

d'hydrogène), par une méthode qui fut inventée en 1923 par Franz Fischer et Hans Tropsch (ces deux chimistes voulaient donner une autonomie énergétique à l'Allemagne, lors de la Seconde Guerre mondiale : ils partaient également d'un gaz de synthèse, mais celui-ci était obtenu à partir de charbon et d'oxygène atmosphérique).

En Afrique du Sud, pendant plusieurs décennies, la Société *Sasol* a utilisé la méthode de Fischer-Tropsch pour fabriquer des carburants liquides en utilisant du gaz de synthèse dérivé du charbon. Aujourd'hui encore, cette société emploie la même technique : le gaz de synthèse est transformé en hydrocarbures liquides par un catalyseur composé de cobalt ou de fer. La réaction de Fischer-Tropsch libère de la chaleur, qui actionne les compresseurs d'oxygène nécessaires à l'obtention du gaz de synthèse. Les hydrocarbures formés dépendent de la température de réaction. Entre 330 et 350 °C, par exemple, on obtient principalement de l'essence et des oléfines (des hydrocarbures insaturés, souvent utilisés pour la synthèse des plastiques). À des températures inférieures (de 180 à 250 °C), on récupère surtout du gazole et des cires. Dans tous les cas, ces produits sont des mélanges qu'on doit raffiner pour obtenir des carburants utilisables. Toutefois, le raffinage est plus facile que celui du pétrole brut naturel : les mélanges contiennent très peu de soufre et beaucoup moins de composés cancérigènes que

le pétrole. Les produits finis sont des carburants de qualité, dont la combustion pollue moins que le gazole ou l'essence issus du pétrole.

Une solution partielle

Malgré sa fiabilité, la méthode précédente consomme beaucoup d'énergie. Le reformage à la vapeur classique s'effectue à une pression environ 30 fois supérieure à la pression atmosphérique et à des températures d'environ 900 °C. De surcroît, la réaction consomme de l'énergie, que l'on produit en injectant dans le mélange une petite quantité d'oxygène, qui brûle une partie du méthane (et, avantage supplémentaire, produit davantage de gaz de synthèse) : on effectue ainsi ce que l'on nomme une «oxydation partielle».

La composition exacte du gaz de synthèse fabriqué dépend de la part de reformage à la vapeur et de la part de l'oxydation partielle. Dans la plupart des cas, la fabrication consomme de grandes quantités d'oxygène, lequel coûte cher. Aujourd'hui, on sépare l'oxygène de l'air en le liquéfiant, par des cycles de compression et de détente : c'est un procédé coûteux. Pour obtenir du gaz de synthèse meilleur marché, on doit chercher des moyens moins coûteux de produire l'oxygène.

Malgré cette difficulté, la technique d'oxydation partielle est promise à un bel avenir. Des chimistes de la Société *Syntroleum* ont récemment pro-

posé un procédé de production du gaz de synthèse où l'air est la source d'oxygène : on effectue le reformage à la vapeur à partir d'un mélange d'air et de méthane, puis on effectue une réaction de Fischer-Tropsch avec les produits formés. Sur les sites où le gaz naturel est suffisamment bon marché (par exemple, sur les sites où il est aujourd'hui brûlé), le procédé pourrait devenir rentable. Les Sociétés *Texaco*, *Brown & Root* et *Syntroleum* projettent de construire, d'ici à deux ans, une unité qui utilisera cette technique.

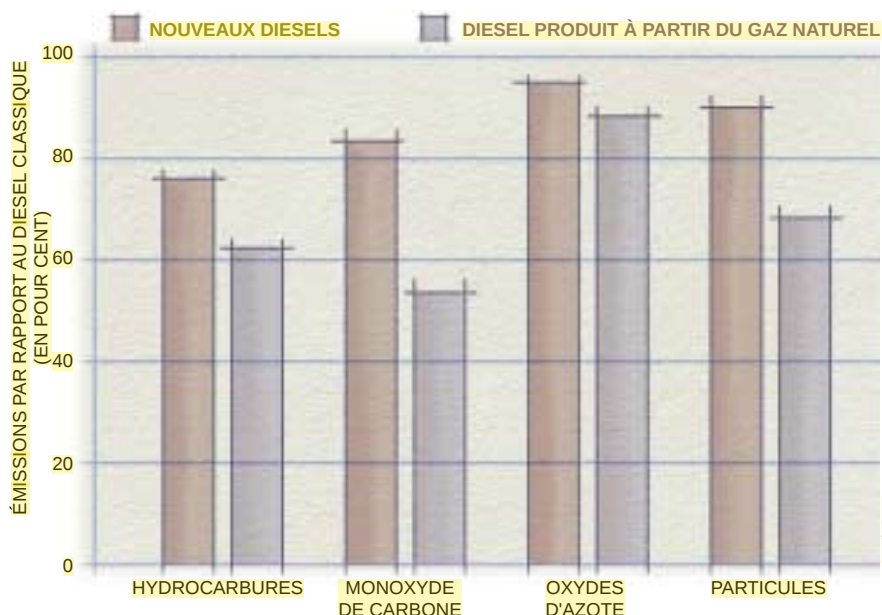
Plusieurs autres sociétés, ainsi que des laboratoires publics de recherche, testent aujourd'hui une approche radicalement différente, en utilisant des membranes céramiques spécifiquement perméables à l'oxygène : ces membranes se comportent comme des filtres, qui purifient l'air de son oxygène. Bien que d'une construction encore délicate et coûteuse, les prototypes fonctionnent parfaitement. Des unités à membrane devraient être opérationnelles dans une dizaine d'années.

