

Bio-carburants : quel avenir ?

Réchauffement climatique, Grenelle de l'environnement, Epuisement des réserves de pétrole, ... il n'est plus un jour sans qu'un thème majeur de l'environnement touchant l'avenir de notre planète ne soit abordé. Mais sur le plan industriel, où en est-on exactement ?

C'est ce que nous vous proposons de découvrir au fil de ce dossier très complet.

Bio-carburants : quel avenir? p.21

L'exemple du Brésil p.25

Où en sont les bio-carburants p.29

Louer écolo : est-ce possible? p.37

Attention à la panne de carburant! p.39

Pour BMW, c'est l'hydrogène p.43

D'abord, les chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont démontré aux pays occidentaux leur extrême dépendance en matière énergétique.

Ensuite, les calculs des géologues et des géophysiciens nous indiquent l'imminence du Pic de Hubbert (lire page 23) et ne nous laisse guère espérer plus de quarante années de réserve pétrolière.

Enfin, la lente –trop lente– prise de conscience de l'état désastreux où nous amenons notre environnement, notre air en particulier à force de rejet de CO² notamment (mais aussi d'oxyde d'azote, de dioxyde de soufre, ...). Il est donc grand temps pour la majorité des pays industrialisés de se tourner vers des systèmes d'exploitation plus propres et des énergies renouvelables.

En ce qui concerne l'automobile, nous assistons à l'émergence de projets aussi variés qu'étonnants. Les bureaux d'étude ne manquent pas de créativité. Mais ils se heurtent souvent à de cruelles réalités : le coût de la mise en œuvre des nouvelles techniques (pile à combustible par exemple), le poids du lobbying pétrolier, la mauvaise volonté

de certains constructeurs qui craignent de perdre une part de leurs profits, ainsi que l'immobilisme des instances politiques qui, bien qu'ayant ratifiées le protocole de Kyoto* «traînent des pieds» pour la mise en place de mesures cohérentes dans le sens d'un assainissement efficace.

Cependant, ici et là, les nouvelles technologies éclosent et les énergies de remplacement voient le jour.

Le GPL (gaz de pétrole liquéfié) est un des premiers carburant «propre» à avoir été proposé sur le marché, à peu près en même temps que l'abandon des essences contenant du plomb. Ces motorisations au gaz ont l'avantage d'être sans doute les plus propres du marché, elles ne rejettent ni CO² ni particules, et pratiquement tous les constructeurs propo-

sent à chaque niveau de leurs gammes des kits GPL. Pourtant, sans être véritablement un «flop», la technologie GPL ne s'est pas imposée comme on aurait pu s'y attendre : peut être par manque de points de distribution (12.000 stations sur l'Europe, 1850 en France), une station-service sur quatre au dire des utilisateurs et sans doute moins. Sans compter qu'il existe trois modèles de remplissage différents, donc un adaptateur est indispensable si vous voyagez en Europe. Autre détail, l'entretien de ces véhicules nécessite l'intervention d'experts dans les concessions et induisent des frais élevés de garage ! Les crédits d'impôts, réductions de la TIPP

(taxe des carburants), réductions de frais sur la carte grise et menus petits cadeaux fiscaux ont fait long feu : le GPL ne fait pas l'unanimité.

Vers de nouvelles technologies

«Le tout électrique» pourrait constituer une bonne alternative aux émissions de CO². Pour pouvoir faire face à un besoin plus grand, la difficulté réside en partie dans l'autonomie des batteries, en partie dans la production suffisante d'électricité sur le réseau public. Bien que le rechargement des batteries d'automobile ait lieu en principe la nuit, lorsque la demande en fourniture énergétique est la moins lourde et le prix plus léger. Pour le moment, seul l'américain Tesla Motors a réussi à concevoir, homologuer et commercialiser un véhicule sport de luxe, d'une autonomie de 400 km, capable de vitesses supérieures à 200km/h et cela grâce à un montage de batte-

ries lithium-ion très performant. Rechargeable en une nuit, la consommation de ce roadster revient à moins de un euro aux cent kilomètres. Deux bémols : la commercialisation n'est pas prévue en Europe (malgré le fait que l'assemblage se fasse dans les ateliers Lotus en Grande-Bretagne) et le prix du véhicule : 98.000 dollars!

Assez discret, le français Cléanova propose un véhicule électrique (ou hybride bio-éthanol) sur la base d'une Renault Kangoo. Cléanova est mis au point par SVE (Société de Vé-

Suite page 23

* Le protocole de Kyoto vise à réduire de 5,2 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2012.



Photo : Xenakis Avrahou

hicules électriques) qui est une filiale du groupe Dassault. L'auto dispose d'une autonomie d'environ 200 km, plus ou moins renforcée par la recharge de la batterie qui s'effectue à chaque décélération et à chaque freinage grâce à l'énergie cinétique*.

Un modèle est déjà à l'essai dans des entreprises publiques ou des collectivités : La Poste, EDF ou la ville de Saint-Etienne. On parle d'une mise sur le marché au grand public courant 2008.

