

l e s

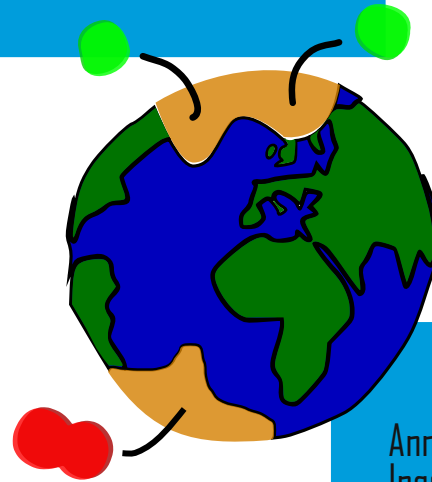
b i o t e c h n o l o g i e s

Outil de production au service du développement durable



En bref ...

En quelques années les prix des produits pétroliers se sont envolés. Si le pétrole est notre principale source d'énergie, il est aussi la matière première de nombreux produits chimiques. Ses réserves limitées et son impact écologique nous incitent à rechercher des technologies propres et durables pour produire ces substances chimiques de base et énergétiques. La biotechnologie industrielle se montre comme un outil de choix pour atteindre ces objectifs.



Anne-Lise HANTSON est Ingénieur chimiste, Ingénieur en Génie Nucléaire, Docteur en Sciences Appliquées, Chef de Travaux et Chargée de cours à temps partiel à la Faculté Polytechnique de Mons (Service de Chimie et Biochimie Appliquées). « A l'origine de la production de l'oxygène terrestre, les micro-organismes et leurs fonctions biologiques sont sans conteste les outils technologiques de notre avenir... A nous de les utiliser avec sagesse et raison. »



Au sommaire

Biotechnologie(s)	6
Biotech blanche pour développement durable	7
Enzymes & micro-organismes	8
Au bénéfice du secteur industriel	10
La biotech des enzymes dans les textiles	11
Biotech, biopolymères et bioplastiques	12
Quand biotechnologie rime avec énergie	15
Des bactéries au secours de notre environnement	20
Glossaire	22

Biotechnologie(s)



Biotechnologie (n. f.) : Application de la **science** et de l'**ingénierie** à l'**utilisation des fonctions biologiques d'organismes vivants** – sous leur forme naturelle ou modifiée – pour des applications dans la médecine, l'agriculture, l'industrie et la protection de l'environnement.

Les différents domaines d'application sont respectivement symbolisés par une **couleur** :



La **biotechnologie verte** touche à l'**agriculture** et l'**alimentation**. Celle-ci utilise le **génie génétique*** pour transférer certains gènes d'une espèce de plante à une autre et améliorer de façon ciblée la résistance aux insectes, aux champignons, aux virus et aux herbicides.



La **biotechnologie rouge** est liée à la **médecine** et concerne la conception d'organismes pour produire des antibiotiques, le développement de thérapies à travers les manipulations du **génom**, le diagnostic à l'aide de puces à ADN ou de biocapteurs, etc.



La **biotechnologie bleue** se concentre sur l'utilisation des processus et des organismes de la **biologie marine** à des fins techniques.



La **biotechnologie blanche**, ou industrielle, a pour objet la production et les processus à l'**échelle industrielle**, ainsi que l'utilisation de la **biomasse** comme matière première renouvelable.

Des procédés vieux de plus de 1000 ans !

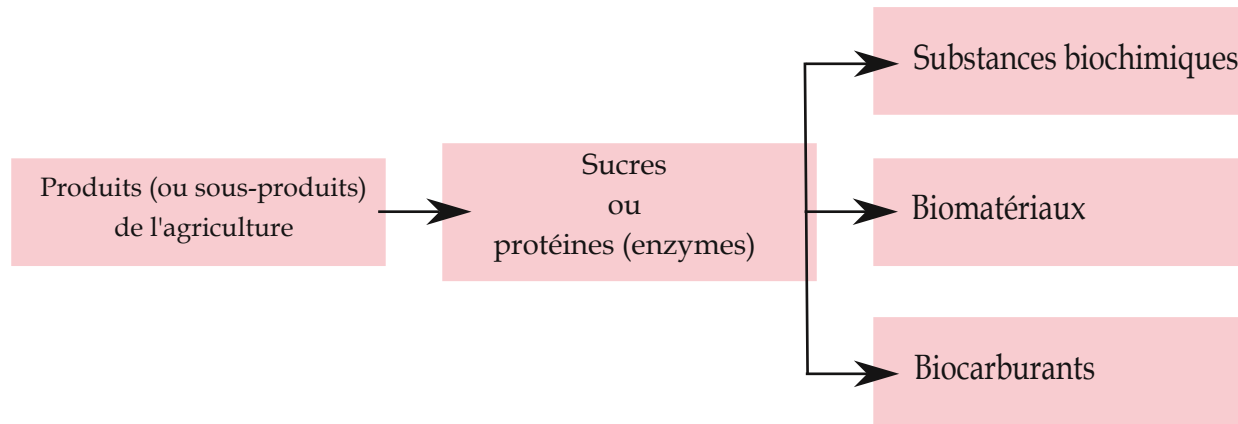
Sans connaître ni comprendre les principes de la fermentation ou de la génétique, l'homme utilise depuis longtemps certains procédés biotechnologiques pour la fabrication de la bière, du pain, du fromage et du vin, pour la sélection lors de l'élevage des animaux et la culture des plantes, etc.



