pour la production de biocarburants. Tout l'objet du projet sera d'évaluer la viabilité technique et économique d'une telle filière de production.

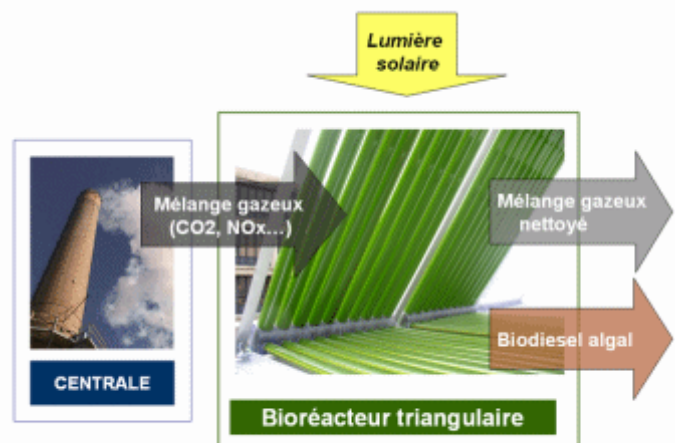
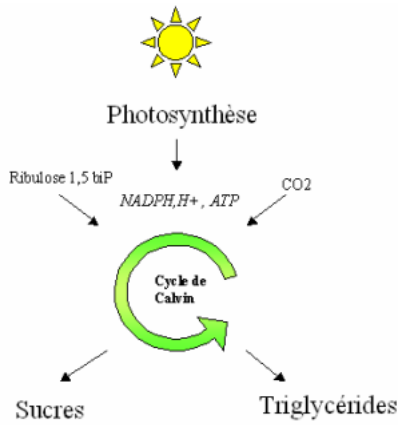


Schéma général de production d'algo carburant



Les micro-algues utilisent la photosynthèse pour fabriquer leur matière carbonée réduite, au niveau des chloroplastes. Elles fixent le CO_2 en carbohydrates grâce au pouvoir réducteur accumulé et à une enzyme ; la Ribulose 1,5 biphosphate carboxylase. Le pool de glycérate 3 P ainsi constitué peut être utilisé dans la cellule algale pour biosynthétiser des sucres (saccharose, cellulose, ...) ou des lipides (voie de synthèse des triglycérides). Les recherches menées partent du constant qu'en cas de carence en macro-nutriments (par exemple en silicium pour les Diatomées, ou bien en azote), la croissance est ralentie et la voie de biosynthèse des triglycérides est favorisée. les algues croissent alors peu et accumulent en proportion beaucoup de lipides.

Les deux principales méthodes de production utilisées sont les bassins de type « raceway » et les photobioréacteurs.

Les premiers sont des systèmes ouverts peu coûteux à faire fonctionner mais de part le fait que ces bassins sont à ciel ouvert, la productivité peut être affectée par des contaminations non désirées et la perte d'eau par évaporation peut jouer un rôle significatif.

Les seconds sont des systèmes clos, ne souffrant pas de ces inconvénients. Leur coût bien plus élevé peut être compensé par des productivités optimisées.



Pour obtenir un rendement optimal en huile, la croissance des microalgues doit s'effectuer avec une concentration en CO_2 d'environ 13%. Ceci est possible à un coût très faible grâce à un couplage avec une source de CO_2 , par exemple une centrale thermique au charbon, au gaz naturel, au biogaz, ou à une unité de fermentation alcoolique.

Cependant pour permettre à cette technologie de se développer il faudra optimiser les process de cultures et réduire les coûts de production et augmenter les capacités de combustion du carburant.