Grâce à ces progrès, le coût de fabrication du gaz de synthèse pourrait être réduit de 25 pour cent environ ; le coût de production des hydrocarbures liquides formés à partir du gaz naturel serait alors réduit de 15 pour cent. D'autres économies sont possibles si l'on parvient à fabriquer le gaz de synthèse à des températures d'environ 200 °C seulement. Mieux encore, si l'on disposait d'oxygène abondant et bon marché, l'oxydation partielle permettrait d'obtenir du gaz de synthèse sans reformage à la vapeur ; la réaction dégagerait de l'énergie au lieu d'en consommer.

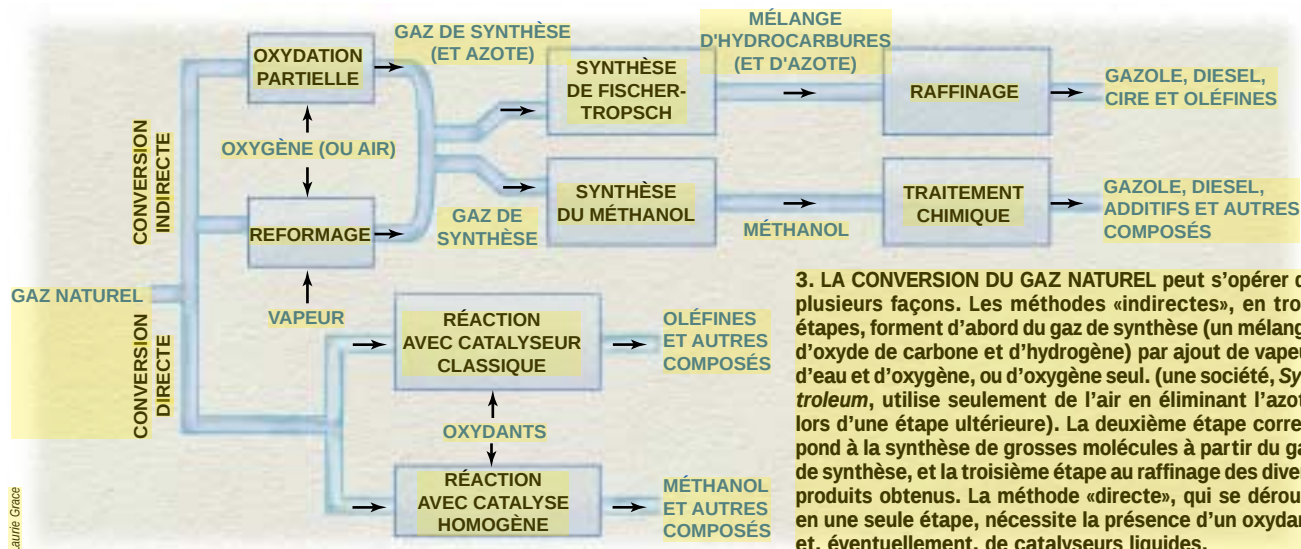
Moins cher que le pétrole?

Avec mes collègues et des physico-chimistes de l'Université de Floride, nous tentons de mettre au point une membrane céramique qui éliminerait l'hydrogène du mélange gazeux tout en activant l'oxydation partielle du méthane. L'hydrogène éliminé servirait soit à raffiner les produits finis, soit comme source d'énergie.

De nouveaux catalyseurs devraient encore augmenter la rentabilité de la transformation du gaz naturel en hydrocarbures liquides. Notamment, des chercheurs de l'Université d'Oxford étudient des carbures métalliques, tandis que nous nous intéressons aux zéolites, des silicates à gros pores. Ces deux matériaux devraient réduire



2. LES ÉMISSIONS DE POLLUANTS par les véhicules à moteur ont été réduites lorsque les législateurs ont imposé une reformulation du gazole. Le carburant de synthèse dérivé du gaz naturel par la méthode de Fischer et Tropsch est encore moins polluant que les nouveaux gazoles.



la quantité de suie produite lors du reformage à la vapeur : on évitera l'encrassement des réacteurs, ainsi que la contamination des catalyseurs.