* les termes en magenta sont repris au glossaire

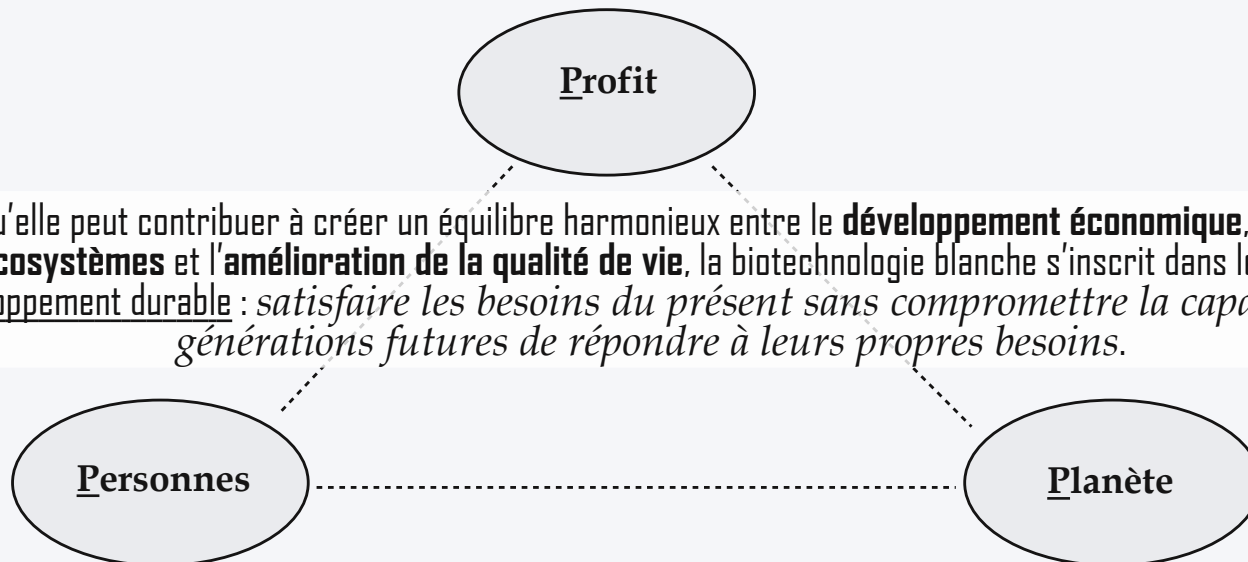
Biotech blanche pour développement durable

De manière simplifiée, la biotechnologie industrielle est l'application de la biotechnologie en vue de **produire durablement** des **substances biochimiques**, des **biomatériaux** et des **biocarburants** à partir de ressources renouvelables.



Elle vise des procédés **plus propres**, qui génèrent **moins de déchets** et nécessitent **moins d'énergie**.

Parce qu'elle peut contribuer à créer un équilibre harmonieux entre le **développement économique**, le **maintien des écosystèmes** et l'**amélioration de la qualité de vie**, la biotechnologie blanche s'inscrit dans le cadre du développement durable : *satisfaire les besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre à leurs propres besoins.*



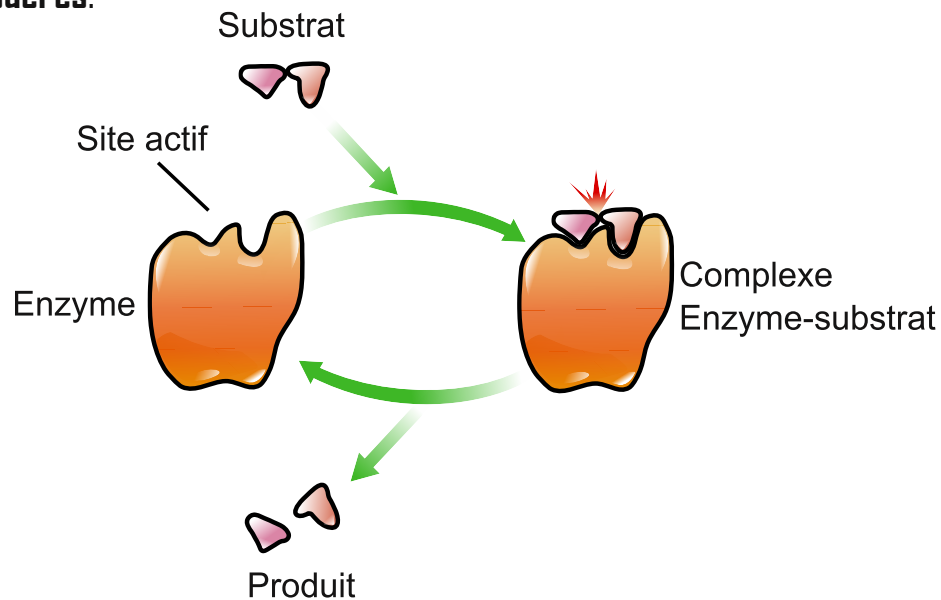
Enzymes & micro-organismes

La biotech industrielle est principalement basée sur la **fermentation** et la **biocatalyse**. Ce sont les **micro-organismes** (**levures**, algues, **bactéries**), ou une partie de ceux-ci (principalement les **enzymes**), qui jouent le rôle de mini-usines ou de chaînes de production.

Biocatalyse...

Pour accélérer les réactions biochimiques, on utilise des **enzymes**, des **protéines** produites par tout organisme vivant. Au cours du processus de **catalyse**, les enzymes ne sont ni consommées, ni altérées.

Elles travaillent non seulement avec grande rapidité et précision, mais également – contrairement aux catalyseurs chimiques qui nécessitent souvent des conditions agressives pour être actifs – dans le **respect de l'environnement: en milieu aqueux, sous pH, température et pression modérés**.



