

Energie – Biocarburant

L'éthanol de la biomasse (cellulose) n'est pas soutenable ni anodin pour l'environnement

Les principaux obstacles techniques et économiques persistent lorsque l'on fabrique de l'éthanol à partir de déchets végétaux. Par ailleurs, la combustion de l'éthanol produit des substances qui sont cancérogènes et elle augmente les teneurs en ozone dans l'atmosphère, d'après le [Dr. Mae-Wan Ho](#).

La version originale en anglais s'intitule [Ethanol from Cellulose Biomass Not Sustainable nor Environmentally Benign](#); elle contient toutes les références bibliographiques et elle est accessible par les membres de l'Institut ISIS sur le site suivant : www.i-sis.org.uk/ECBNESEB.php

Communiqué de presse de l'Institut ISIS en date du 15/03/2006

“The Institute of Science in Society” = ISIS, est une organisation non gouvernementale basée à Londres, Grande Bretagne. Le site web est <http://www.i-sis.org.uk> Les informations générales concernant cet institut sont disponibles auprès de Sam Burcher, joignable par sam@i-sis.org.uk L'institut ISIS est dirigé par Mae-Wan HO, dont la messagerie est m.w.ho@i-sis.org.uk

« L'or vert » : l'éthanol cellulosique

La limite principale pour obtenir de l'**éthanol** à partir de la matière végétale, est que la majeure partie du substrat à base de sucres ou glucides, - mis à part l'amidon dans les grains de maïs et autres graines-, n'est pas dégradable par fermentation avec le concours de bactéries et d'autres microorganismes. Ces sucres sont inclus dans une matière fibreuse, la **cellulose**, qui compose 75 à 85 pour cent des végétaux, le reste étant constitué par la lignine, une matière ligneuse.

Cependant, un ensemble d'enzymes, appelées **cellulases**, sont capables de décomposer la cellulose en unités de sucres élémentaires, qui peuvent alors être transformés en éthanol par fermentation avec l'aide de microorganismes (voir l'encadré). Cela signifie que des herbes, des pailles et d'autres résidus végétaux peuvent également être transformés en éthanol. C'est ce que l'on a appelé « l'or vert », qui pourrait remplacer le pétrole brut d'importation, dit « or noir » [1]. Cet « or vert » est généralement considéré comme ayant le potentiel de réduire sensiblement notre consommation de combustibles et de carburants fossiles.

*« Il est au moins aussi porteur en matière de choix énergétique que l'hydrogène pour constituer un secteur des transports qui soit soutenable, » ont déclaré conjointement le Conseil de défense des ressources nationales (*National Resources Defense Council ou NRDC*) et l'Union des scientifiques concernés, (*Union of Concerned Scientists*) dans un rapport commun. Le groupe *Shell Oil* a prévu que le marché mondial des biocarburants, tels que « l'éthanol cellulosique », devrait dépasser les 10 milliards de \$ d'ici 2012.*

Une étude financée par la Fondation pour l'énergie (*Energy Foundation*) et la Commission nationale pour la politique énergétique (*National Commission on Energy Policy*), a conclu

que « vers 2050, les biocarburants, couplés à l'efficacité des véhicules et à une 'croissance astucieuse', pourraient réduire des deux tiers, et d'une manière soutenable, la dépendance en pétrole de notre secteur des transports. » La 'croissance astucieuse' est un terme de prospective qui désigne une croissance qui maximise le développement soutenable ou durable des villes pour tout ce qui concerne le secteur des transports et d'autres formes d'économies d'énergie.

L'éthanol cellulosique peut être produit à partir d'une grande variété de matières premières comprenant les déchets végétaux et agricoles (rafles de maïs, pailles de céréale, bargeasse de canne à sucre), les déchets des usines de transformation industrielle (sciure, pulpe de papier) aussi bien que des plantes énergétiques telles que la plante dénommée '**switchgrass**'.

Lee Lynd, Professeur d'ingénierie à Dartmouth avait travaillé avec l'usine *Gorham Paper Mill* pour convertir les déchets de papier en éthanol. Lynd déclara, « *c'est véritablement une matière première négative en termes de coût. Et encore, elle est déjà traitée préalablement, ce qui élimine une étape dans le processus de conversion.* »

La société *Masada Oxynol* projette de construire une usine à Middletown, New York, pour transformer les déchets solides urbains en éthanol. Après la récupération des matières recyclables, l'hydrolyse acide sera employée pour convertir les matériaux cellulosiques en sucres. « *L'installation fournira une valorisation économique et environnementale,* » a déclaré David Webster, vice-président exécutif de *Masada*. Le procédé réduit ou élimine les décharges. Les sous-produits du procédé sont le **gypse**, la **lignine** et les cendres. La lignine sera récupérée pour la combustion afin de rendre l'usine autosuffisante en énergie ; les cendres peuvent être répandues dans les sols comme engrais.

Le réchauffement planétaire s'accélère et les prix de l'énergie augmentent. Nous devons trouver les bonnes stratégies de survie et nous devons les trouver dès maintenant. Le temps passe et les ressources énergétiques s'épuisent ; leur gaspillage avec de mauvaises technologies aura des conséquences qui seront catastrophiques ; un investissement dans de bonnes options peut atténuer le changement climatique et nous permettre de prospérer dans un monde sans combustibles et sans carburants fossiles.

Ce rapport vous aidera à faire les bons choix parmi le nucléaire, les biocarburants, l'éolien, le solaire, l'énergie à partir des déchets, etc ...

Envoyer-le aux autorités qui définissent la politique comme contribution au débat sur l'énergie mondiale.

Soutenez ce rapport en faisant une donation qui



vous donnera droit à de multiples copies au prix d'impression plus frais de port. Pour toute information, e-mail : energy@i-sis.org.uk

Des copies individuelles sont disponibles par [ISIS online store](#)

Comment les cellulases font, de la cellulose, une matière première pour l'éthanol

La molécule élémentaire de cellulose se compose des milliers de brins, chaque brin est composé de centaines d'unités de glucose, reliées ensemble. La cellulose est enveloppée dans une gaine d'hémicellulose et de lignine, qui protège la cellulose contre la dégradation. L'hémicellulose est plus facilement décomposée que la cellulose [2]. Une combinaison de chaleur douce, de pression et des conditions acides (ou basiques) dégrade l'hémicellulose en un mélange composé de glucides, principalement du **xylose**.

Les scientifiques du Laboratoire national des énergies renouvelables (*National Renewable Energy Laboratory* ou **NREL**) du *Ministère de l'Energie* (*Department of Energy* ou **DOE**) utilisaient de l'acide sulfurique dilué pour hydrolyser (décomposer par une réaction avec l'eau) la gaine d'hémicellulose et de lignine, exposant ainsi la cellulose.

L'hydrolyse chimique de la cellulose demande une température et une pression plus élevées, ainsi que des conditions plus acides, ce qui exige un équipement de traitement industriel plutôt onéreux ; c'est pourquoi ces scientifiques se sont tournés vers des enzymes, les **cellulases**, pour régler le problème.

Bien que les êtres humains ne puissent pas digérer la cellulose, le bétail, les termites, le castor et les champignons sont capables de la dégrader. Quelques bactéries, champignons et insectes produisent eux-mêmes des cellulases ; d'autres animaux servent d'hôtes à des bactéries qui produisent des cellulases dans leur tube digestif.

La plupart des cellulases sont des complexes de trois enzymes qui agissent ensemble pour hydrolyser la cellulose. Tout d'abord, une *endoglucanase* casse l'une des chaînes dans la structure moléculaire de la cellulose, puis, une *exoglucanase* s'attache à l'une des extrémités disponibles, pousse la chaîne de cellulose hors de la structure moléculaire et opère sur la longueur de la chaîne, en coupant les unités de cellobiose (deux unités de glucose reliées ensemble). Pour finir, une bêta-glucosidase coupe la cellobiose en deux molécules de glucose, qui peuvent alors être fermentées et transformées en éthanol.

Réduction des coûts de production

Jusqu'ici, les cellulases qui sont nécessaires pour décomposer la cellulose, provenaient de champignons, en particulier de *Trichoderma reesei*. Les scientifiques de **NREL** ont étudié d'autres sources, comme la bactérie *Acidothermus cellulolyticus* qu'ils ont trouvé dans les eaux chaudes de parc national de Yellowstone, aux Etats Unis.

Mais, habituellement, les exoglucanases bactériennes ne sont pas aussi efficaces que celles des champignons, bien qu'elles tolèrent des températures élevées. Une prochaine étape sera de combiner la tolérance à de hautes températures avec l'efficacité de l'enzyme fongique. **NREL** et **DOE** ont signé un contrat avec les plus grandes sociétés mondiales productrices d'enzymes, *Genecor International* et *Novozymes*, pour réduire le coût de production des cellulases vers une plage de 0,10 à 0,20 \$ par gallon d'éthanol ; l'opération a bien réussi [1].

Une autre amélioration comporte l'action simultanée d'enzymes et de microorganismes de fermentation, de sorte que pendant que les sucres sont produits par les cellulases, les microorganismes assurent la fermentation du glucose en éthanol [3].

La société *Iogen Corporation* basée à Ottawa, au Canada [4] fut la première à développer le procédé de digestion enzymatique pour obtenir l'éthanol à partir de la cellulose. Elle a bâti la plus première usine au monde, mais seulement en guise de démonstration, pour convertir la biomasse cellulosique en éthanol. L'usine traite 40 tonnes de paille de blé par jour, et *Iogen* est devenue la première compagnie pour de commercialisation d'éthanol cellulosique en avril 2004. Le premier consommateur a été le gouvernement canadien, et avec le gouvernement des Etats-Unis (en particulier le **NREL** du **DOE**), ils ont investi des millions de dollars pour aider la commercialisation de l'éthanol cellulosique

L'éthanol cellulosique est-il soutenable et durable ?