Malgré les progrès réguliers de ces méthodes, des techniques plus ingénieuses devraient bientôt former des hydrocarbures liquides en une seule étape. Par ces techniques, le coût de la conversion serait divisé par deux, rendant les carburants liquides dérivés du gaz naturel moins chers que les produits similaires obtenus par raffinage du pétrole classique.

Les chimistes avaient été déçus par les premiers essais de conversion «directe», par l'emploi de catalyseurs et de grandes quantités d'oxygène : les hydrocarbures formés, plus réactifs que le méthane fourni, se consumaient plus vite qu'ils ne se créaient. À moins d'une extraction immédiate des hydrocarbures, les rendements étaient trop faibles pour que ce procédé soit appliqué industriellement.

Les chimistes ont contourné ce problème en effectuant la réaction à des températures relativement faibles, à l'aide de catalyseurs nouveaux, ou en stabilisant chimiquement les produits de réaction. À l'Université d'État de Pennsylvanie, par exemple, une équipe a directement transformé du méthane en méthanol, à l'aide d'un catalyseur «homogène», un fluide qui, aux températures inférieures à 100 °C, se mélange intimement aux réactifs. La Société *Catalytica* a obtenu des rendements de 70 pour cent par un procédé similaire ; son catalyseur liquide forme un intermédiaire stable, un ester de méthyle qui ne s'oxyde pas. Le produit final, un dérivé du méthanol, s'obtient

facilement lors d'une étape ultérieure. Le méthanol est intéressant, car c'est une molécule qui stocke efficacement l'énergie : il peut être consommé dans un moteur ou être ajouté à un carburant pour augmenter son indice d'octane (on évite que le moteur «cogne»). Si des difficultés techniques gênaient son utilisation en consommation directe, on pourrait le transformer en hydrogène gazeux, afin de l'utiliser dans des piles à combustible.

En outre, les réactions qui conduisent à la synthèse du méthanol peuvent être facilement adaptées à la production de nombreuses autres molécules énergétiques qui, tel le diméthyléther, polluent nettement moins que l'essence, lors de leur combustion. Jusqu'ici, le diméthyléther a été peu utilisé comme carburant automobile : aux températures et aux pressions ordinaires, il se présente à l'état gazeux. En revanche, ces derniers temps, les Sociétés *Air Products*, *Haldor Topsoe* et *Amoco* ont annoncé la synthèse d'un dérivé du diméthyléther qui reste liquide aux températures et aux pressions ordinaires ; ce substitut du gazole classique réduirait les émissions de polluants si l'on ajoutait aux moteurs classiques un système d'injection spécifique.

Roulerons-nous bientôt au gaz?

Scientifiques et ingénieurs étudient aujourd'hui de nombreux autres moyens d'améliorer le procédé de conversion du gaz naturel. Par exemple, des Sociétés telles que *Exxon*, *Sasol*, ou l'Institut français du pétrole (IFP) perfectionnent les enceintes où s'opère la réaction de

Fischer-Tropsch afin de mieux contrôler la température et le mélange.

Une approche plus ambitieuse consiste à remplacer les catalyseurs par des bactéries qui transforment le méthane en méthanol, en présence d'oxygène. Ces fermentations, qui s'effectuent à basse température, sont prometteuses, parce qu'elles consomment peu d'énergie.

À ce jour, le gaz naturel transformé en carburant liquide coûte encore plus cher que le pétrole brut, mais les perfectionnements techniques modestes qui seront mis en œuvre dans les prochaines années pourront en faire des carburants remarquablement propres et qui, en se mélangeant facilement aux produits plus polluants dérivés des pétroles bruts plus lourds, se conformeront à une législation écologique de plus en plus stricte.

Safaa FOUADA est directeur de recherche au Centre de technologie énergétique de l'Ontario.

Methane Conversion by Oxidative Processes : Fundamental and Engineering Aspects, sous la direction de E.E. Wolf, Van Nostrand Reinhold, 1992.

J.M. FOX III, *The Different Catalytic Routes for Methane Valorization : An Assessment of Processes for Liquid Fuels*, in *Catalysis Reviews : Science and Engineering*, vol. 35, n° 2, pp. 169-212, août 1993.

Patrick CHAUMETTE, *Conversion chimique du gaz naturel*, in *Revue de l'Institut français du pétrole*, n° 51, pp. 711 et suivantes, septembre-octobre 1996.

Remote Gaz Strategies. Site Internet de la Société Zeus Development Corporation à l'adresse : <http://www.remotegasstrategies.com/>