Les enzymes agissent comme de minuscules machines qui s'assurent que des molécules entrent en contact entre elles et réagissent. Comme une **clé** correspondant à une **serrure**, chaque enzyme s'adapte et agit seulement sur un ensemble spécifique de substances.

C'est pourquoi l'utilisation de la biocatalyse à grande échelle **remplace de nombreux procédés polluants** - par exemple dans l'industrie du papier, du cuir ou du textile ainsi que dans la fabrication de détergents.

Grâce à la fermentation, la biotechnologie blanche est également en mesure de fournir des enzymes en quantité... industrielle !

... et fermentation

Dans un environnement contrôlé, en l'absence d'oxygène, **des micro-organismes** (par exemple moisissures, levures et bactéries) – génétiquement modifiés ou pas – **transforment des substances organiques**, telles que les sucres et les huiles, **en une gamme pratiquement illimitée de produits**. Il suffit simplement de choisir le micro-organisme adapté, de surveiller son métabolisme et sa croissance et d'être en mesure de l'utiliser à grande échelle.

Parmi les fermentations les plus connues, on peut citer la **fermentation alcoolique** (transformation des sucres en alcool), la **fermentation acétique** (transformation de l'alcool en vinaigre) et la **fermentation lactique** (transformation du lait en fromage).

Les **domaines d'application** des fermentations **dans l'industrie** sont **nombreux et variés**. Outre le secteur de l'alimentation, la chimie, la pharmacie, l'agriculture et l'environnement font appel à de tels procédés.



Le saviez-vous ?

Le terme « fermentation » dérive du latin *fervere* qui signifie bouillir : un liquide en cours de fermentation présente un important dégagement gazeux (CO_2) et montre l'aspect d'un liquide en ébullition.



Au bénéfice du secteur industriel

L'objectif fondamental de tous les processus industriels est de fabriquer à **moindre coût** un produit parfaitement défini en **grande quantité** avec une **qualité constante**.



Les entreprises utilisent la biotechnologie industrielle pour



- ✓ Réduire leurs **coûts**
- ✓ Augmenter leurs **bénéfices**
- ✓ Augmenter la **qualité** de leurs produits
- ✓ Optimiser leur **procédé** et son suivi
- ✓ Améliorer la **sécurité** et l'**hygiène** de la technologie
- ✓ Respecter la législation sur l'**environnement**



Quelques exemples...

Industrie chimique	Usage de la biocatalyse pour produire des nouveaux composés, réduire les sous-produits et améliorer la pureté chimique, etc.
Industrie du plastique	Fabrication de plastiques « verts » issus de cultures renouvelables telles que maïs ou soja.
Industrie du papier	Amélioration des procédés de fabrication, incluant l'usage d'enzymes en vue de réduire l'utilisation d'agents blanchissants agressifs.
Industrie textile	Diminution des sous-produits toxiques lors de la teinture du tissu et des procédés de finition. Ajouts d'enzymes aux détergents à lessive pour les rendre plus efficaces.
Industrie agroalimentaire	Mise au point d'enzymes pour la boulangerie, la brasserie, la fabrication des laitages, des jus de fruits, des arômes, des aliments pour animaux, etc.
Industrie énergétique	Utilisation d'enzymes pour la fabrication de biocarburants plus propres issus de déchets de l'agriculture.

La biotech des enzymes dans les textiles

Des enzymes sont utilisées pour traiter et modifier les fibres durant la **fabrication**, le **traitement** et l'**entretien** des textiles :



Désencollage du coton

Élimination des agents protecteurs des fibres utilisés lors du tissage des fils de coton.



Rouissage du lin

Séparation des tiges dures de la plante des fibres utiles du lin.



Biodé lavage à la pierre et biopolissage

Création d'un effet de dé lavage à la pierre et polissage sans endommager les fibres avec l'utilisation de produits abrasifs, avec diminution de la consommation énergétique et de l'usure mécanique.



Détergents

Nettoyage des vêtements et élimination des taches plus efficaces et qui n'exigent pas des températures très élevées et un remuage mécanique.

Biotech, biopolymères et bioplastiques

Les produits chimiques entrant dans la fabrication des plastiques traditionnels proviennent principalement des combustibles fossiles : on dit que ce sont des **plastiques pétrochimiques**. Leur **coût** et leur **impact environnemental** ont favorisé la recherche de **solutions de remplacement** de ce type de produits de consommation, à savoir les **biopolymères** et les **bioplastiques**. Ils sont les produits essentiels d'une **industrie durable** des matières plastiques car ils :

- ✓ diminuent la dépendance à l'égard des sources d'énergie fossile non renouvelables,
- ✓ sont facilement biodégradables.

Il existe **deux types** de biopolymères :

Provenant d'organismes vivants

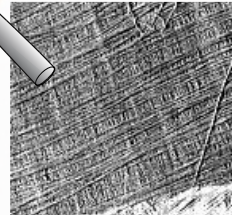
Ces biopolymères sont présents dans des organismes vivants ou sont produits par eux et sont exploités pour la production de matières plastiques.