Une analyse préliminaire du cycle de vie de l'éthanol cellulosique a montré que ce dernier réduit l'émission de gaz à effet de serre de 89 pour cent par rapport à un carburant pétrolier raffiné. En revanche, l'éthanol issu de la fermentation des sucres a réduit des émissions de gaz à effet de serre de 13 pour cent en moyenne [5]. Le rendement énergétique est apparu meilleur que n'importe quel autre, avec un rapport intrants/produit de 1,98, ce qui signifie que pour chaque unité d'énergie consommée, près de 2 unités d'énergie, issues de l'éthanol cellulosique, sont produites. Il faut cependant tenir compte des procédures comptables défectueuses. ([Biofuels for Oil Addicts](#), S/S 30). [La version en français s'intitule " [Energie Des biocarburants pour les inconditionnels du pétrole Quand la solution alternative est pire que la dépendance](#) " ; elle sera prochainement accessible sur Internet].

Les systèmes agricoles des Etats Unis peuvent-ils soutenir la production d'éthanol cellulosique à grande échelle ? Y a-t-il suffisamment de terres disponibles ? La biomasse peut-elle être fournie sans affecter le coût des terres agricoles, sans concurrencer la production de nourritures et sans nuire à l'environnement ? Les réponses à ces questions vont d'un non catégorique à un oui massif, dépendant des efforts consentis en matière de R&D, de l'innovation technologique et de la politique gouvernementale [1].

Une évaluation indique que pour produire 50 milliards de gallons d'éthanol par an à partir de la biomasse cellulosique, le flux de déchets fournirait seulement de 40 à 50 pour cent de la matière première, le reste devant provenir de plantes énergétiques telles que le **switchgrass**, sans grands impacts sur le système agricole.

Mais au delà de ce niveau, il y aurait des implications pour le prix des terres agricoles et une concurrence avec les récoltes vivrières.

On estime que les Etats-Unis devraient consommer 290 milliards de gallons de carburants chaque année pour les voitures et les camions d'ici 2050. L'amélioration de l'efficacité des véhicules de 50 **mpg** [voir aussi à **Efficacité énergétique** ci-après], ou plus encore, et l'institution de politiques de croissance astucieuses, pourraient ramener la consommation à 108 milliards de gallons vers 2050.

Selon le rapport du *NRDC*, intitulé *Growing Energy* [6], le nombre de gallons d'éthanol actuellement produits par tonne de matière sèche de biomasse aux Etats Unis est de 50 gallons, soit 208,93 litres/tonne métrique (qui rivalise mal avec les 371,75 litres/tonne pour les grains de maïs [7]). Cela suppose une amélioration de 117 gallons par tonne de matière sèche (soit 488.89 l/tonne), l'équivalent de 77 gallons d'essence.

Si les améliorations prévues du rendement du *switchgrass*, de 12,4 tonnes sèches par acre (27,77tonne/ha) pouvaient être réalisées – ce qui est plus de deux fois la moyenne actuelle de 5 tonnes de matières sèches par acre - alors 114 millions d'acres environ consacrées au *switchgrass* pourraient fournir la biomasse suffisante pour produire 165 milliards de gallons d'éthanol d'ici 2050 (soit l'équivalent de 108 milliards de gallons de carburant). Ceci prendrait 26,4 pour cent des terres cultivables consacrés à des espèces cultivées et récoltées aux Etats Unis, ou encore à 12,2 pour cent des surfaces agricoles utiles totales ; la production alimentaire s'en trouverait très certainement affectée.

Une grande idée pour rendre des biocarburants économiques et efficaces consisterait à développer des bioraffineries, analogues aux raffineries de carburant, dans lesquelles le pétrole brut est converti en carburants et en co-produits tels que des engrais et des plastiques. Dans le cas d'une bioraffinerie, la matière première de la biomasse végétale fabriquerait des produits divers tels que de l'alimentation pour les animaux, des carburants, des produits chimiques, des polymères, des lubrifiants, des adhésifs, des engrais et de l'énergie.

John Sheehan du *NREL* avait utilisé un logiciel de simulation pour étudier la conception d'une bioraffinerie. « *La notion d'échelle constitue une question majeure,* » dit Sheehan. Il a découvert que les bioraffineries devraient traiter 5.000 à 10.000 tonnes de biomasse par jour pour être économiquement viables. « *Au-dessous de 2.000 tonnes par jour, les frais financiers montent en flèche.* »

Une étude du **DOE** des Etats Unis et de l'**USDA**, publiée en avril 2005 [8], a conclu que les espaces forestiers et les terres cultivables ont la capacité de fournir 7 fois plus de quantité de biomasse que celle qui est actuellement consommée par les bioénergies et les produits associés - plus de 1,3 milliard de tonnes de matières premières sèches – ce qui est suffisant pour satisfaire plus d'un tiers de la demande actuelle des carburants pour les transports. Plus de 25 pour cent viendraient des espaces forestiers gérés de manière extensive et environ 75 pour cent des surfaces cultivées et gérées de manière intensive.

Les ressources primaires principales proviendraient des déchets d'abattage des forêts et du traitement des carburants (pour réduire des risques d'incendie) et des résidus des plantes annuelles ou bisannuelles cultivées et d'espèces vivaces établies sur des terres agricoles.

Cette évaluation est basée, entre autres, sur des projections (optimistes) d'augmentations substantielles des rendements des cultures, particulièrement d'une montée des rendements de 50 pour cent chez la principale plante bioénergétique, le maïs, ainsi que 60 millions d'acres de plantes bioénergétiques vivaces (telles que le *switchgrass*), emblavées sur des terres cultivables inoccupées, notamment sur 8 millions d'acres qui avaient été précédemment mises en culture avec du soja.

A moins que la consommation de carburants soit réduite de manière substantielle par rapport au niveau actuel, il est évident que les biocarburants issus de plantes énergétiques ne pourront pas remplacer les carburants fossiles sans affecter la production des végétaux pour constituer des denrées alimentaires.

Quels seront les développements futurs ?

Une autre contrainte pour obtenir de l'éthanol à partir de la biomasse végétale, réside dans le fait que plusieurs des sucres contenus dans l'hémicellulose, tels que le **xylose**, ne sont pas fermentés en alcool par les microorganismes habituels. La cellulose compose 40 à 50 pour cent du poids sec de la biomasse et l'hémicellulose 20 à 35 pour cent.

Lonnie Ingram, Professeur de la microbiologie à l'Institut des sciences agronomiques et de l'alimentation, à l'Université de la Floride aux Etats-Unis, a fait les gros titres des journaux [9] parce que son équipe de recherche avait modifié génétiquement une souche de la bactérie *E. coli* pour produire de l'éthanol à partir du xylose [10]. Cela a été commercialisé avec l'aide du **DOE** des Etats Unis. La société, *BC International Corp.*, basée à Dedham, dans le Massachusetts, a accordé des droits exclusifs de licence et d'utilisation de la bactérie modifiée génétiquement.

La bactérie *E. coli* a été modifiée en y transférant les gènes requis pour fermenter des sucres - décarboxylase du pyruvate et déshydrogénase de l'alcool – provenant de la bactérie *Zymomonas mobilis* - et le xylose est fermenté avec un rendement en éthanol de 95 pour cent du rendement théorique [11].

Greg Luli, le vice-président de la recherche chez *BC International Corp.*, a annoncé que cette société a établi des plans pour construire une usine à Jennings, en Louisiane, qui sera capable de transformer 30 millions de gallons de biomasse en éthanol ; l'usine devait être opérationnelle vers la fin de l'année 2006 [9]. Les déchets de l'industrie de canne à sucre de Louisiane constitueront la matière première principale pour faire fonctionner cette usine.

Des développements similaires ont lieu en Europe. Une installation pilote a été annoncée par la société suédoise *Etek Etholteknik AB* pour produire 400-500 litres d'éthanol par jour à partir d'une entrée de matière première de 2 tonnes de biomasse sèche [12].

L'usine est conçue pour fonctionner avec un procédé en deux étapes : une hydrolyse par de l'acide dilué et une combinaison avec une hydrolyse enzymatique. La matière première est constituée de bois tendre, mais d'autres formes de biomasse comme le bois dur et les plantes annuelles, telles que la paille et l'**alpiste**, seront également expérimentées.

L'installation pilote va être située à Ornskildsvik, dans le Nord de la Suède, près d'une usine existante d'éthanol de pulpe sulfitée. Trois universités de la région – l'Université d'Umeå, l'Université de la Suède centrale et l'Université technique de Lulea – seront propriétaires de l'usine.

Pas encore rentable mais non soutenable

Concernant la technologie de fermentation du xylose avec l'aide de bactéries, un problème a été soulevé et résumé par un groupe de professeurs du *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* aux Etats Unis, dans un livre blanc soumis au Conseil pour l'énergie de cet institut *MIT* [13].

Il s'agit d'un problème posé par le fait qu'une solution assez diluée d'éthanol est produite, au mieux 5-6 pour cent, en comparaison avec les 12 pour cent obtenus avec de la fécule de maïs fermentée avec des levures. La fermentation du xylose par la bactérie *E. coli* de Lonnie Ingram, produit une solution à 4,5 pour cent d'éthanol [14].

La raison en est que certains composés, qui s'accumulent pendant la fermentation des mélanges de glucides de la biomasse, empêchent la croissance microbienne. En d'autres termes, les bactéries produisent de la bière, pas du vin !

Par ailleurs, l'eau qui est exigée en supplément avec le procédé de fermentation, plus l'énergie supplémentaire qui est nécessaire pour distiller l'éthanol, rendront le procédé peu rentable économiquement et insoutenable pour l'environnement.

Les professeurs de **MIT** ont également mis en doute l'idée d'une bioraffinerie pour faire utiliser les sous-produits de la fermentation, d'une part, et que cela soit économiquement viable, d'autre part. Ils proposent d'utiliser les outils de la biotechnologie pour créer des microorganismes qui peuvent surmonter l'inhibition de croissance, afin d'améliorer le rendement et la productivité de la fabrication de l'éthanol à partir de la biomasse.