Un autre modèle a été présenté, français lui aussi : la Blue car. Fruit de l'association du groupe Bolloré (par le biais du fabricant de batterie Batscap), d'EDF et conçue grâce à l'ingénierie Renault, ce véhicule a une autonomie de 200 à 250 km. Six exemplaires ont été homologués en avril 2007 pour rouler sur la voie publique, mais sa commercialisation n'est prévue que pour 2011 voir 2012.

Le tout électrique est donc une alternative essentiellement urbaine puisqu'il faut gérer des déplacements de moins de 250 km ou un très grand réseau de bornes électriques pour des recharges d'urgence. Reste la solution de l'hybride présenté par Cléanova (un moteur électrique + un moteur thermique au bio-éthanol) qui peut s'avérer être le meilleur calcul possible.

Sur le créneau de l'hybride, le Japonais Toyota a déjà quelques longueurs d'avance. Pionnier et leader du marché avec le modèle Prius, Toyota en est déjà à sa deuxième version. Le succès est incontesté (on parle d'un million d'exemplaires vendus dans le monde) et le modèle a raflé tous les prix et toute les distinctions à sa portée. La recette est simple : un moteur essence consommant moins de 5l/100 km, couplé avec un moteur électrique qui s'auto-recharge en permanence (lire ci-contre).

Honda propose dans sa gamme Civic un modèle hybride qui serait la seule concurrente sérieuse dans cette catégorie à la Prius. Mais les observateurs et la presse spécialisée continuent de donner la Prius comme favorite. Surtout que le dernier modèle dispose d'un gadget hallucinant, le système IPA : la voiture fait les créneaux toute seule*2.

Pour la conduite de ces véhicules, d'une façon générale rien de vraiment différent par rapport à une voiture classique équipée d'une boîte automatique. Ce qui dérouté un peu au début, c'est le silence lors d'un arrêt à un feu rouge qui peut laisser croire que la voiture a calé alors qu'effectivement le moteur essence s'est arrêté et que c'est le moteur électrique qui a pris le relais. Comme pour la promotion du GPL, les voitures hybrides bénéficient d'avantages fiscaux à peu près

* Schématiquement les roues se transforment en dynamo et rechargent les batteries, tout en économisant les plaquettes de freins.

*2 IPA pour Intelligent Park Assist. La Toyota Prius est la première voiture de série à intégrer le système d'aide au stationnement IPA. Lors d'un stationnement dans une zone exigüe, l'IPA affiche l'espace dans lequel vous souhaitez stationner via une caméra disposée à l'arrière. Programmez les détails et le véhicule manoeuvrera dans cet espace : il ne vous reste plus qu'à contrôler la pédale de frein.

Moteur hybride façon Toyota

Au démarrage et jusqu'à 30 km/h, c'est le moteur électrique qui fonctionne puis le moteur thermique prend le relais. En cas de très fortes accélérations, les deux moteurs entrent en synergie, ce qui permet un surcroît de puissance. Comme pour la voiture toute électrique, en phase de décélération et de freinage, l'énergie cinétique recharge les batteries tout en économisant les freins. Cette technologie a été portée sur la Lexus GS450 h, une puissante berline haut de gamme de Toyota et sur la Lexus RX 400 h un SUV qui fait de celui-ci le moins gourmand de sa catégorie.

L'E85 commence à apparaître sur nos routes. Mais avec à peine 100 pompes en France, on est loin des 1500 pompes installées en Suède.



Photo : Thierry Binet

La courbe de Hubbert

Marion King Hubbert (1903-1989) est le géophysicien américain qui a démontré que sur un graphique la production de matière première (pétrole, gaz, charbon etc.) décrivait une courbe en forme de cloche, dite courbe de Hubbert. Cette courbe, en atteignant son maximum, indique que la production va vers son déclin. L'extrapolation de la partie ascendante de la courbe doit permettre de réaliser le tracé complet et par intégration, d'en déduire la quantité de réserve d'une région pétrolière et même par extension d'évaluer les réserves mondiales.

En 1956, M.K. Hubbert présenta cette courbe, appliquée à la production des 48 états américains d'alors, et en conclut que le pic serait atteint en 1970. Ces affirmations ne reçurent pas le meilleurs des accueils de la part de l'American Petroleum Institute.

En 1971, lorsqu'on fit le constat que la production des gisements nord-américains s'amenuisait, on s'intéressa de nouveau aux travaux de Hubbert qui étaient tombés dans l'oubli et l'informatique aidant, une formule mathématique fut mise au point. Aujourd'hui, les scientifiques estiment que le pic de Hubbert pourrait être atteint entre 2010 et 2020.

dans toute l'Europe (crédit d'impôts, prime de destruction des véhicules mis en service avant 1997, réduction des frais de carte grise, etc.)

Un moteur qui «dort» au feu rouge

En ce qui concerne les moteurs qui se coupent à l'arrêt, Citroën a introduit le système Stop&Start. Le principe, issu du système hybride, tend à faire diminuer la consommation de carburant et l'émission de CO² d'environ dix pour cent dans l'environnement urbain.