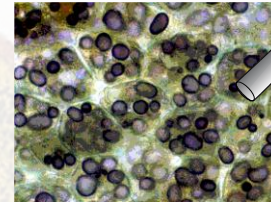
bois, coton, maïs, blé et autres



maïs, pomme de terre, blé, manioc et autres



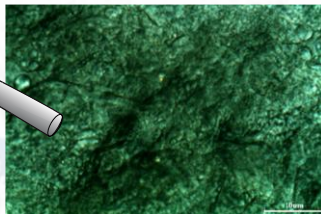
cellulose dans les parois cellulaires des plantes



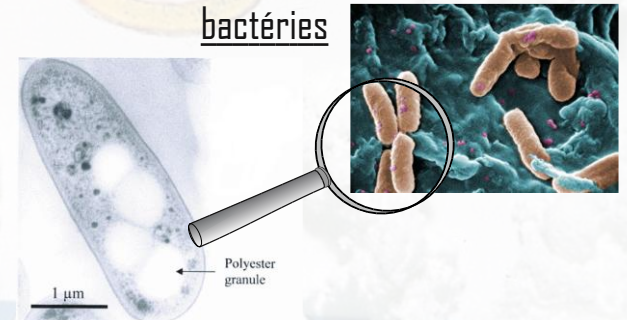
amidon dans les tissus végétaux



soja



protéine de soja



bactéries

polyesters issus de réactions chimiques

Dérivant de ressources renouvelables

Des molécules, qui proviennent de ressources naturelles renouvelables, peuvent être **polymérisées** pour servir à la fabrication de plastiques biodégradables.

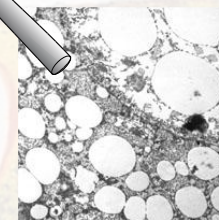
betterave, maïs, pomme de terre et autres



acide lactique obtenu par fermentation



huiles végétales



triglycérides, lipides stockés dans les cellules

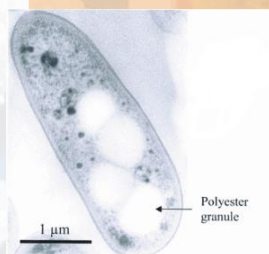


Comment fabrique-t-on les biopolymères et les bioplastiques ?

Il existe deux méthodes, basées sur la **fermentation** ou sur l'**utilisation de la plante** comme moyen de fabrication du plastique. Dans le cas de la fermentation, on peut en distinguer deux types :

- fermentation productrice de polyesters bactériens

Certaines **bactéries** utilisent le **sucré des plantes** récoltées, tel le maïs, comme **combustible** pour réaliser leurs processus cellulaires. Le **sous-produit qui en découle est le polymère** qu'on sépare ensuite des cellules bactériennes.



- fermentation productrice d'acide lactique

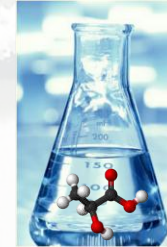
L'acide lactique est obtenu par la **fermentation du sucre**, un peu comme on obtient directement des polymères à partir de bactéries. Toutefois, le **produit final** n'est pas un polymère et **doit encore être polymérisé** en acide polylactique (PLA).



L'exemple du PLA : recette et applications



La fabrication de l'acide polylactique se déroule en plusieurs étapes :



1°) Moudre une matière organique, comme le maïs, et **extraire le sucre** de la matière brute

2°) Faire **fermenter** ce sucre dans un environnement contrôlé

3°) **Purifier** le liquide fermenté par diverses méthodes pour obtenir de l'acide lactique

4°) Transformer l'acide lactique en acide polylactique – le PLA – par des méthodes de **polymérisation** classiques



Le PLA se présente sous la forme d'une résine végétale qui peut être utilisée dans de nombreux domaines :

- la **grande distribution** : emballages, vaisselle
- les **textiles** : vêtements, mode, tapisserie
- l'**agriculture** : paillasons, filets, produits de contrôle de l'érosion des sols
- l'**hygiène** : chiffons humides domestiques, couches
- la **médecine** : vêtements jetables, textiles pour applications médicales, os synthétiques...



Le saviez-vous ?

Les biopolymères et les bioplastiques ne sont pas des produits récents. Au milieu des années 1900, Henry Ford a inventé une méthode de fabrication de pièces d'automobile en plastique à partir de soja.