S'ils y parviennent, il sera alors indispensable de s'assurer que la bactérie modifiée génétiquement ne s'échappe pas et ne se disperse pas dans l'environnement. Ceci s'applique d'ailleurs à toutes les autres bactéries génétiquement modifiées qui fabriquent de l'éthanol à partir de la biomasse cellulosique.

Il y a quelques années, le chercheur Elaine Ingham, spécialiste des sciences du sol, et son étudiant diplômé Michael Holmes, ont expérimenté une bactérie *Klebsiella planticola* génétiquement modifiée pour produire de l'éthanol à partir de débris de bois : ils ont trouvé que cette bactérie pouvait tuer toutes les plantes de blé dans chacun des milieux dans lesquels l'expérience avait été conduite [15, 16].

Incidences de l'éthanol sur l'environnement

L'éthanol est-il vraiment plus propre et "plus vert" que le carburant fabriqué à partir du pétrole ? Dans une audition du Sénat des Etats Unis à propos de la Loi fédérale de 1999 portant sur la soutenabilité des carburants et des produits chimiques, le **NRDC** a démontré [17] que les produits de combustion de l'éthanol comprennent du **formaldéhyde** et de l'**acétaldéhyde**, deux substances qui sont connues pour leurs propriétés carcinogènes, et qu'en outre, une plus grande utilisation de l'éthanol peut également augmenter, dans l'atmosphère, les teneurs en **peroxyacétylnitrate** (PAN).

Cette information faisait référence à un rapport de l'Université de Californie qui traitait des effets sur la santé des oxygénates dont l'éthanol [18] (des produits chimiques qui contiennent de l'oxygène et qui sont ajoutés aux carburants pour rendre leur combustion plus efficace) : l'emploi de l'éthanol aurait comme conséquence une augmentation des concentrations atmosphériques d'acétaldéhyde et de peroxyacétylnitrate (PAN).

L'acétaldéhyde a été classée comme un contaminant toxique de l'air en Californie, vu l'évidence de sa propension à provoquer des cancers, tandis que le peroxyacétylnitrate (PAN) est « *génétoxique [qui cause des dommages génétiques] et produit une irritation oculaire et respiratoire et que ce composé chimique peut produire des dommages au niveau du poumon.* »

Le **NRDC** a précisé qu'une plus grande utilisation de l'éthanol comme carburant pourrait mener à une augmentation de l'exposition à l'éthanol par l'intermédiaire de l'inhalation, ce qui pourrait avoir comme conséquence de le situer dans la gamme des toxicités connues et qui sont liées à l'éthanol ingéré [boissons alcooliques]. Cet organisme avait également mis en garde contre les émissions d'**oxydes nitriques** et de **composés organiques volatils** qui sont des précurseurs de l'**ozone**.

Récemment, C. Hodge de la société '*A Second Opinion Inc.*' a signalé que les teneurs en ozone dans l'atmosphère ont augmenté en Californie dans l'année 2003, en liaison avec la mise en vente un an plus tôt d'un carburant contenant 10 pour cent d'éthanol, de l'**ETBE** (éthyl tertio butyl éther) ou éther butylique tertiaire méthylique [19].

Les taux d'ozone dans l'air ont été observés dans le bassin atmosphérique aérien de la côte sud de la Californie : ils étaient deux fois supérieurs à ceux des trois années précédentes, et la concentration maximum en ozone atteignait 22 pour cent. Cette augmentation des teneurs en ozone a été en effet corrélée avec l'augmentation des émissions des oxydes nitriques et des composés organiques volatils ; cela a échappé à l'Agence pour la protection de l'environnement des Etats-Unis (*Environmental Protection Agency*, **EPA**), pour sa notification.

Cet organisme **EPA** a donné un avis favorable – sans effet nocif sur la santé - à l'ajout de l'éthanol dans le carburant, en se référant à un modèle défectueux pour les expérimentations qui n'a pas tenu compte du fait que l'éthanol tend à produire davantage d'oxydes nitriques, lesquels ont une tendance à se répandre par les joints des systèmes de carburation des véhicules à moteur, à dégrader la manoeuvrabilité et à augmenter de ce fait les émissions d'échappement.

L'Agence pour la protection de l'environnement des Etats-Unis (*Environmental Protection Agency, EPA*) a réclamé « *une interdiction, pas une extension* » de l'utilisation de l'éthanol dans les carburants aux Etats-Unis.

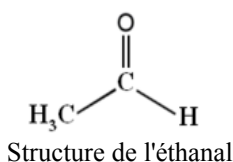
The Institute of Science in Society, PO Box 32097, London NW1 OXR
telephone: [44 1994 231623] [44 20 8452 2729] [44 20 7272 5636]

General Enquiries sam@i-sis.org.uk - Website/Mailing List press-release@i-sis.org.uk - ISIS Director
m.w.ho@i-sis.org.uk

**MATERIAL ON THIS SITE MAY NOT BE REPRODUCED IN ANY FORM
WITHOUT EXPLICIT PERMISSION. FOR PERMISSION, PLEASE CONTACT
enquiries@i-sis.org.uk**

Définitions et compléments en français :

Acétaldéhyde aussi appelé **aldéhyde acétique**, **éthyl aldéhyde oxoéthane** ou **éthanal** ([Nomenclature IUPAC](#)) : c'est un [composé chimique](#) de [formule chimique](#) **CH₃CHO**. Il est naturellement produit par les plantes. On le trouve naturellement dans les fruits mûrs, le café, le pain frais.



C'est un liquide très réactif et inflammable à forte odeur fruitée (pomme verte). Trois molécules d'acétaldéhyde peuvent former un **paraldéhyde** cyclique. Quatre molécules d'acétaldéhyde peuvent former un **tétramère d'acétaldéhyde** cyclique. Il conduit, par inhalation, à l'apparition de tumeurs de la trachée chez le hamster. L'acétaldéhyde est donc un **cancérigène** animal établi. Actuellement c'est un **cancérigène** humain présumé. Il a des effets **mutagènes**, **embryotoxiques** et **tératogènes**. La fumée de **cigarette** en contient d'importantes quantités (de l'ordre du milligramme par cigarette). L'acétaldéhyde ne contribue pas à la destruction de la **couche d'ozone stratosphérique** et n'est pas non plus un facteur important du changement climatique. À cause de sa photoréactivité et des concentrations modérées présentes dans l'air urbain, il joue un rôle dans la synthèse photochimique d'**ozone troposphérique**. L'acétaldéhyde peut aussi participer à des processus mineurs dont la photolyse directe, la réaction avec les radicaux nitrate (NO₃) et hydroperoxy (HO₂) et la réaction avec l'ozone (O₃). Source : fr.wikipedia.org/wiki/Éthanal

Alpiste, en latin *Phalaris canariensis* L., encore appelé **blé des Canaries**, **millet long**, et en anglais canary grass : c'est une **plante** de la famille des **Poacées** (**graminées**), cultivée comme **céréale** secondaire pour ses **graines**. Plante annuelle à tiges dressées de 40 cm à 1 m de hauteur ; feuilles de 5 à 8 mm de large ; inflorescence en forme d'épi ovoïde. On la trouve en Afrique du Nord, au Maroc, aux Iles Canaries, Açores et Madère. Cultivé dans les régions méditerranéennes pour l'alimentation animale : graines pour **oiseaux** de volière et volaille, et comme fourrage.

Source : fr.wikipedia.org/wiki/Alpiste

Reed canary grass est mentionné comme Phalaris arundinacea)



La plante ressemble au dactyle (*Dactylis glomerata*), avec un port érigé, des tiges non velues, de 0.6-1.8 mètres de hauteur. La floraison apparaît sur des panicules érigée de 8.9-25.4 cm de longueur. La région méditerranéenne est le centre d'origine probable du genre. Aux Etats Unis, elle est considérée comme native de l'Illinois mais des écotypes eurasiens ont été introduits un peu partout dans le monde. Adapté du texte en anglais accessible ici : www.inhs.uiuc.edu/chf/outreach/VMG/rcanarygr.html



Phalaris canariensis

Biocarburants : produits élaborés en remplacement des dérivés du pétrole d'origine fossile. Ils sont obtenus à partir de plantes possédant une haute valeur énergétique. Il existe deux familles de biocarburants :

Ceux qui se substituent au gazole (moteurs diesel). Ils sont issus de plantes oléagineuses (riches en huile), principalement le colza et le tournesol. Ces biocarburants sont produits sous deux formes :

- de l'huile végétale pure, avec l'inconvénient d'une viscosité élevée et d'une difficulté à s'autoenflammer dans le moteur, ce qui est gênant pour un diesel ;
- de l'**EMHV** (ester méthylique d'huile végétale), appelé aussi diester, qui est le produit de la réaction entre l'huile végétale et le méthanol. Le diester peut être mélangé au gazole en proportions variables. Il peut même être utilisé pur dans un moteur Diesel adapté (ainsi en Allemagne, en Autriche et en Suède).

Ceux qui se substituent à l'essence. Ils sont issus de plantes riches en sucre (betterave, canne à sucre) ou en amidon (blé, maïs, pomme de terre). Ces plantes génèrent des alcools par fermentation. Il existe deux types de ces biocarburants :

- l'alcool éthanol lui-même, qu'on peut utiliser mélangé à l'essence ou même pur (mais dans ce cas il faut un moteur spécial modifié) ;
- une combinaison entre l'éthanol et l'isobutène, un produit pétrolier des raffineries. Ce carburant est l'**ETBE** (éthyl tertio butyl éther). Il existe aussi le **MTBE** (méthyl tertio butyl éther), mais celui-ci est fabriqué à partir de méthanol d'origine pétrolière. L'ETBE et le MTBE peuvent être mélangés à l'essence en proportions variables.