Quelle est l'astuce ? Elle consiste en un alternateur réversible et un calculateur spécifique alimenté par une puissante batterie. Dans une voiture ordinaire, un alternateur ordinaire est une sorte de dynamo entraînée par le moteur pour fournir le véhicule en électricité et recharger la batterie. Dans la technique du Stop&Start, l'alternateur, en plus d'être un alternateur, est aussi un démarreur. C'est le calculateur qui fait le relais entre les diverses fonctions du système électronique, notamment la reprise de l'injection ou le redémarrage lorsqu'on relâche le frein. Donc, concrètement, le système Stop&Start entre en activité à partir de 10 km/h, puis il gère la mise en veille du moteur en dessous de 6 km/h ; le moteur «dort» tant que le pédale du frein est enfoncée, même juste un peu, et dès qu'on lâche le frein, le moteur se relance automatiquement. La réussite est d'avoir obtenu une belle fluidité entre temps de pose et redémarrage. Autre détail ingénieux, le système se désactive lors des manœuvres de stationnement afin d'éviter les arrêts de moteurs inopportuns. Cette merveille de technologie se retrouve sur les Citroën C2 et C3. Le constructeur allemand BMW a aussi annoncé son intention de suivre sur cette voie.

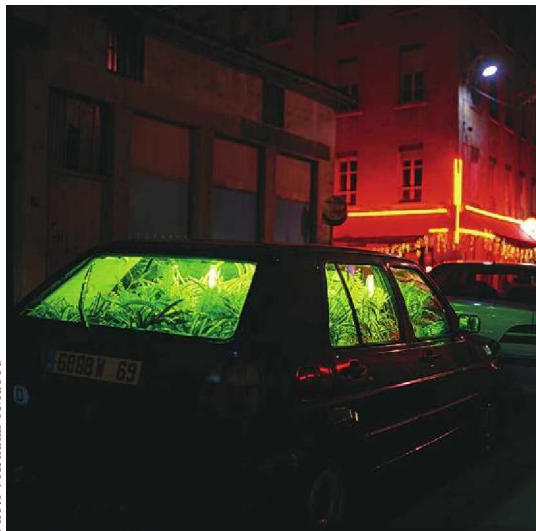


Photo : Xenakis Avrabou

L'éthanol : aussi vieux que le moteur !

Toujours dans l'esprit de diminuer l'utilisation des carburants fossiles et de prendre soin de notre environnement, les bureaux d'études planchent sur des énergies renouvelables, issues de l'agriculture. L'éthanol est un carburant que l'on peut produire à partir de céréales, de canne à sucre, de pommes de terre, de betteraves, etc. Ce type de carburant peut s'apparenter à l'essence et se mélanger à elle. D'ailleurs à l'origine, quand le moteur à explosion a été inventé, il était supposé fonctionner à l'éthanol. Ce n'est que bien plus tard qu'on a utilisé de l'essence issue du pétrole, car à l'époque elle était meilleure marché et que les réserves semblaient inépuisables ... On peut également fabriquer des carburants à partir de plantes oléagineuses telles que le colza, le tournesol ou le maïs pour alimenter des moteurs diesel. Du

reste, Rudolf Diesel, l'inventeur du moteur à combustion qui porte son nom, a montré et suggéré dès 1912 l'utilisation des huiles végétales comme carburant en lieu et place des dérivés pétroliers.

Il existe aujourd'hui plusieurs possibilités d'utiliser les biocarburants : le VCM et le moteur Elsbett.

Le VCM, pour Véhicule à Carburant Modulable, est le nom français officiel pour désigner le procédé mieux connu sous

Suite page 27

L'exemple du Brésil.

L'histoire du biocarburant au Brésil, ça n'est pas d'hier, c'est le moins que l'on puisse dire. L'origine remonte au choc pétrolier de 1975. Le Brésil est dirigée par une junte militaire. Cette dictature décide de passer brutalement au biocarburant afin de ne pas dépendre des cours mondiaux du pétrole. Le pays produit alors intensivement de la canne à sucre : la matière première y est en masse et les productions produites sont brutalement décuplées. A tel point que trente ans plus tard, ce sont 380 millions de tonnes de canne à sucre qui sont produites chaque année. Et qu'en 2010, le gouvernement brésilien table sur une production de 700 millions de tonnes. Avec une telle production, le biocarburant brésilien est devenu compétitif dès le début des années 80 et ce malgré un modèle économique en faillite, victime de la crise de la dette. Tout a été fait en sorte que cela réussisse : les constructeurs implantés sur place devant produire des voiture "flex" pour flexibles, c'est-à-dire fonctionnant aussi bien à l'alcool qu'à