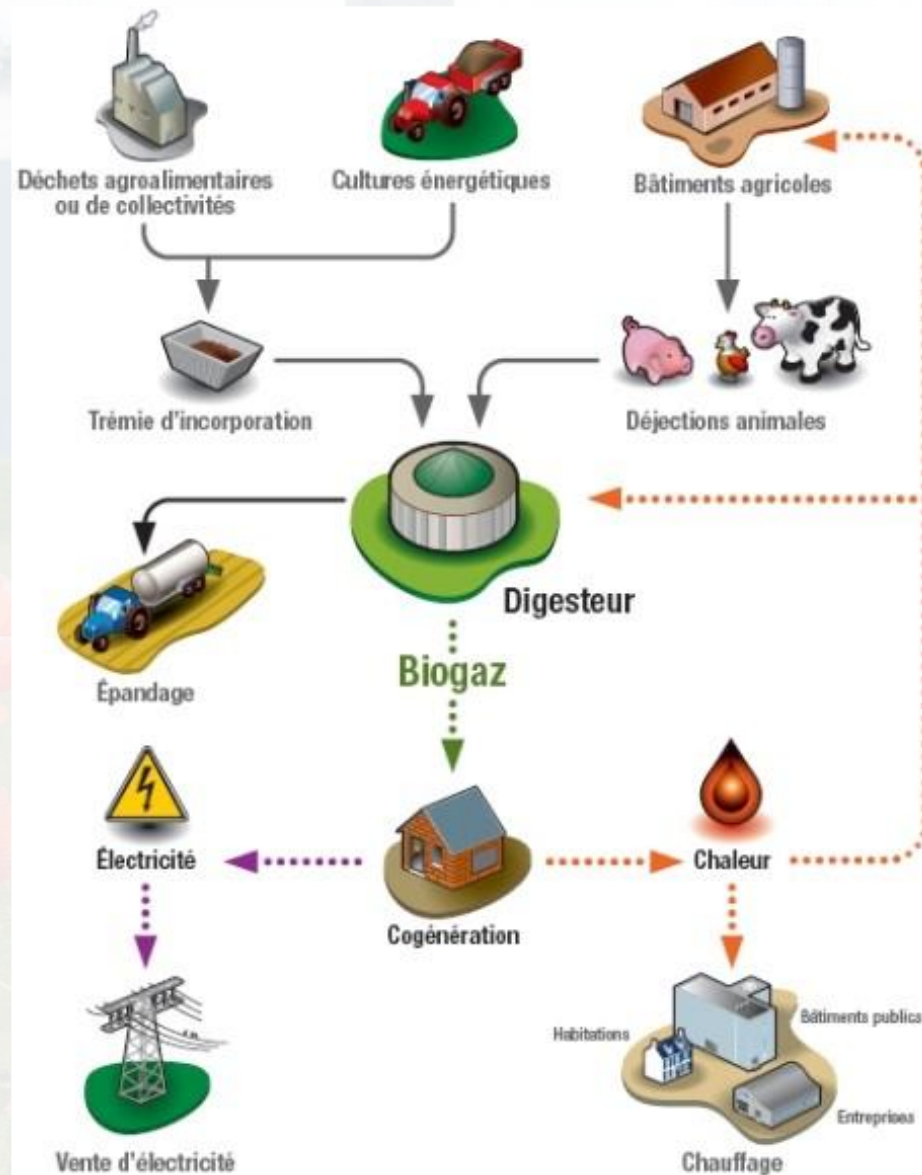
Quand biotechnologie rime avec énergie

De la plante au gaz : la biométhanisation

On peut **dégrader la matière organique en biogaz** (principalement du méthane) par un **écosystème microbien** fonctionnant en l'absence d'**oxygène** et à l'abri de la lumière : c'est la **biométhanisation**, qu'on appelle également digestion **anaérobie** ou fermentation méthanique.

La voie la plus classique pour fabriquer du biogaz est de partir d'une matière végétale. Mais, à l'exception du bois, **tous les résidus organiques peuvent être valorisés** par ce procédé : déchets de l'industrie agro-alimentaire, fraction organique des déchets ménagers, boues de stations d'épuration, déjections animales, etc.

Le digestat, **sous-produit** de la biométhanisation, **peut également être valorisé**. Il fournit un engrais de qualité, riche en azote directement assimilable par les plantes.

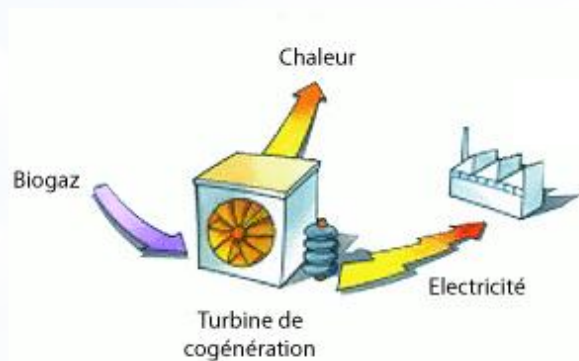


Dans le **digesteur**, les végétaux et le lisier se dégradent d'abord sous action bactérienne pour former un **liquide** riche en **acides gras volatils**.

Ensuite, des bactéries anaérobies digèrent ce liquide et transforment ces acides gras volatils en **biogaz**.

La valorisation énergétique du biogaz peut prendre plusieurs formes : **chaleur, électricité et carburant**

La valorisation énergétique du biogaz peut prendre plusieurs formes :



- production de **chaleur** : le biogaz est brûlé dans une chaudière classique.

- production **séparée** de **chaleur** et d'**électricité** : le biogaz est brûlé pour une part dans une chaudière et pour une autre part dans un moteur thermique relié à un alternateur qui produit de l'électricité.

- production **combinée** de **chaleur** et d'**électricité** : le biogaz alimente un moteur thermique relié à un alternateur qui produit l'électricité et de la chaleur est récupérée dans les gaz d'échappement et au niveau du moteur; c'est de la cogénération.

- **carburant** pour automobile, destiné pour l'instant à des « flottes captives » de véhicules (autobus, camion à ordures, etc.).



Le saviez-vous ?

Du biogaz est produit naturellement au fond des lacs et marais par les sédiments organiques qui s'y accumulent. L'utilisation du biogaz du lac Kivu (en Afrique) a été entreprise il y a plus de 40 ans et est maintenant développée à grande échelle.