Champ de colza. Le gazole peut contenir jusqu'à 5 % d'ester d'huile végétale, un dérivé de colza ou de tournesol.



Pour cultiver ces plantes énergétiques, les récolter, les transporter et les transformer, on dépense de l'énergie (engrais, machines agricoles, camions, unités de traitement et de transformation). Il faut donc s'assurer qu'on récupère au bout du compte plus d'énergie qu'on en a consommé, sinon... ce n'était pas la peine ! C'est ce qu'on appelle le bilan énergétique. Il est variable suivant les différentes plantes. Dans le tableau qui suit, le ratio de production nette représente le rapport entre énergie fournie par le biocarburant et énergie dépensée pour le produire. On voit que le bilan énergétique n'est pas fameux pour l'éthanol de betterave et surtout de blé. Il est bien meilleur pour le colza.

Culture	Type de biocarburant	Ratio de production nette			
Colza	Diester	2,1 à 3			
Colza	Huile	3 à 4,7			
Betterave	Ethanol	1,4 à 1,8			
Blé	Ethanol	1,15 en moyenne			



Afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de diversifier les sources d'énergie, on élabore des biocarburants, composés d'essence et de bioéthanol provenant de la fermentation de sucres issus de céréales et de plantes sucrières, telles que la **betterave**.

L'Europe encourage le développement des biocarburants. D'importantes détaxations, variables suivant les pays, les favorisent. Les perspectives prévues pour 2010 sont :

- pour l'Europe, production de 2,4 millions de tonnes équivalent pétrole sur 2 millions d'hectares de cultures et aides aux producteurs de plantes à biocarburants,

- pour la France :

- ☐ mobilisation d'1,1 Mha (sur 1,5 Mha de jachères) pour les biocarburants ;
- ☐ taux d'incorporation de 5,75 % de biocarburants à la pompe (2 % en 2005) ;
- ☐ doublement des capacités de production avec notamment de nouvelles unités de production d'ETBE.

En Amérique, c'est le biocarburant éthanol qui est favorisé. Sans doute parce que les coûts de production d'éthanol à partir de la canne à sucre (Brésil) ou du maïs (Etats-Unis) sont très inférieurs aux coûts de production à partir de la betterave.

En 2004, la production mondiale d'éthanol était de 422 millions d'hectolitres, dont 36 % pour le Brésil et 33 % pour les Etats-Unis. Au Brésil, de nombreux véhicules roulent avec une forte concentration en éthanol dans le carburant, parfois même à l'éthanol pur. La consommation d'éthanol (carburant) sur les principaux marchés américains, européens et asiatiques est appelée à doubler entre 2005 et 2010, en gros de 400 à 800 millions d'hectolitres.

Les biocarburants pourraient-ils un jour remplacer les carburants fossiles ? Quelle surface de territoire faudrait-il occuper pour une production de biocarburants à la hauteur du pétrole que nous consommons ? Une petite idée des réponses apparaît dans le tableau qui suit, avec l'exemple de la France :

- ☐ la deuxième colonne représente l'énergie brute produite par hectare en tonnes équivalent pétrole ;
- ☐ la troisième, en km², la surface minimale nécessaire pour produire 25 Mtep (soit à peu près le quart de la consommation annuelle de pétrole en France) ;
- ☐ la quatrième, le pourcentage de surfaces cultivées que représente cette surface minimale.

Culture/biocarburant	Energie brute/ha (tep)	Surface minimale pour produire 25 Mtep (km ²)	Surface minimale en % des surfaces cultivées en France			
Colza/huile	1,37	183 000	116 %			
Tournesol/huile	1,06	236 000	150 %			
Betterave/éthanol	3,98	63 000	40 %			
Blé/éthanol	1,76	142 000	97 %			

On voit tout de suite que si notre consommation de pétrole (dont plus de la moitié est utilisée pour les transports) ne diminue pas, les biocarburants ne peuvent rester qu'un appoint mineur aux carburants classiques, un moyen d'économiser un peu de pétrole : il n'est pas question de couvrir toute la campagne de champs de colza, il faut quand même qu'on se nourrisse !

Source : www.planete-energies.com/getContent.aspx?directory=5_5_2_biocarburants

Biomasse (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse>) : désigne éthymologiquement la masse totale de matière vivante en un lieu donné. Par extension on parle d'énergie issue de la biomasse. Ou encore d'énergie de la biomasse. Sous ce terme il faut donc comprendre l'énergie produite à partir des matières vivantes. (par opposition aux matières fossiles). La biomasse est principalement composée de tissus organiques issus de la photosynthèse ou de la destruction d'autres tissus organiques dont les principaux éléments sont et l'eau et le carbone principalement associé à l'hydrogène. Pour transformer ces substances et leur permettre de fournir de l'énergie, il faut leur faire subir une transformation. Différents procédés chimiques permettent d'obtenir de l'énergie à partir de la biomasse :

- La **combustion** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Combustion>): cette oxydation des composés carbonés, permet un dégagement de chaleur connue depuis la nuit des temps et notamment utilisée pour se chauffer. Voir [Bois de chauffage](#)
- La **pyrolyse** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Pyrolyse>): cette oxydation à haute température permet la liquéfaction ou gazéification des composés carbonés sans qu'ils soient détruits comme dans la combustion, ce qui permet de leur faire ensuite subir d'autres transformation. C'est ainsi que l'on obtient des essences de synthèses à partir de la biomasse.
- La **fermentation** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fermentation>): les bactéries transforment naturellement les matières organiques. Deux grands types sont à distinguer. Celles qui ont besoin de l'air pour vivre (ou aérobies) et qui détruisent les sucres contenus dans la plante en donnant des alcools et du gaz carbonique (par ex. la fermentation du raisin ou la production du **bioéthanol** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Bio%C3%A9thanol>) et celles qui vivent en l'absence d'air (ou anaérobie) qui produisent en digérant la matière organique des

- La **pression** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Pression>): sous l'effet de la pression certaines plantes donnent des huiles végétales (huile d'olive, huile de colza). Ces composés organiques sont très proches des huiles minérales (fossiles). Elles peuvent donc être utilisées "pures" directement dans les moteurs (huile colza), moyennant une adaptation du moteur. Ou en y ajoutant certains additifs pour améliorer leurs performances, on les retrouve sous les termes de **Biodiesel** ou **Diester** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>).

Le rendement photosynthétique est le rapport entre l'énergie chimique produite par la photosynthèse des végétaux chlorophylliens et l'énergie solaire qu'ils absorbent. Plus il est élevé, plus les végétaux stockent de l'énergie chimique. (**il est de l'ordre de 2%**)

La production à l'hectare: elle varie selon le végétal considéré. Quelques exemples. Pour le blé on compte 70 quintaux soit **7 tonnes** à l'hectare. Pour le colza on parle de 33 quintaux soit **3,3 tonnes** à l'hectare. Pour la canne à sucre, on parle de 700 quintaux soit **70 tonnes** à l'hectare. Pour le maïs de **9 tonnes** à l'hectare. Pour le *Miscanthus* sp de **25 tonnes** à l'hectare.

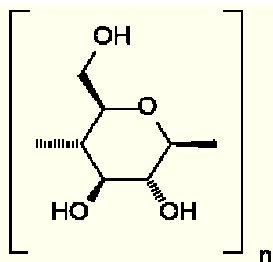
Les espèces végétales privilégiées: en fonction de ce que l'on veut produire à partir de la biomasse (Bioéthanol, Combustible de chauffage, Btl, etc...) on sélectionnera les espèces qui s'y prêtent le mieux (fort taux en sucre, fort rendement à l'hectare, etc...). Ainsi on entendra souvent parler de **bois** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Bois>), de la **paille** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Paille>), du **maïs** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ma%C3%AFs>), des **betteraves** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Betterave>), du **colza** (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Colza>) car ce sont des productions agricoles importantes, mais aussi de plantes à haut rendement à l'hectare (**Miscanthus** (<http://en.wikipedia.org/wiki/Miscanthus>) -en anglais-, le **Switchgrass** (<http://en.wikipedia.org/wiki/Switchgrass>)) ou encore d'ordures ménagères (ressource inépuisable !) mais encore d'algues, car elles ont un très fort rendement à l'hectare et n'obèrent pas la SAU

La surface agricole utile ou SAU (http://fr.wikipedia.org/wiki/Surface_agricole_utile): représente en France environ 29 millions d'hectares, soit **54 % du territoire national**. La surface de la forêt des Landes est évaluée à environ un million d'hectares, dont les 9/10 sont exclusivement constitués de pins maritimes et elle produit 8 m3 de bois (tout compris) à l'hectare chaque année.