l'essence. Le régime s'est démocratisé en 1984, mais l'élan impulsé en 1975 n'a jamais cessé. On trouve même aujourd'hui des petits avions qui fonctionnent uniquement à l'alcool. Un litre de biocarburant produit au Brésil coûte en production trois fois moins cher que les prix constatés ailleurs dans le monde (0,17euro/l pour 0,4 à 0,6euro/l en Europe). Au Brésil aujourd'hui, on n'a plus besoin de pétrole (le pays produit à lui seul 52% de la production mondiale de biocarburant) et les voitures n'ont plus besoin d'essence puisqu'elles fonctionnent indifféremment à l'essence ou à l'alcool, en fait à l'alcool qui coûte moins cher que l'essence. Par contre, l'Europe ne peut copier le Brésil : toutes nos surfaces agricoles étant dédiées à l'agriculture "classique", aucun pays européen et en premier lieu la Belgique, l'Espagne, la France ou l'Italie, ne peut espérer viser une indépendance énergétique basée sur les biocarburants. Nous ne disposons de toutes façons pas des surfaces agricoles nécessaires à une production de masse couvrant nos besoins.

Th. Birrer

le terme flexfuel. L'intérêt d'une telle motorisation est qu'elle est en mesure d'utiliser un, deux, voire trois combustibles différents selon que l'on utilise le mode essence/alcool (SP95 +E85) ou selon que l'on utilise le mode diesel (gasoil/huiles végétales).

Le moteur Elsbett, moteur dérivé du diesel et à injection directe, qui accepte aussi bien de l'huile végétale pure – sans avoir à lui faire subir de transformations –, de l'huile de vidange, de l'huile de friture, du gasoil, et aussi à l'occasion de l'essence ou de l'éthanol. Des essais ont été tentés en Allemagne, le procédé est au point mais comme le moteur n'a pu être fabriqué qu'en petite quantité (par manque d'implication des pouvoirs publics), le prix de revient est beaucoup trop élevé. Par ailleurs, les mêmes pouvoirs publics, à l'échelon européen, ne se sont toujours pas mis d'accord sur une taxation des huiles végétales à usage de carburant, ni sur leur mode de distribution.

A propos de l'éthanol, le processus est un peu plus avancé, le Brésil (lire page 25) et la Suède nous ont indiqué la voie, les États-Unis suivent de près. Les constructeurs Volvo, Saab et Ford sont très impliqués dans les systèmes flexfuel. Leurs homologues allemands, français et italiens travaillent sur des projets qui seront présentés entre 2008 et 2010.

Mais au fait, comment ça marche ? A la base, un moteur thermique du type essence est équipé d'un dispositif d'injection et de capteurs électroniques capables d'évaluer la valeur du mélange essence/éthanol (jusqu'à 85% d'éthanol). Par contre l'éthanol est un carburant très corrosif et nécessite des matériaux plus résistants pour certaines pièces du moteur, le réservoir ou les durites par exemple. Autre inconvénient, l'éthanol n'ayant pas le même rendement énergétique, la consommation est supérieure d'environ 25%.

Enfin, il existe des véhicules qui fonctionnent à l'hydrogène. Encore au stade de prototype, ils constituent un espoir de voitures très propres. Le problème de l'hydrogène est sa production et son stockage (lire p.43). Que ce soit à l'état gazeux ou à l'état liquide, les contraintes sont très lourdes. Cependant, si celles-ci sont résolues un jour, nous disposerons alors d'une matière première inépuisable à notre échelle.

Pile à combustible : Honda précurseur

On parle aussi beaucoup des voitures à pile à combustible (PAC) : une voiture électrique propulsée par une PAC utilisant soit de l'hydrogène, soit du méthanol réformé. Le Japonais Honda est précurseur en cette matière. Un véhicule de série est déjà homologué au Japon et aux USA, la Honda FCX. Sont annoncés une vitesse de pointe de 150 km/h, un

réservoir d'hydrogène de 156 litres à une pression de 350 bars, et une autonomie de 355km. General Motors propose un hybride très sophistiqué, acceptant quatre carburants (essence, E85, électrique et hydrogène), la Chevrolet Volt qui en est déjà à sa deuxième génération. D'autres constructeurs encore se préparent à lancer des modèles d'ici 2010 : Peugeot 207 Epure, Ford Airstream, Ford Edge HY séries, Ford Explorer, Mercedes F Cell (dont six modèles roulent à Berlin au stade expérimental).

Mais la pile à combustible reste une technologie encore très onéreuse. En effet, les matériaux utilisés ne sont pas bon marché (membrane polymère et catalyseurs en platine) et rendent les voitures très chères même si certains pays encouragent fiscalement leur acquisition.

Les instances européennes commencent à se mobiliser

La Commission Européenne aussi semble vouloir accélérer et développer le processus de mise sur le marché bien que le prix de ces nouveautés ne soit pas encore communiqué. Pour ce qui est des versions hybrides ou des flexfuel, la fourchette oscille entre 18.000 et 49.000 € avec une moyenne de 25.000 euros. Rouler propre n'est quand même pas pour tous les budgets !