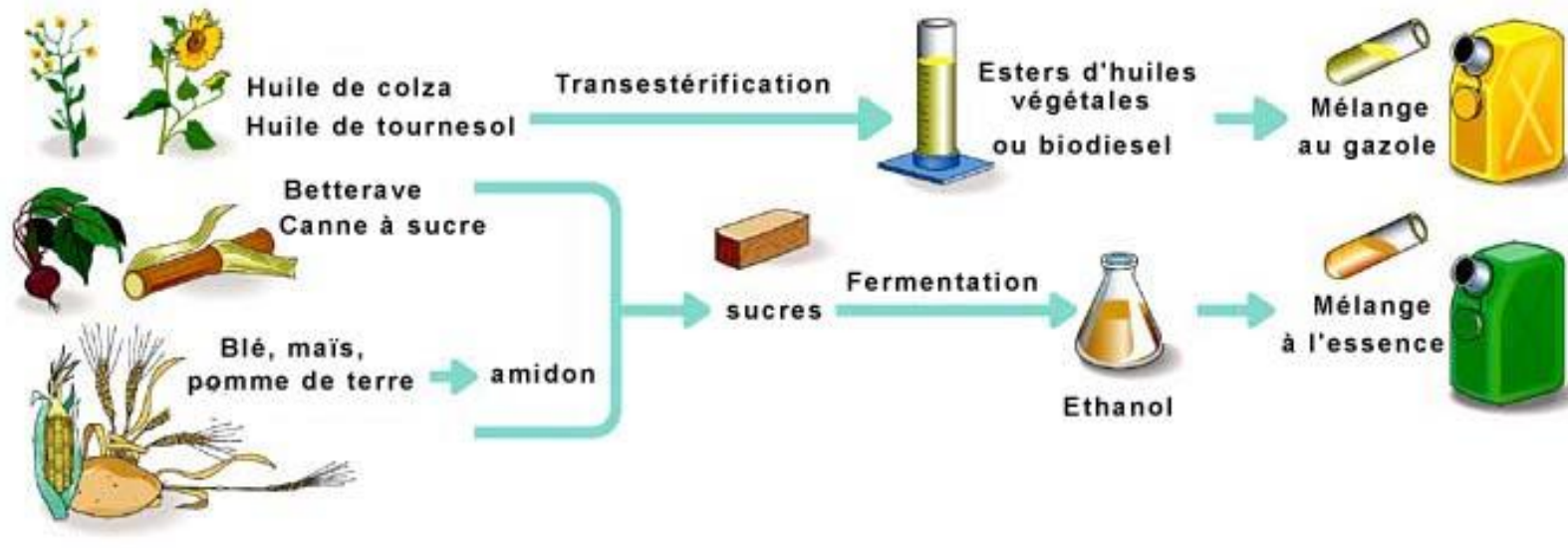


Biocarburants : des agro- aux algocarburants

Un **biocarburant** est un carburant produit à partir de **matériaux organiques renouvelables et non-fossiles**. Le rôle de la biotechnologie est primordial par l'**usage d'enzymes et d'autres technologies** pour **optimiser les processus** de production.

Les filières classiques, dites de première génération

Production de biocarburants à partir de matières végétales alimentaires



Avantages et inconvénients

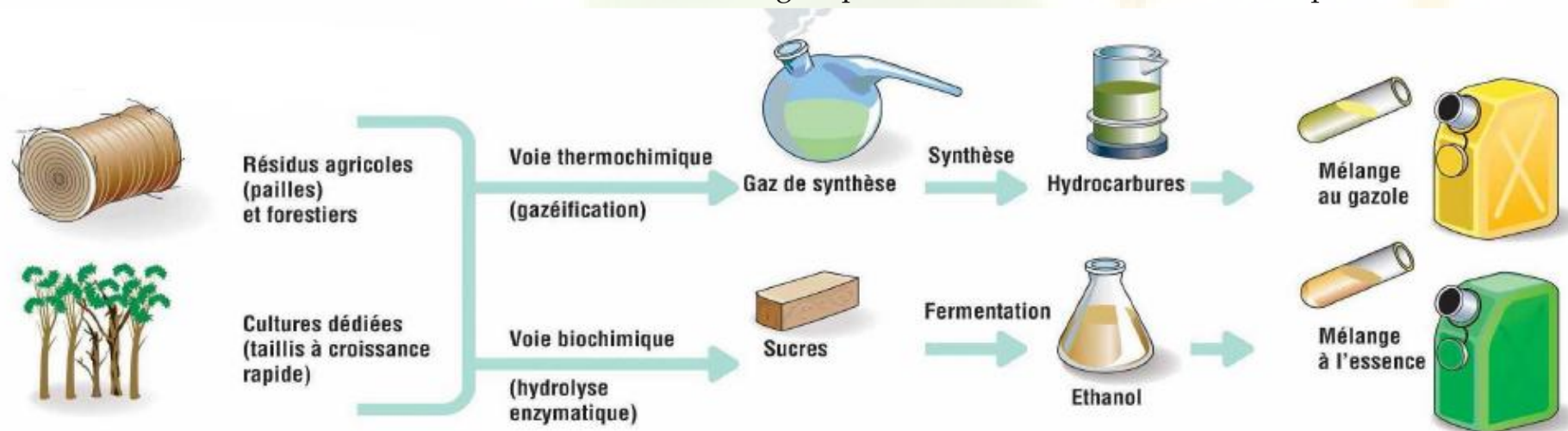
- | | |
|--|--|
| ✓ Source d'énergie renouvelable | ✗ Dégradation de l'environnement (déforestation, érosion, engrais et pesticides) |
| ✓ Réduction possible des émissions de CO ₂ | ✗ Manque de surfaces agricoles disponibles |
| ✓ Sous-produits valorisables | ✗ Compétition nourriture / carburant |
| ✓ Grand potentiel pour les pays en voie de développement | ✗ Faible rendement en énergie |

Agrocarburants : au service du développement durable ?

Le caractère durable de la **production d'agrocarburants** peut être mis à mal si elle est réalisée de manière non durable : **compétition avec la filière alimentaire, épuisement des sols, pollution des eaux et destruction de milieux naturels** pour cette production. De plus, pour remplacer totalement la consommation de carburants fossiles par des biocarburants de première génération, il faudrait plusieurs fois la surface terrestre. Ce type de biocarburants **ne devrait être qu'un appoint** tant que nous ne passerons pas à l'ère des **biocarburants de nouvelle génération**.