La biomasse porte en elle d'énormes espoirs pour tous ceux qui voient arriver la fin de l'âge du "tout pétrole". En effet, non seulement cela veut dire que l'on va pouvoir utiliser des carburants à "effet de serre zéro", puisque le CO2 brûlé provient justement de l'atmosphère, mais cela redonne aussi un énorme espoir à l'agriculture qui produira demain non seulement le manger mais aussi le conduire. Certains vont jusqu'à voir dans nos campagnes les émirats de demain. Cela dit beaucoup d'espoirs se font jour et aussi beaucoup d'interrogations. Certains vont jusqu'à dire qu'il faudra choisir entre "manger ou conduire" à l'avenir. Tout cela est certainement exagéré. La chimie organique n'a jamais été simple. Aujourd'hui deux voies se font jour. La chimie "blanche" qui consiste à tirer un meilleur rendement des transformations décrites plus haut (chimie de la lignine, etc...) et la chimie "verte" qui consiste à améliorer le rendement des plantes (plantes à haut rendement comme la *Miscanthus*, utilisation des algues, etc...). Dans chacune de ces disciplines il y a beaucoup à découvrir, car elles n'ont jamais fait l'objet de recherches approfondies dans le passé. Source : oleocene.org/wiki/index.php?title=Biomasse

Cellulase : c'est une enzyme complexe qui décompose la cellulose sous la forme de beta-glucose. Il est produit principalement par des bactéries symbiotiques présentes dans les poches de l'estomac des ruminants. À l'exception des ruminants, la plupart des animaux (l'homme y compris) ne produisent pas de cellulase : il leur est donc impossible d'utiliser la plus grande partie de l'énergie contenue dans les plantes. La **cellulase** peut-être utilisée, liée à la **pectinase**, pour obtenir des **protoplastes** à partir de cellules végétales. La paroi squelettique étant constitué de **cellulose** (et de **pectine**) : la pectinase va décomposer la cellulose. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Cellulase

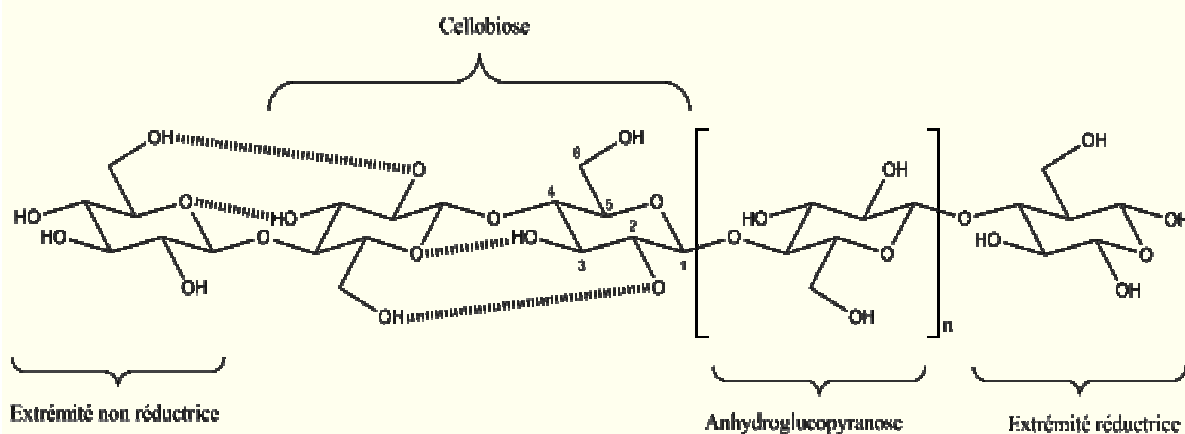
Cellulose : c'est un **glucide**, **polymère** du **glucose** (ou **polysaccharide** de glucose), de formule $(C_6H_{10}O_5)_n$ (n compris entre 200 et 14 000) et principal constituant des végétaux et en particulier de la **paroi** de leurs cellules.



La cellulose est un polymère du glucose

Lorsque la cellulose est solubilisée, elle forme des fibres végétales (microfibrilles). Il s'établit des liaisons hydrogènes entre les molécules de glucose des différentes chaînes. C'est le principal constituant du **bois**. La cellulose constitue la matière organique la plus abondante sur la **Terre** (plus 50 % de la biomasse). La quantité synthétisée par les végétaux est estimée à 50-100 milliards de tonnes par an. La cellulose est le constituant principal du **bois**. Le **coton** est une source importante de cellulose.

Les monomères de glucose sont liés entre eux par des liaisons béta 1-4, conduisant à des polymères linéaires. Ces polymères s'associent entre eux par des liaisons intermoléculaires de type **liaisons hydrogène**, conférant ainsi une structure fibrillaire à la cellulose.



La structure de la cellulose a une grande influence sur le comportement chimique et les propriétés macroscopiques de celle-ci. Différents niveaux de description structurale sont à prendre en compte. La cellulose est un **homopolymère** linéaire composé de très nombreuses unités de D-Anhydroglucopyranose (AGU) reliées entre elles par des liaisons glycosidiques β -(1 \rightarrow 4). Le motif de répétition est le dimère **cellobiose**. Les AGU se trouvent en conformation chaise et possèdent 3 fonctions **hydroxyles** : 2 alcools secondaires (en position 2 et 3) et un alcool primaire (en position 6). Ces fonctions hydroxyles, ainsi que les liaisons glycosidiques, se situent en position équatoriale par rapport au plan du cycle ce qui entraîne donc que les **hydrogènes** du cycle se trouvent en position axiale. Le **degré de polymérisation** diffère énormément selon l'origine de la cellulose; sa valeur peut varier de quelques centaines à quelques dizaines de milliers. La cellulose a une structure supramoléculaire : la molécule est étirée, car les liaisons sont équatoriales, et permettent donc une extension maximale. L'agencement se fait ensuite en micro-fibrilles (environ 1500 molécules par fibre).

La cellulose n'est pas **digérée** par l'homme, mais est cependant utile au bon fonctionnement des intestins sous forme de **fibres végétales**. Les animaux herbivores utilisent en général des **enzymes** d'origine **exogène**, c'est-à-dire produites par certaines bactéries de la **flore intestinale** pour digérer la cellulose. La cellulose et ses dérivés sont utilisés dans l'**industrie alimentaire**. En tant que **additifs alimentaires** ils portent les codes E 460-E 466

La cellulose est le principal composant du bois. En ce sens, c'est l'élément essentiel de la combustion du **bois** qui est, par exemple, la première source d'énergie renouvelable en France. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Cellulose

Composés organiques volatils, ou **COV** : ce sont des **hydrocarbures** (composés constitués de carbone et d'hydrogène - ce dernier peut être partiellement ou totalement substitué par les halogènes, oxygène, soufre, phosphore ou azote) dont la pression de vapeur est au moins égale à $P_v \geq 0,01$ kPa à une température de 293,15 K (pouvant facilement se trouver en sous forme gazeuse dans l'**atmosphère**). Ils peuvent être d'origine

anthropique (raffinage, évaporations de solvants, imbrûlés...) ou naturelle (émissions par les plantes). Ils sont **précurseurs**, avec les **oxydes d'azote**, de l'ozone troposphérique. Ce sont donc des gaz à effet de serre. Certains des COV sont en outre nocifs pour les espèces animales et végétales. Leur caractère volatil leur permet de se propager plus ou moins loin de leur lieu d'émission. Ils peuvent donc avoir des impacts directs et indirects.

Tous les procédés qui impliquent la manipulation et la production d'hydrocarbure émettent des COV. Un des principaux émetteurs est le **raffinage de pétrole**. Les **solvants** sont également producteurs de COV. (voir www.citepa.org). Les COV sont également une des causes de **pollution intérieure**, c'est-à-dire de la **pollution de l'air** à l'intérieur des bâtiments, lieux d'habitations, lieux publics et lieux de travail. Les sources sont alors généralement les peintures, colles et produit de traitement du bois. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Composé_organique_volatil

Développement durable : le « **développement durable** » est, selon la définition qu'en a donnée la norvégienne Gro Harlem Brundtland à l'ONU en 1987, un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes en répartissant équitablement les fruits de la croissance, sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire leurs besoins (**rapport Brundtland**, *notre avenir à tous*). L'**environnement** est en effet apparu à partir des **années 1970** comme un patrimoine à transmettre aux générations futures. Le **philosophe Hans Jonas** a exprimé cette préoccupation dans son livre **Le Principe responsabilité** (1979). Au **sommet de la Terre** de Rio de Janeiro, cette définition sera complétée par la définition des trois piliers qui doivent être conciliés dans une perspective de développement durable : le progrès économique, la justice sociale et la préservation de l'**environnement**. La traduction anglaise de développement durable est *sustainable development*. On dit quelquefois aussi en français développement soutenable.

La **soutenabilité** est le caractère de ce qui respecte le mieux les principes de développement durable. Le terme de *développement* complète la notion de progrès, qui au **XIX^e siècle**, s'est construite autour du progrès industriel, et qui pouvait avoir des connotations **idéologiques** (idéologie du progrès). Le terme durable est utilisé pour la première fois dans le **rapport Brundtland** (ONU, 1987). Il y est défini comme un développement *qui répond aux besoins du présent sans compromettre les capacités des générations futures à répondre aux leurs*. Un développement durable doit être à la fois viable, vivable, et équitable. Certains préfèrent parler de **développement soutenable**, c'est-à-dire ce que notre environnement peut supporter sur le long terme. Ce serait aussi une traduction plus littérale du terme anglophone *sustainable development*.

Cependant, le concept de durabilité n'a pas à être dépendant d'un simple aspect de traduction d'une langue à l'autre. Les tenants du terme « **durable** » préfèrent insister sur la notion de **durabilité** (cohérence entre les besoins et les ressources globales de la Terre sur le long terme) plutôt que sur l'idée d'une recherche de la limite jusqu'à laquelle la Terre sera capable de nous *soutenir* sans dommage. D'autres récusent le concept même de **développement économique** et préfèrent parler d'**utilisation durable**, voire, en s'inspirant des travaux de **Nicholas Georgescu-Roegen**, de **décroissance durable**.