Les ingénieurs et les constructeurs bouillonnent d'idées. La question est de savoir si l'automobiliste lambda est réellement prêt à changer ses habitudes. Vu le succès croissant des lourds et puissants SUV et autres 4X4 très polluants, on en doute ...

Les instances européennes se mobilisent. C'est tant mieux. Car jusqu'à présent, les distributeurs de carburants sont frileux à s'engager sur le marché de l'hydrogène, tout comme beaucoup le sont encore avec le GPL et le E85. Ils observent donc sagement l'impact des prototypes que proposent les constructeurs. Les constructeurs, quant à eux, ne sont pas pressés de sortir des modèles de série tant que les usagers ne pourront pas s'approvisionner en nouveaux carburants. Autant dire que l'on joue à « Courre après moi que je t'attrape ! » Il serait temps que les décideurs politiques viennent arbitrer la partie et que l'on joue la carte des « voitures vraiment vertes » : il y a moins de cent stations à hydrogène dans le monde.

Th. Billaud



Photo : Xenakis Avrabou

Où en sont les bio-carburants ?

La crainte de manquer de matière première fossile, la nécessité de contrôler la pollution et le besoin d'autonomie énergétique ont conduit chercheurs et pouvoirs publics à se pencher sur les énergies de substitutions pour l'ensemble des véhicules. Les bio-carburants sont le résultat de ces recherches et un début d'alternative au «tout pétrole»

La crainte de manquer de matière première fossile, la nécessité de contrôler la pollution et le besoin d'autonomie énergétique ont conduit chercheurs et pouvoirs publics à se pencher sur les énergies de substitutions pour l'ensemble des véhicules. Les bio-carburants sont le résultat de ces recherches et un début d'alternative au «tout pétrole»

Ce sont des carburants produits à partir de végétaux, dont on tire soit des alcools ou des esters, soit des huiles. Deux grandes filières se détachent donc : la filière des alcools et la filière des huiles végétales.

• La filière des alcools utilisés en direct ou après transformation :

- L'ETBE (Ethyl-tertio-butyl-éther), qui est un dérivé de l'éthanol, entre à 15% dans l'essence comme additif en remplacement du plomb.

- Le Bio-éthanol (E 85) composé de 15% d'essence et de 85% d'éthanol alimente les véhicules flexfuel. Le Brésil est le pays de référence en matière de développement des procédés flexfuel et éthanol (lire page 25).



Photo : Xenakis Avrabou

• La filière des huiles végétales :

Ces huiles sont utilisées pures dans certains moteurs diesels adaptés (type moteur Elsbett) ou transformées (l'EMVH, Esters méthyliques d'huile végétale ou diester). L'EMVH peut être mélangé au gasoil à hauteur de 5% à 10% sans transformation particulière des véhicules et jusqu'à 30% dans d'autres cas (flotte «captive» de véhicules et engins industriels : chariots-élévateurs, transpalettes, ...). Ce genre de bio-diesel qui ne contient que peu de soufre est moins toxique et plus biodégradable. Utilisé avec des véhicules diesels common rail, Hdi, équipé d'un filtre à particules, voilà un diesel économique et écologique qui pourrait bien voir son image réhabilitée.

L'avantage, parmi d'autres, des carburants issus de la biomasse, est qu'ils participent au cycle naturel du carbone. En effet, la quantité de CO² rejetée dans l'atmosphère lors de la combustion est à peu près équivalente à celle absorbée lors de la photosynthèse par les végétaux mis en œuvre. De ce point de vue, le bilan serait plutôt intéressant. Malheureusement des effets pervers se profilent en ce qui concerne la culture des céréales réservées à usage de carburant. Elle fait s'envoler le cours de leurs prix dans un monde où plus d'un milliard d'humains ne mangent pas à leur faim (lire p.35).

Ne nous y trompons pas : ces bio-carburants de première génération ne peuvent être que des solutions provisoires qui impliquent à moyen terme autant de désagréments que d'avantages : mise en compétition avec l'agriculture à vocation alimentaire, effondrement d'écosystèmes et de biodiversités, ou encouragement implicite à la déforestation massive*.

Si nous voulions réellement remplacer complètement le pétrole par des bio-énergies, il faudrait cultiver plusieurs fois la surface totale de la Terre. C'est absurde. Les bio-carburants de ce type participent certainement à une intéressante politique agricole mais seront tout à fait insuffisants en valeur énergétique.

Des végétaux susceptibles de devenir du carburant sans entrer en concurrence avec l'agroalimentaire destiné aux humains et au bétail, non seulement il en existe, mais en plus ils auraient

probablement de meilleurs rendements. Ce sont ce que l'on pourrait appeler les filières de deuxième génération, qui n'auraient un but que purement énergétique et qui seraient très intéressantes d'un point de vue environnemental. Les techniques utilisées sont variées : procédé Fischer-Tropsch, pyrolyse, utilisation des micro-algues, hydrogène, craquage de l'eau, ...