Les filières de seconde génération

Production de biocarburants à partir de résidus agricoles et forestiers, de cultures dédiées et de déchets organiques comme les boues de station d'épuration

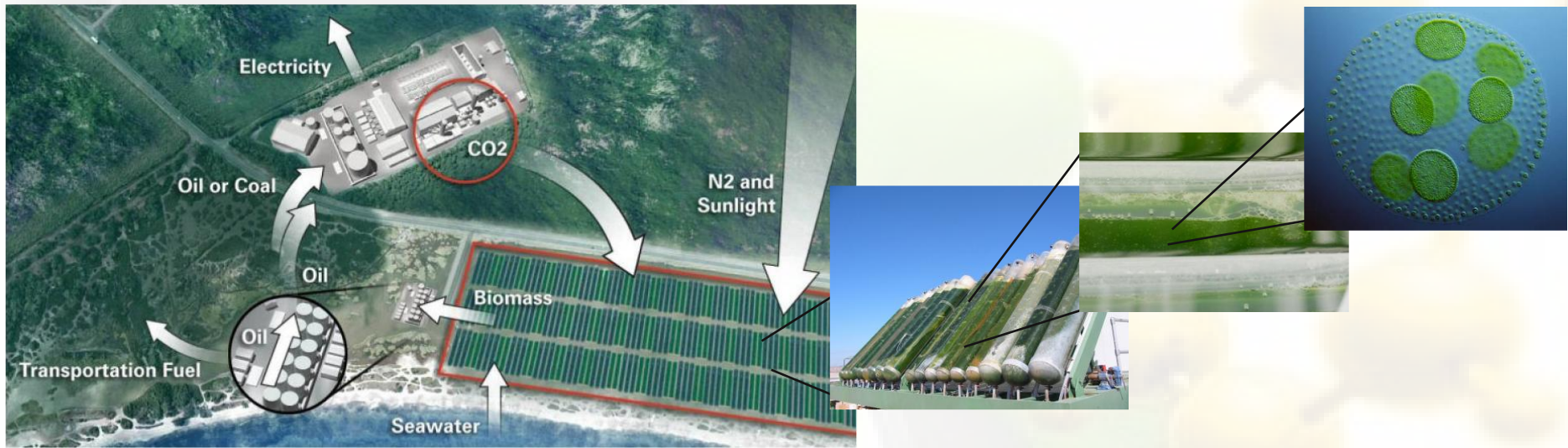


Avantages et inconvénients

- ✓ Source d'énergie renouvelable
- ✓ Réduction des émissions de CO₂
- ✓ Meilleur rendement
- ✓ Pas de compétition avec la filière alimentaire
- ✗ Manque de maturité des technologies actuelles
- ✗ Coût de production actuel élevé
- ✗ Concurrence des usages (électricité, bois énergie, biomatériaux, etc.)

Les filières de troisième génération

Production de biocarburants à partir de la biomasse de micro-algues, ayant une très forte capacité de croissance et pouvant être totalement confinées



Avantages et inconvénients

- ✓ Source d'énergie renouvelable
- ✓ Réduction des émissions de CO2
- ✓ Recyclage du CO2 et traitement des eaux usées
- ✓ Bien meilleur rendement / capacité de croissance rapide
- ✓ Nombreux sous-produits valorisables
- ✓ Pas de compétition avec d'autres filières
- ✗ Manque de maturité des technologies actuelles
- ✗ Coût de production actuel élevé
- ✓ ✗ Besoins importants en CO2

Des bactéries au secours de notre environnement

Le but est de **lutter contre les pollutions des sols, de l'eau ou de l'air** (par exemple : éliminations des nitrates, des **COV**).
En plus de résoudre des problèmes de pollution existants, on peut aussi **identifier et transformer les déchets à la source**, c'est-à-dire lors d'un procédé de fabrication.

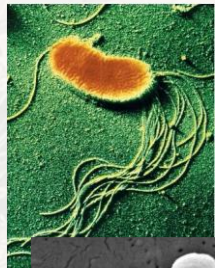
La **bioremédiation** est un ensemble de techniques consistant à **augmenter la biodégradation** ou la biotransformation, en **inoculant des microorganismes** spécifiques (bioaugmentation) ou en **stimulant l'activité de populations microbiennes** indigènes (biostimulation) par apport de nutriments et par ajustement des conditions de milieu (comme l'humidité).



En d'autres mots, les bactéries agissent en « mangeant » les déchets nocifs et les transforment en sous-produits inoffensifs. Après leur festin, privées de source d'énergie, elles meurent ou retournent à un niveau de population normal pour l'environnement.

Dans certains cas, les sous-produits issus des microorganismes combattant la pollution sont eux-mêmes utiles. Du méthane, par exemple, est produit par une bactérie qui dégrade la liqueur de soufre, un déchet de l'industrie du papier.

Petit Bestiaire Bactérien



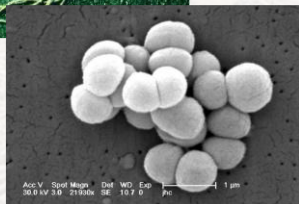
Bactéries

Pseudomonas

Streptothrix hyalina

Micrococcus

Shewanella oneidensis



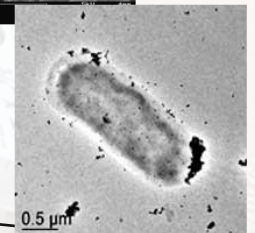
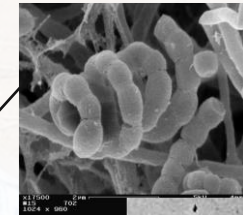
Contaminants

vapeurs toxiques dans l'**air**

matières organiques dans l'**eau** des égouts

essence dans le **sol**

métaux lourds dans l'environnement



Notes

A series of 25 horizontal dashed lines spanning the width of the page, intended for writing notes.