Il existe deux conceptions sur la **soutenabilité** : l'une n'admet pas que le **capital naturel** soit amputé au détriment des générations futures, alors que l'autre tolère une amputation du capital naturel, à condition que cette amputation soit substituée par un capital de **connaissances**. Les tenants de la soutenabilité forte sont plutôt les ONG, surtout environnementales, les associations... Les tenants de la soutenabilité faible se situeraient plutôt dans les milieux dirigeants des entreprises et dans les milieux économiques et financiers, bien qu'il soit difficile de généraliser. Voir dans le paragraphe **limites et dérives du concept** les dangers de la soutenabilité faible. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Développement_durable

Selon Léo Dayan "Le concept de **durabilité** ouvre un nouveau champ d'étude : **le lien - le lié - le liant**. Il induit donc un nouvel objet de science et introduit l'idée de limites au développement (*sustainability* = **soutenabilité**), celles que le maintien du lien organise et requiert. Il invite à remettre en question les partages disciplinaires, l'idée dominante de la spécialisation du travail, les cloisonnements des savoirs et la prévalence des verticalités organisationnelles. Il commande de s'écarter de l'individualisme méthodologique, des insularismes économiques et des sommations disciplinaires pour reconstruire, dans le transdisciplinaire, le concept de développement et pouvoir relier l'éthique, le politique et la science". Source **APREIS** accessible par : www.apreis.org/docs_vf.html

Représentation schématique du Développement Durable, ou Soutenable, selon les auteurs :

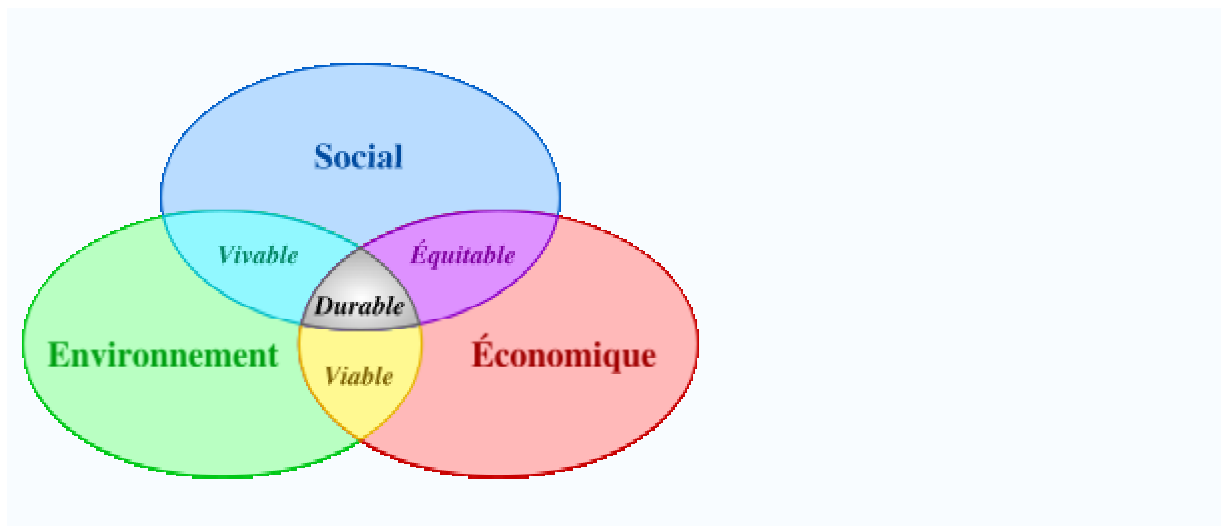


Schéma du développement durable :

- * à l'intersection de l'économie et de l'écologie se trouve le **viable**
- * à l'intersection de l'économie et du social se trouve l'**équitable**
- * à l'intersection de l'écologie et du social se trouve le **vivable**
- * enfin à l'intersection de l'équitable, du vivable et du viable, se trouve le développement **durable**

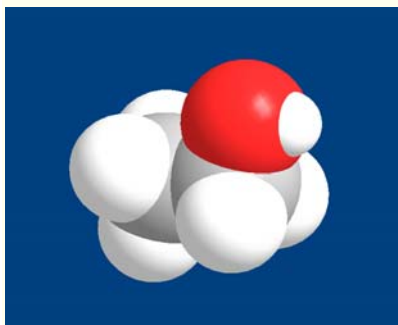
Efficacité énergétique : en **physique** et ingénierie **mécanique**, l'efficacité énergétique (ou rendement) est un nombre sans **dimension**, qui a une valeur comprise entre **0** et **1**, par extension entre 0 et 100%. L'augmentation de l'efficacité énergétique permet de réduire les consommations d'énergie, à service rendu égal, et cela entraîne la diminution des coûts écologiques, économiques et sociaux liés à la production et à la consommation d'énergie. Pour arriver à une **maîtrise de l'énergie**, un des principaux objectifs est l'amélioration de l'efficacité énergétique. L'efficacité énergétique pour un système est définie comme :

$$\text{Efficacité} = \frac{W}{\text{énergie}}$$

où W est la quantité utile de **travail** produite par le système (en **joules**), et l'énergie est la quantité d'**énergie** (aussi en joules) utilisée pour faire fonctionner le système. L'efficacité énergétique peut également se rapporter à l'utilisation des techniques ou des pratiques pour réduire l'utilisation d'**énergie**. Une efficacité de 1 (100%) est impossible - la **deuxième loi de la thermodynamique** l'interdit. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Efficacité_énergétique

ETBE (éthyl tertio butyl éther) ou éther butylique tertiaire méthylique : voir à **Biocarburants** ci-dessus.

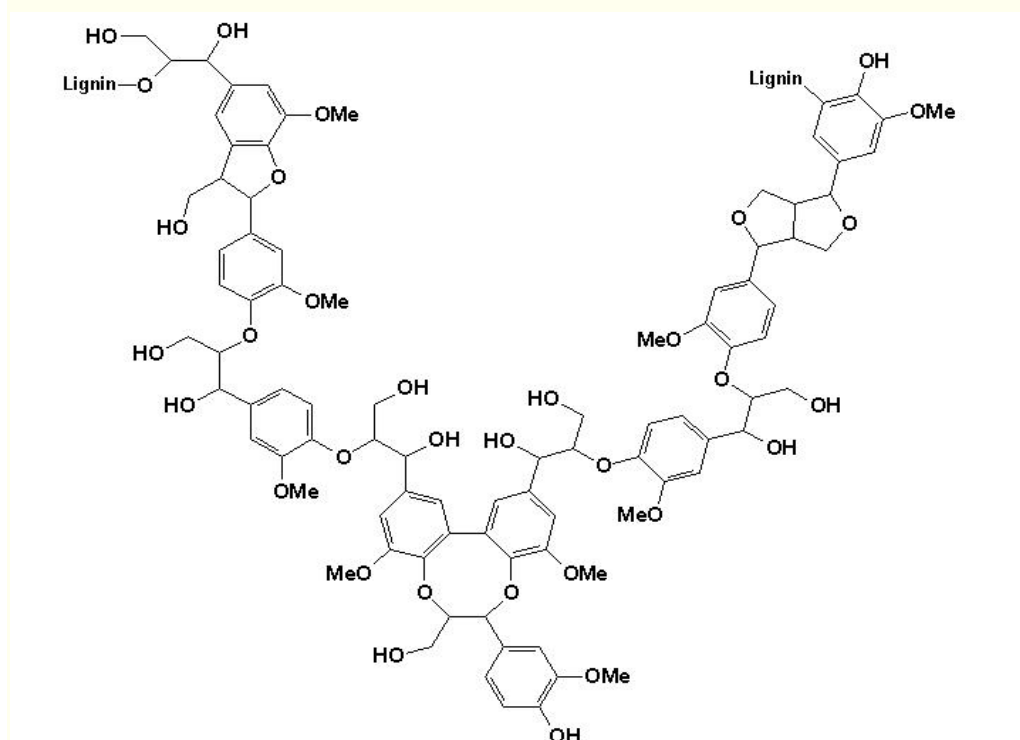
Ethanol ou **alcool éthylique** : c'est un **alcool**, possédant la structure semi-développée suivante : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$. Il est usuellement désigné par l'abréviation EtOH. C'est un liquide incolore, miscible à l'eau en toutes proportions. On l'appelle souvent simplement « alcool », car l'éthanol est l'alcool qui se retrouve dans toutes les **boissons alcoolisées**. Dans la **pharmacopée** européenne, éthanol désigne l'éthanol absolu, c'est à dire pur à 100 %, alors que alcool Ph. Eur. désigne l'éthanol contenant une certaine quantité d'eau. Ses synonymes sont esprit de vin, alcool de grain. L'**alcoolisme** est la consommation excessive de boissons contenant de l'éthanol et ses conséquences néfastes en font un fléau historique.



[Ethanol - Space_filling_model.png](#) (30 ko, type MIME : image/png)

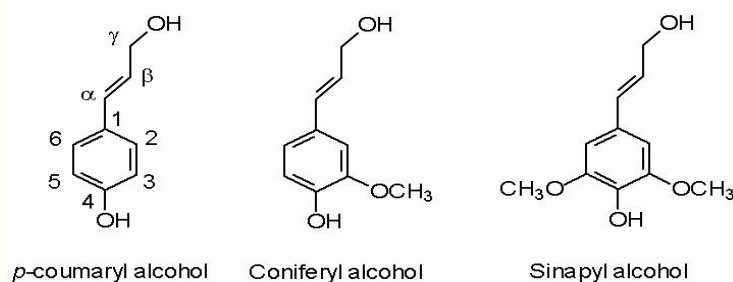
Historiquement l'éthanol a été produit par [fermentation](#) directe de [sucres](#) naturels : la production de [vin](#) ou de [bière](#) fermentée est attestée dans l'empire [babylonien](#) dès [3000 av. J.-C.](#) Les premières obtentions pures sont probablement dues aux [alchimistes perses](#) qui développèrent l'art de la [distillation](#) au [VIII^e](#) et [IX^e](#) siècle de l'ère chrétienne. On le fabrique aussi industriellement par hydratation de l'[éthylène](#). L'éthanol est utilisé comme intermédiaire de synthèse dans l'industrie chimique et comme solvant. C'est aussi un désinfectant. En Amérique du Nord et surtout au Brésil, certaines [essences](#) disponibles à la pompe peuvent comporter jusqu'à 20 % d'éthanol et portent le nom d'*ethanol blend*. En France, le gouvernement a lancé officiellement fin 2006 l'[E85](#), un mélange de 85 % d'éthanol et de 15 % d'[essence](#) comme [biocarburant](#). Il devrait être disponible dans plusieurs centaines de stations de service d'ici la fin de l'année 2007. Lorsque l'éthanol est produit à partir de la biomasse, on parle de [bioéthanol](#). La majorité du bioéthanol produit aujourd'hui provient du traitement des plantes sucrières ([betterave](#), [canne à sucre](#), ...) ou des céréales ([maïs](#), [blé](#), ...). D'autres filières existent cependant, notamment la production de bioéthanol (dit bioéthanol cellulosique) à partir de déchets végétaux (sciure de bois, paille de blé, ...). Le procédé le plus élaboré dans ce domaine est actuellement celui développé par l'entreprise canadienne [Iogen Corporation](#). Source : fr.wikipedia.org/wiki/Éthanol

Lignine : c'est un groupe de composés chimiques appartenant aux composés phénoliques. On la trouve principalement dans les parois pecto-cellulosiques de certaines cellules végétales. Les lignines sont le deuxième biopolymère après la cellulose synthétisé sur la Terre. La biomasse cumulée entre la cellulose et les lignines représentent environ 70% de la biomasse totale.