Déjà en 1925, du carburant issu du charbon

Le procédé Fischer-Tropsch consiste à obtenir un hydrocarbure par une réaction chimique : la catalyse du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. L'avantage du procédé est que l'on peut fabriquer un carburant liquide, le syncrude, à partir de gaz ou de charbon. Le procédé a été amélioré depuis peu, et on sait produire du syncrude à partir de n'importe quelle bio-masse. L'invention initiale n'est pas nouvelle, elle remonte même à 1925 et a largement fait ses preuves pendant la seconde guerre mondiale, offrant à l'Allemagne et au

Suite page 31

* notamment de la forêt tropicale, pour des cultures intensives qui ne font qu'appauvrir les sols, d'où la nécessité de doubler d'engrais chimiques, sans oublier les pesticides.

Japon une très grande autonomie énergétique. Dans les années 50, l'Afrique du Sud s'y intéressa : gros producteur de charbon, elle y trouvait et y trouve toujours son compte. Deux synthèses furent mises au point : l'une pour obtenir du gasoil, l'autre pour obtenir de l'essence de l'acétone ou de l'alcool. La méthode a cependant deux inconvénients :
 - le premier, c'est que bien que le rendement à terme soit très performant, elle demande de très lourds investissements. D'une façon générale, tant que le pétrole circule «à bas prix» un tel investissement n'est pas toujours pertinent, mais les temps changent...
 - le deuxième, c'est la très fâcheuse production de CO². Le problème du pétrole est résolu mais pas celui des gaz à effet de serre ...

Filière cellulosique : un potentiel inouï

La pyrolyse est le procédé de carbonation qui produit notamment le charbon de bois (pyrolyse longue – plusieurs jours – à basse température, 400°C). Une pyrolyse plus rapide (quelques minutes, voire quelques secondes) à des températures plus hautes (de 500 à 800°C) permet une faible production de charbon mais par contre une grande quantité de vapeurs. Ces vapeurs condensées fournissent une huile pyrolytique qui peut servir de carburant. Les vapeurs contiennent d'autres nombreux gaz (CO, CO², H², CH₄) qui eux aussi peuvent servir de carburant. La pyrolyse s'effectue généralement à l'air sec, mais il existe une variante qui se pratique à l'eau : la dépolymérisation thermique. Elle peut transformer n'importe quel bio-déchets (paille, bagasse de la canne à sucre, feuilles, écorces et déchets du bois) en carbone solide, en gaz, en eau mais aussi en hydrocarbure produisant une sorte de syncrude de bonne qualité. D'une façon générale, la transformation de la lignite du bois et de la cellulose (bois, paille, feuilles) en alcool ou en gaz, fait l'objet de recherches intensives à travers le monde, car la cellulose est la macromolécule la plus connue et la plus répandue sur la Terre. Des entreprises canadiennes et américaines, ainsi que deux universités suédoises, tentent une phase de production industrielle d'éthanol à base de cellulose. On a même découvert que l'on peut fabriquer de l'éthanol avec l'aide des ... termites. En effet ces petites bestioles sont capables (grâce à une enzyme produite par une bactérie qui leur est spécifique) de transformer du bois en sucre et cela en 24 heures seulement. Le potentiel de la filière cel-

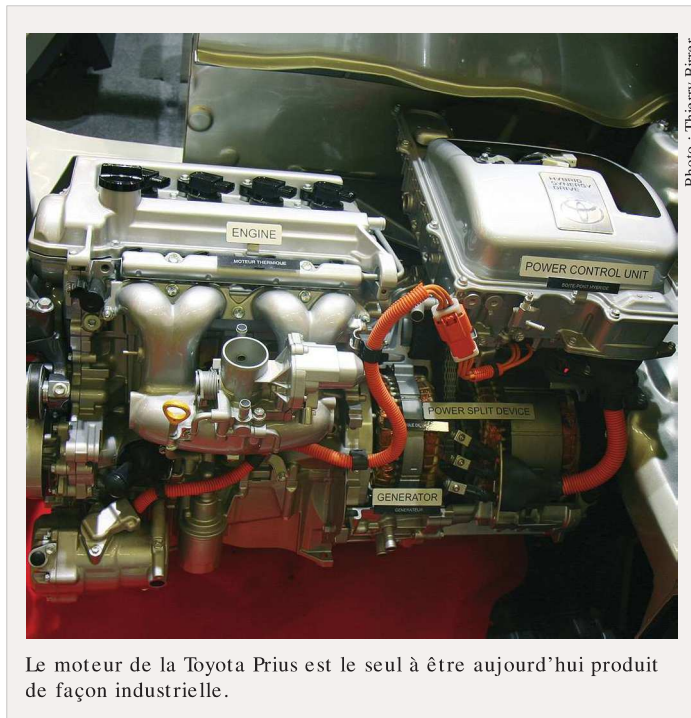


Photo : Thierry Birrer

Le moteur de la Toyota Prius est le seul à être aujourd'hui produit de façon industrielle.

lulosique est inouï et les technologies progressent de manière prodigieuse.