Glossaire

Acide gras volatil : acide formé d'une courte chaîne (jusqu'à 6) d'atomes de carbones. Ils sont les produits finaux principaux de la fermentation microbienne dans l'appareil digestifs des ruminants. Un exemple connu est l'acide acétique ($\text{CH}_3\text{-COOH}$).

Agrocarburant : carburant obtenu (au moins en partie) par transformation de produits issus de l'agriculture.

Anaérobie : se dit d'un organisme vivant ou d'un mécanisme qui n'a pas besoin d'air ou d'oxygène pour fonctionner.

Bactérie : organisme vivant microscopique unicellulaire présent dans tous types de biotopes rencontrés sur Terre. La plupart sont inoffensives ou bénéfiques pour l'organisme, mais il existe cependant de nombreuses espèces pathogènes à l'origine de maladies infectieuses. Les bactéries peuvent être très utiles à l'Homme lors des processus de traitement des eaux usées, dans l'agroalimentaire lors de la fabrication des yaourts ou du fromage et dans la production industrielle de nombreux composés chimiques.

Biomasse : ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale.

Catalyse : action d'une substance appelée catalyseur sur une transformation chimique dans le but d'accélérer la conversion.

COV (composé organique volatil) : composés organiques (hydrocarbures, constitués de carbone et d'hydrogène) pouvant facilement se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Ils peuvent être d'origine anthropique (raffinage, évaporations de solvants organiques, imbrûlés...) ou naturelle (émissions par les plantes).

Génie génétique (ou ingénierie génétique) : ensemble de techniques faisant partie de la biologie moléculaire et ayant pour objet l'utilisation des connaissances acquises en génétique pour utiliser, reproduire, ou modifier le génome des êtres vivants.

Génôme : ensemble du matériel génétique d'un individu ou d'une espèce encodé dans son ADN.

Levure : champignon unicellulaire apte à provoquer la fermentation des matières organiques animales ou végétales. Les levures sont employées pour la fabrication du vin, de la bière, des spiritueux, des alcools industriels, du pain, d'antibiotiques, etc.

Polymériser : produire une grosse molécule (un polymère) par enchaînement répété d'un grand nombre d'unités de base (des monomères).

Protéine : très grande molécule composée par une ou plusieurs chaîne(s) d'acides aminés.

Sous-produit : produit résidu qui apparaît durant la fabrication ou la distribution d'un produit fini. Il est non intentionnel, non prévisible, et accidentel. Il peut être utilisé directement ou bien constituer un ingrédient d'un autre processus de production en vue de la fabrication d'un autre produit fini.

Biblio- et webographie

- « Applications de la Biotechnologie dans l'industrie », Centre d'Activités Régionales pour la Production Propre, Plan d'Action pour la Méditerranée, octobre 2003
- « Biodiesel - Les micro-algues, carburant de demain ? », Les nouvelles de l'Ifremer 98, février 2008
- « Biométhanisation, produire de l'électricité et de la chaleur à partir de résidus agricoles », Valbiom, octobre 2004
- « Guide to Biotechnology », Biotechnology Industry Organisation, 2007
- « Industrial (White) Biotechnology, an effective route to increase EU innovation and sustainable growth », DSM
- « La biotechnologie industrielle : clé pour une chimie durable », la chimie et vous, Fedichem (essenscia), décembre 2003
- « L'industrie des biotechnologies : contraintes et opportunités », Science & Décision, CNRS, octobre 2003
- BADUEL P., « Fermentations, principales applications industrielles », Aventis Pharma
- GRUSON J.-F. et MONOT F., « Les biocarburants de seconde génération : état de l'art et perspectives », IFP, mars 2007

- <http://www.biotechactors.com>
- <http://www.planete-energies.com>
- <http://www.wikipedia.org>

Crédit photos

Couverture : University of Cambridge ; **p. 4 (bg)** : Laval Lab inc. ; **p. 5** : Biotechnology Industry Organization ; **p. 7 (hd)** : Extrel ; **p. 9 (hg)** : Université Pierre et Marie Curie - **(biodé lavage)** : Industrie Canada ; **p. 10 (cellulose et amidon)** : Gilles Bourbonnais - **(soja)** : USDA - **(polyesters)** : Biochemical Journal 2003 - **(fond)** : FNS ; **p. 11 (acide lactique)** : Jeff Broadbent & Utah State University - **(huiles)** : Vegetalcar.com - **(triglycérides)** : World Journal of Gastroenterology 2005 - **(PLA)** : Hyflux ; **p. 12 (hc)** : Leelanau Brewing Company ; **p. 13** : Metha France - **(fond)** : MPWiK Wroclaw ; **p. 14 (h)** : Methanisation.info - **(b)** : Orinfor 2003 ; **pp. 15 et 16** : IFP ; **p. 17 (hd)** : Petro Sun ; **p. 18 (hg)** : Clear-Flo Bioremediation - **(hd et fond)** : Geobacter Project.





Fiches pédagogiques réalisées par Jonathan Toubau,



ApplicaSciences* - Cellule de Diffusion des Sciences
de la Faculté Polytechnique de Mons
(<http://applicasciences.fpms.ac.be>),

en support à un exposé dans le secondaire.

* ApplicaSciences bénéficie du soutien de la Région Wallonne