[Structure de la Lignine.jpg](#) (26 ko, type MIME : image/jpeg)

Les lignines sont des [polymères](#) constitués par trois types de [monomères](#) différents : le coniféryle, le p-coumaryle et les alcools sinapiques. La fraction de chaque [monomère](#) varie de façon importante en fonction de : la source végétale ([Angiosperme](#), [Gymnosperme](#), etc.), l'[espèce](#), l'[organe](#) et le [tissu](#).



[Structure de la monolignol.jpg](#)

La lignine se dépose dans la **paroi** secondaire de certaines **cellules** végétales. Elle leur confère la solidité, la lignine étant très résistante à la compression. La lignine possède aussi un pouvoir d'imperméabilisation des cellules, étant elle-même **hydrophobe**. On trouve ainsi des parois imprégnées de lignine (lignifiées) dans les cellules de tissus servant au soutien de la plante (**sclérenchyme**) ou au transport de l'eau et des sels minéraux (**xylème**). En règle générale, les cellules lignifiées étant devenues imperméables, ont perdu leur **cytoplasme** et n'acquièrent leur rôle dans le végétal qu'une fois mortes. La lignification est un processus fondamental de l'**évolution** des plantes terrestres. C'est elle qui, en effet, permet la croissance en hauteur des **végétaux ligneux**. Cette capacité a permis d'avoir un port dressé favorisant la réception de l'énergie lumineuse. L'ensemble de ces acquisitions étant un préalable à la *conquête du milieu terrestre*. La capacité de formation de lignine par les végétaux s'est mise en place au début du **paléozoïque** et caractérise les **trachéophytes**. (voir **Flore de Rhynie**). D'autre part la lignine, qui est donc caractéristique des plantes vasculaires terrestres, offre également une barrière de protection contre l'attaque microbienne du végétal. En effet, de part sa nature chimique la lignine est une entité extrêmement résistante à divers agents chimiques et à la dégradation biologique et est souvent responsable de la qualité médiocre des fourrages hautement lignifiés. Il est intéressant de noter que certains micro-organismes, en particulier les champignons dits de la pourriture blanche du bois, sont capables de digérer l'entière du complexe lignine - hémicellulose - cellulose et ainsi d'améliorer la valeur nutritive des matériaux lignocellulosiques.

Les lignines sont fortement recherchées dans les bois de chauffage, ayant un pouvoir calorifique important. Au contraire, elles sont gênantes pour la fabrication du **papier**, responsables de sa coloration jaunâtre après exposition au soleil. Ce sont les produits chlorés contenus dans les substances permettant l'extraction de la lignine (délignification) des pâtes à papier qui rend cette industrie polluante. Enfin, elles sont peu digestes et donc peu recherchées dans la culture de plantes fourragères. Pour les raisons évoquées ci-dessus, de nombreuses recherches sont en cours (essentiellement par **transformation génétique**), visant à produire des végétaux moins riches en lignine (fabrication du **papier**), ou au contraire, avec un taux de lignine plus important (bois de chauffage). Mais, vu l'importance de la production du complexe lignine - hémicellulose - cellulose sur la planète, il est intéressant de noter qu'environ 25% de cette ressource renouvelable serait accessible à des procédés de conversion biotechnologiques. Ainsi, actuellement les champignons de la pourriture blanche sont très étudiés en raison de plusieurs applications :

- * Mise en place de procédés propres et économiques dans l'industrie papetière;
- * Bioconversion et production de molécules à haute valeur ajoutée d'intérêts agro-alimentaire et pharmaceutique à partir de matériaux lignocellulosiques;
- * Biotraitement et valorisation des matériaux lignocellulosiques (notamment pour le bétail).

Source : fr.wikipedia.org/wiki/Lignine

Gypse : c'est un **minéral** composé de **sulfate** hydraté de **calcium** de **formule** $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ainsi qu'une **roche évaporitique**. Le nom vient du latin gypsum, emprunté au grec γύψος, *gyposos*, de même sens. Le gypse est un minéral très commun des séries sédimentaires et peut former des **roches mono minérales**. Le gypse peut

cristalliser sous des formes très diverses. Les formes les plus connues sont les cristaux en pied d'alouette, ou le gypse saccharoïde (à aspect de sucre).



Cristal de sélénite

L'**albâtre** est une variété de gypse massif à grains fins ; elle est translucide. Elle s'oppose à la **sélénite** (*pierre de lune*), appelée également « spath satiné », qui est une variété en filons à structure fibreuse. Les roses des sables sont des cristallisations lenticulaires de gypse dont la disposition rappelle les pétales de roses. Elles se forment par évaporation d'eau infiltrée. Ces cristallisations se rencontrent dans des terrains tendres (sable, argile), principalement dans les déserts. Le gypse, comme l'**anhydrite**, est utilisé pour la fabrication du **plâtre**. Par chauffage, on obtient un sulfate semihydraté qui après broyage et hydratation forme un liant. Les deux minéraux sont extraits à ciel ouvert ou en souterrain. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Gypse

Formaldéhyde ou **aldéhyde formique** ou **méthanal** : c'est un **composé organique** de la famille des **aldéhydes**. C'est d'ailleurs le plus simple des composés de cette famille. À température ambiante, c'est un gaz inflammable. Il fut synthétisé pour la première fois par le russe **Aleksandr Butlerov** en 1859 mais fut formellement identifié par **Hoffman** en 1867. On trouve du méthanal dans les produits d'une **combustion** incomplète de substances contenant du **carbone**. Il y en a dans la fumée des feux de forêt, dans les rejets des **automobiles**, et dans la fumée du **tabac**. Le méthanal est aussi produit dans l'atmosphère sous l'action des rayons solaires et du **dioxygène** sur le **méthane** atmosphérique ainsi que sur d'autres **hydrocarbures**. De petites quantités de méthanal sont produites par le **métabolisme** de la plupart des organismes, dont l'organisme **humain**. Bien que le méthanal soit un gaz à température ambiante, il est très soluble dans l'eau, dans laquelle il forme une solution de **formol**. Le méthanal **polymérise** dans l'eau, ce qui fait que le formol contient peu de méthanal sous forme de **monomères** de formule H_2CO . Généralement, le formol vendu dans le commerce contient aussi du **méthanol** pour limiter la polymérisation du méthanal. Le méthanal possède la plupart des propriétés chimiques des **aldéhydes**, mis à part le fait qu'il soit plus réactif.

Le méthanal tue la plupart des bactéries, c'est pourquoi on utilise le formol comme **désinfectant** ou pour conserver des cadavres d'animaux ou d'humains. Il est aussi utilisé comme **conservateur** dans les **vaccins**. En médecine, on l'emploie localement pour assécher la **peau**, comme dans le traitement des **verrues**. Les solutions de méthanal sont aussi employées pour **embaumer** les corps en attente d'un **enterrement**. En juin 2004, le formaldéhyde a été classé comme « **cancérigène certain** » par le **Centre international de recherche sur le cancer** (CIRC), qui dépend de l'**Organisation mondiale de la santé** (OMS). Jusqu'alors, il n'était considéré que comme « **cancérigène probable** ». Il est à l'origine de cancers de la cavité buccale, des fosses nasales, des **sinus**, et son implication dans les **leucémies** est jugée quasi certaine.

Le méthanal est employé dans nombre de matériaux synthétiques; or ceux-ci relâchent au cours du temps des quantités non négligeables de méthanal. C'est pourquoi le méthanal est l'un des **polluants** les plus répandus à l'intérieur des habitations. Au-dessus d'une concentration de 0,1 mg/kg dans l'air, il peut irriter les yeux et les muqueuses, causant des **conjonctivites**, des maux de tête et des difficultés à respirer accompagnées de douleurs dans la **gorge**. Des expositions importantes au méthanal, comme l'absorption de formol sont mortelles. Le méthanal se transforme en **acide formique** dans le corps, augmentant ainsi l'acidité **sanguine**, provoquant une **respiration** saccadée, de l'**hypothermie**, puis le **coma**, voire la **mort**. En cas d'ingestion de méthanal, il faut aller consulter aussitôt. Les animaux de laboratoire soumis à d'importantes doses de méthanal durant leur vie voient le risque de **cancer** du **nez** et de la **gorge** augmenter. Toutefois, certaines études suggèrent que les concentrations de méthanal dans les bâtiments n'ont pas d'effet **carcinogène**. Le méthanal est classifié comme **carcinogène certain**. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Formaldéhyde

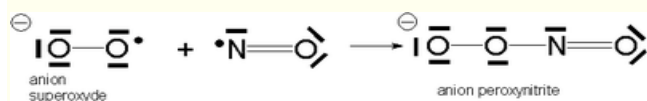
mpg ou "*miles per gallon*": c'est un sigle qui se rapporte à l'efficacité d'un carburant. En français, on l'exprime en "litres par 100 kilomètres" (l/100 km). Dans le domaine des transports, l'efficacité peut tenir compte du

nombre de passagers transportés par unité de longueur (km) ou bien encore de la masse transportée sur une certaine distance (tonnes par 100 km par exemple). Voir à **Efficacité énergétique** ci-dessus.