Un très grand espoir : les micro-algues

Un autre très grand espoir de matière première, ce sont les micro-algues. Elles peuvent s'avérer de 30 à 100 fois plus efficaces que des oléagineux de type tournesol ou colza. On peut pratiquer des cultures intensives sans terre, juste avec un peu d'eau, sans déforestation, ni appauvrissement des sols, sans pesticides et en plus sans concurrence avec l'agriculture à visée alimentaire. La cerise sur le gâteau, c'est que pour obtenir les plus hauts rendements en huile, la croissance des micro-algues demande une concentration de CO² de l'ordre de 13%. Tous les couplages sont possibles : par exemple une unité de production d'éthanol par fermentation alcoolique (qui, pour

Suite page 33



Photos : Thierry Birrer

Sur le plan technique, si Toyota a une récolte d'avance, Citroën est le constructeur français le plus avancé sur le sujet avec des véhicules commercialisés depuis début octobre 2007 : il décline déjà une gamme aux techniques variées (GNV sur la C3 ou BioFlex sur la C4). Chez Renault, le logo sur la dernière génération de Laguna est plus gros mais la commercialisation commence à peine.

générer 50 litres d'éthanol, produit également 15 litres de CO²) avec une unité de culture de micro-algues, précisément friandes de CO². Idem avec l'hydrolyse, la pyrolyse, les procédés Fischer-Tropsch qui justement produisent trop de CO².

On peut très bien imaginer de la culture de micro-algues à très grande échelle, conférant à chaque nation une autonomie énergétique tout en favorisant des créations d'emploi, voire énormément d'emploi.

Le petit lait, source d'éthanol

D'autres filières de matières premières commencent à faire parler d'elles. Par exemple l'ulve ou laitue de mer. C'est une algue qui laisse présager de bonnes perspectives, à l'essai au Danemark riche en littoraux.

Le lactosérum (petit lait) pourrait être une source d'éthanol. C'est en tout cas ce qu'annonce le groupe laitier allemand Müllermilch, qui compte en lancer la production, valorisant ainsi un sous-produit rarement utilisé.

Autre sujet d'intérêt, un arbuste nommé jatropha-curcas dont le fruit est oléagineux. On peut en extraire jusqu'à 1900 litres huile par hectare et par an. Et ce n'est pas sa seule vertu, c'est une plante qui peut pousser sur des sols arides, très exposés au soleil. Cet arbuste pourrait, d'une part, aider à lutter contre la désertification dans des régions réputées difficiles aux cultures, et d'autre part, ce fruit n'étant pas comestible, il n'entre pas en concurrence avec les productions agroalimentaires.

Exotiques caranj, mahua, saijan et cléome

Autre plante prometteuse : le caranj ou pongamia pinnata. Même goût pour les sols arides – voire salés –, cet arbre à croissance rapide est fixateur d'azote. On peut planter 200 arbres par hectare et récolter dès la deuxième année. La dixième année, on peut envisager une production de 5 tonnes par hectare et par an, tout en sauvant des régions de type Sahel de l'avancée du désert. Des programmes de plantation ont été mis en œuvre en Ouganda, au Cameroun et en Inde où on encourage aussi la culture de Jatropha-curcas. Il existe encore d'autres arbres oléifères offrant de très intéressante prospective : madhuca longifolia (mahua) et moringa oleifera (saijan), quoique ce dernier offre d'autres applications (alimentaires notamment).

Le cléome viscosa est une herbe qui elle aussi pousse en région désertique et dont la teneur en huile est de 26%. Mêlées entre elles, toutes ces espèces seraient l'idéal d'un point de vue environnemental, sauvant ainsi des régions difficiles et créant un cercle vertueux contre la désertification, tout en relançant l'économie de ces pays très pauvres.



Photo : Xenakis Avrabou

L'hydrogène est propre
... mais difficile à produire

L'hydrogène n'est pas à proprement parler un carburant «bio». Il n'en est pas moins un espoir de vecteur énergétique non négligeable puisque son efficacité est déjà démontrée et qu'il entre dans la catégorie des carburants propres puisque le seul résidu issu de sa combustion est de l'eau. Le problème c'est la fabrication, le transport, le stockage et la distribution. Problème de fabrication ? Oui car si l'hydrogène est probablement la molécule la plus répandue dans l'univers, on ne la trouve pas à l'état naturel sur notre planète. Bien qu'elle soit partout (eau, sucres, protéines, hydrocarbure), il faut l'extraire de ces éléments. Si la combustion de l'hydrogène est propre, c'est dans sa production que résident les problèmes de pollution. Par exemple le vaporeformage produit de l'hydrogène à partir de combustible fossile, mais ce faisant, il produit aussi du CO² ; le bilan écologique n'est pas satisfaisant.

L'électrolyse de l'eau est également un procédé d'extraction d'hydrogène mais la grande quantité d'énergie électrique nécessaire présente un rendement globalement médiocre.

La solution en projet, qui ne rejette pas de CO² et qui ne demande pas d'énergies extérieures, c'est encore une micro algue. Selon Jack Legrand, chercheur au CNRS de Nantes, certaines micro-algues vertes unicellulaires (ou cyanobactéries) peuvent fabriquer de l'hydrogène par photosynthèse. Avec de l'énergie solaire et de l'eau, on obtient de l'hydrogène et de l'oxygène. Reste que le fait que l'enzyme de la micro-algue (hydrogénase) est trop sensible à l'oxygène. On

projette des modifications métaboliques pour que l'algue ne produise plus d'oxygène. Les modifications sont à l'étude.

Le craquage de l'eau grâce au soleil
... dans 50 ans

À l'étude également, la possibilité de craquage de l'eau grâce à un concentrateur solaire. L'idée c'est de décomposer de l'eau en hydrogène et oxygène, sous l'effet de la chaleur, selon des cycles thermo-chimiques. Sur le papier, ça marche, mais il faudra peut être 50 ans pour résoudre les phases de tout les cycles. En attendant, on pourrait craquer du méthane. Ce gaz produirait de l'hydrogène bien sûr mais aussi du carbone et ce dernier pourrait avoir des applications industrielles (pneus, polymères conducteurs, piles, etc.). Cra-

Suite page 35

quer du méthane semble plus accessible que craquer de l'eau et cela sous l'action d'un four solaire, celui d'Odeillo dans les Pyrénées orientales françaises. Le CNRS travaille sur les deux projets.

Un réacteur à base de bactéries

Le laboratoire américain Energy's Brookhaven National Laboratory, basé dans l'état de New-York (lire en bas de page), a construit le premier réacteur d'essai dans lequel des bactéries produisent de l'hydrogène gazeux en présence d'oxygène. Jusqu'à présent, la production d'hydrogène par des bactéries anaérobie était impossible car elles meurent en présence d'oxygène (c'est d'ailleurs le problème de l'équipe de Jack Legrand à Nantes). Or, l'équipe du chercheur Niels van der Lelie a depuis peu démontrée qu'une bactérie (thermotoga néapolitana) associée à des composants biochimiques réussit à résister à l'oxygène qui lui est toxique et produit de l'hydrogène à partir de sucres.

Ces bactéries (thermotoga) ne vivent en général que dans des conditions extrêmes. Celles-ci vivent dans des sources thermales. Elles savent décomposer les hydrates de carbone

(sucres), donc sans utiliser d'oxygène, et produisent de grandes quantités d'hydrogène à partir de déchets agricoles à une température de 167°C, sous pression atmosphérique, avec quand même un faible taux d'oxygène qui ne les tue pas. Cette découverte est très importante vis à vis du marché de l'hydrogène, car on peut envisager la construction de bio-réacteurs, capable de produire cet hydrogène à des coûts très compétitifs à partir de la biomasse.

Comme on peut le voir, les alternatives au pétrole sont finalement assez nombreuses. Certaines sont transitoires, d'autres demandent encore beaucoup d'efforts et de volontés et les recherches peuvent être longues et fastidieuses, mais notre industrielle nature humaine a toujours su trouvé une solution d'adaptation.

Bien entendu, les lobbies pétroliers n'ont aucun intérêt à ce que ces solutions voient le jour trop vite. Les enjeux financiers

sont quasiment inimaginables concernant les spéculations qui ne manqueront pas d'avoir lieu lors de la pénurie des produits pétroliers. Heureusement, la conscience écologique qui commence à s'enraciner peut aider à trouver la voie du bon sens : faire du profit à tout prix sur le pétrole polluant ou conserver une planète vivable pour nos générations futures.

Il y a très certainement du profit à réaliser avec des énergies plus propres, ce n'est pas du tout incompatible. En tout cas, tel est l'enjeu des recherches et les seules questions valables qui devraient préoccuper, industriels et politiques.

Th. Billaud



Photo : Thierry Birrer

Avec la C4, Citroën est enfin sorti du champ de l'expérimentation pour proposer des modèles grand-public. Il était temps car Toyota aurait déjà écoulé plus d'un million de son modèle hybride Prius.

LeBrookhaven National Laboratory.

Né en 1947, le Brookhaven National Laboratory est un institut de recherche multi-disciplinaire sous la tutelle du Département américain à l'énergie (DOE). Six de ses chercheurs ont déjà obtenu un prix Nobel. Il compte 2600 employés, dont plus de 2300 chercheurs, techniciens et ingénieurs. Chaque année, 5000 scientifiques venus du monde entier le visitent. Le laboratoire supporte les missions stratégiques du DOE, tant en recherche fondamentale qu'appliquée. Il intervient dans

des domaines touchant parfois aux limites de la science. Il développe des technologies avancées tant pour un besoin gouvernemental que pour le secteur commercial. Ses découvertes les plus significatives concernent le traitement de la maladie de Parkinson, la synthèse de l'insuline humaine (première mondiale), le train à sustentation magnétique, la supraconductivité, les revêtements anti-corrosion, l'étude des maladies mentales, la découverte de bactéries "tueuses de pollution" et les énergies de substitution.

Thierry Birrer