Oxydes d'azote, notés d'une façon générale par le sigle **NO_x**, regroupent : le [monoxyde d'azote](#) (NO) et le [dioxyde d'azote](#) (NO₂). Les NO_x sont essentiellement produits par l'Homme. Toutes les combustions à haute température et à haute pression : moteurs des automobiles, en particulier les moteurs diesel qui, du fait de leur fonctionnement à plus haute pression, émettent 2 à 3 fois plus de NO_x que les moteurs à essence. La pollution Nox des voitures est réglementée par [\[les normes européennes\]](#). Un avion qui décolle produit en moyenne 14k d'oxyde d'azote, l'équivalent de 2000 voitures diesel qui font 25 Km. (norme euro 2004). Effets sur la santé : lors de pics de pollution, les NO_x occasionnent des troubles respiratoires, inflammation et obstruction voies aériennes et augmentation sensibilité aux attaques microbiennes. Personnes à risque : fumeurs, patients atteints de troubles respiratoires (dont asthme, allergie), personnes fragiles, âgées et atteintes de problèmes cardiovasculaires notamment. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_l'air

1. **Monoxyde d'azote** ou **oxyde nitrique** ou **NO** est un [composé chimique](#) formé d'un [atome d'oxygène](#) et d'un atome d'[azote](#). C'est un [gaz](#) dans les [conditions normales de pression et de température](#). C'est un important [neurotransmetteur](#) chez les [mammifères](#) y compris chez les [hommes](#), un des rares [neurotransmetteurs gazeux](#) connu. A haute température, le diazote et le dioxygène réagissent pour donner le monoxyde d'azote, par exemple sous l'effet de la foudre. L'activité humaine a radicalement modifié la production de monoxyde d'azote, qui se forme dans les chambres de combustion des moteurs à explosion. Un des buts des pots d'échappement catalytiques est d'inverser cette réaction. Le monoxyde d'azote (NO), ne doit pas être confondu avec d'autres [oxydes d'azote](#), tel le monoxyde de diazote N₂O.

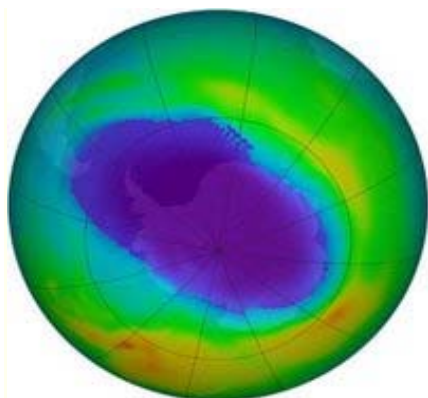
2. **Monoxyde de diazote** ou **N₂O**, que l'on appelle *gaz hilarant*, et qui est un [anesthésique](#) général, ou encore tel le [dioxyde d'azote](#) NO₂, gaz rouge-brun extrêmement irritant et nocif, qui se forme par [oxydation](#) rapide de NO par l'oxygène de l'air. Sa grande réactivité vis-à-vis des composés radicalaires comme l'oxygène moléculaire - qui est un biradical - ou l'anion superoxyde est due au fait qu'il est lui-même un composé radicalaire - son [spin](#) électronique total vaut 1/2. En milieu biologique, son temps de demi-vie est estimé entre 1 et 5 secondes, voire 30 secondes. Les [peroxynitrites](#) obtenus sont de puissants agents oxydants et nitrants.



Source : fr.wikipedia.org/wiki/Monoxyde_d'azote

Ozone : c'est un composé chimique comportant 3 atomes d'[oxygène](#) (**O₃**). Sa structure est une résonance entre trois états. [Métabstable](#) aux conditions ambiantes, l'ozone a tendance à se décomposer naturellement en [dioxygène](#). À température ambiante, c'est un gaz bleu pâle. Il se liquéfie à -111,9 °C sous forme d'un liquide bleu foncé particulièrement instable et se solidifie à -192,5 °C. On produit l'ozone par décharge électrique dans du dioxygène. L'ozone réagit avec les [métaux alcalins](#) et [métaux alcalino-terreux](#) pour former des [ozonides](#) ($M + \text{O}_3 \rightarrow \text{MO}_3$), instables et réagissant avec l'[eau](#) pour former du dioxygène. Cette succession de réactions chimiques explique pour la plus grande part le caractère de [polluant](#) qui est attribué à l'ozone quand il est présent dans l'[atmosphère](#) près du sol. Contrairement au dioxygène inodore, l'ozone est perçu par l'[odorat](#) humain ; son odeur est très caractéristique, légèrement piquante. Respiré en grande quantité, il est toxique. L'ozone a été découvert en mai 1840 par le suisse [Christian Schönbein](#). Il le dénomma ainsi en se référant à la racine grecque *Ozein* (exhaler une odeur, sentir). La relation entre l'ozone et les [oxydes d'azote](#) a été mise en évidence dans les années 1970 par [Paul Josef Crutzen](#), [prix Nobel de Chimie](#) 1995.

Dans la haute [atmosphère de la Terre](#), la [couche d'ozone](#) est une concentration d'ozone qui filtre une partie des [rayons ultraviolets](#) émis par le Soleil, ultraviolets notamment responsables de [cancers](#) de la [peau](#). Cette couche protectrice est menacée par la pollution, en particulier par les émissions de gaz CFC ([Chlorofluorocarbène](#)), qui montent dans la haute atmosphère et y catalysent la destruction de l'ozone, étant ainsi à l'origine du trou dans la couche d'ozone. Comme instrument de mesure, on peut noter l'instrument [GOMOS](#) du satellite ENVISAT. L'ozone est aussi très présent autour des grandes agglomérations qui en fournissent les précurseurs, notamment le [dioxyde d'azote](#) NO₂, par leur [pollution atmosphérique](#). Lors des [canicules](#), on trouve l'ozone en grande quantité dans les basses couches de l'atmosphère, surtout autour des centres urbains. Il y est principalement produit par la réaction des [hydrocarbures](#) imbrûlés et des [oxydes d'azote](#) des gaz d'échappement des véhicules avec l'[oxygène](#) de l'air sous l'influence de la lumière solaire. Lors de fortes températures, son évacuation vers les couches supérieures de l'atmosphère est freinée, ce qui peut entraîner des problèmes de santé chez les personnes fragiles.



Le trou dans la couche d'ozone le 22 septembre 2004. Source : fr.wikipedia.org/wiki/Ozone

Péroxyacétylnitrates, peroxy-acétyl-nitrates ou **PAN** : ce sont des polluants. Ces oxydants sont produits de manière photochimique dans les climats chauds et ensoleillés. Les PAN sont aussi présents à l'intérieur des bâtiments où ils sont transportés par les courants d'air. Ils se décomposent lorsqu'ils entrent en contact avec les substances alcalines. Ainsi, les PAN peuvent disparaître en présence des céramiques constitutives des bâtiments ou des biens culturels. Oxydants des systèmes biologiques, les PAN sont toxiques et irritants. Cependant, leurs réels effets sur les collections muséales restent à mesurer. Source : preservart.ccq.mcc.gouv.qc.ca/LexiqueFiche.aspx?ID=344

Soutenable : voir à **Développement durable** ci-dessus

Switchgrass, en latin *Panicum virgatum* L. ou **panic raide** ou **panic érigé** : c'est une grande graminée vivace de la famille des Poacées qui forme des touffes de tiges vert bleuté à pourpre, aux feuilles poisseuses vert vif. Les longs et raides panicules floraux s'épanouissent en fin d'été. En automne, les feuilles jaunissent et les épis rougissent ou bronzent. Sa culture est assez aisée. Source : portail-jardin.com/plantes/genre-Panicum.html

Switchgrass est une graminée constitutive de la prairie nord--américaine originelle, produisant une grande quantité de matière sèche pendant la saison chaude. Le chaume se dessèche à l'automne et la récolte peut s'effectuer. Traditionnellement utilisée comme fourrage et sa biomasse est en cours de développement aux Etats Unis et au Canada comme source de combustible, pour faire du bioéthanol en remplacement du pétrole et pour constituer des parois d'habitation très isolantes. Extraits du site en anglais suivant : <http://www.agecon.uga.edu/~caed/Pubs/switchgrass.html>



Source : fr.wikipedia.org/wiki/Panic

On dénombre plusieurs centaines d'espèces de *Panicum spp.* dont *P. turgidum* qui est commune au Sahara central et occidental, et caractéristique des paysages sahariens avec *Acacia sp.* Plante saharo-arabique et soudano-deccanienne qui peut atteindre un mètre et plus en conditions très arides.



Source :

www.sahara-nature.com/plantes.php?plante=panicum%20turgidum&aff=nom

Xylose : c'est un sucre à cinq atomes de carbone, que l'on trouve dans le bois et dans certaines matières végétales. Sucre aldéhydique (pentose) de formule $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_3\text{CHO}$, il est normalement absorbé au niveau du duodénum et du jéjunum. Lorsque l'absorption duodéno-jéjunale est normale, le xylose est retrouvé dans le sang (c'est la xylosémie) et dans les urines (c'est la xylosurie). En revanche, l'absence d'augmentation de la xylosémie et de la xylosurie après un apport important en D-Xylose, témoigne d'une malabsorption au niveau de l'intestin grêle proximal. Le D-Xylose est absorbé passivement au niveau intestinal à 70 % et ensuite il est diminué dans les urines sous forme inchangée. www.etudiantinfirmier.com/index_gastro.php?page=11

Traduction, définitions et compléments en français :

Jacques Hallard, Ing. CNAM, consultant indépendant.
Adresse : 19 Chemin du Malpas 13940 Mollégès France
Courriel : jacques.hallard921@orange.fr

Fichier : Energie Biocarburant Ethanol from Biomasse Not Sustainable nor Environmentally Benigm ISIS French.3