



Je travaille à la direction des études économiques à l'IFP. Je vais parler des carburants alternatifs ou des évolutions couples groupes moto propulseurs carburants via des études type "puits à la roue" dont les résultats sont plus ou moins répandus, mais qui prennent une importance croissante dans les critères de décision sur tel ou tel avenir possible de l'automobile. Je vais revenir assez rapidement sur le contexte et je rejoins en grande partie ce qui a déjà été dit par M. BADIN.

Pour le couple moteur-carburant de demain, il faut continuer à réduire les émissions de polluants locaux. Ca a déjà été fait il y a quelques années et il faut continuer à réduire de plus en plus ces émissions. Il faut aussi, et ça c'est une nouvelle pression qui est arrivée après les années 90, réduire la pollution globale, donc le fameux effet de serre. Et enfin, il faut arriver à garantir un l'approvisionnement des filières énergétiques pour le transport à moyen et long terme, ce qui n'est pas un petit challenge, évidemment tout cela dans des conditions économiques acceptables.

Pour arriver à faire cela, il y a évidemment beaucoup de possibilités.

- ✓ D'abord, il y a les moteurs conventionnels allumage commandé essence ou diesel qui fonctionnent avec des carburants conventionnels issus du pétrole dans lesquels on peut avoir un certain nombre de composés oxygénés. Il faut quand même avoir en tête que ces carburants pétroliers ont des normes qui se renforcent et qui évoluent. Les dernières en date sont l'élimination du soufre en 2 étapes : 2005, on va passer à 50 ppm de soufre et 2009, on va passer à 10 ppm de soufre; c'est-à-dire qu'on n'aura quasiment plus de soufre dans les carburants qui seront distribués aux pompes.
- ✓ On a ensuite des moteurs alternatifs, ce sont les moteurs dédiés GNV, donc fonctionnant au gaz naturel, GTL pour "gas to liquid" ce sont des diesels de synthèse fabriqués à partir de gaz naturel ; DME pour "dimethylether", c'est une sorte de GPL pour voiture diesel.
- ✓ Il y a toutes sortes de carburants d'origines autre que conventionnelles, mais qui fonctionnent tous avec des moteurs thermiques. Il y a des nouveaux procédés de combustion. Actuellement, on a quand même beaucoup d'activité autour de ces nouveaux procédés de combustion. Alors on les appelle HCCI



- CAI. HCCI, ce sont les nouveaux modes de combustion pour les moteurs diesel, CAI pour les moteurs essence. En fait tout se passe comme si en gros, la combustion diesel et la combustion essence commençaient un peu à fusionner. CAI, si on fait en quelque sorte fonctionner un moteur essence en mode diesel par moments, et vice versa pour le moteur diesel. Enfin, il y a la motorisation électrique que vous connaissez très bien, puis motorisation hybride, thermique, électrique.
- ✓ Alors au niveau des carburants alternatifs, il y a les carburants re-formulés qui utilisent des moteurs conventionnels, des nouveaux procédés de combustion et les reformeurs : les carburants gazeux GPL, GNV, DME, hydrogène aussi, et puis les bio-carburants dont on parle beaucoup ces derniers temps.

Alors simplement je rappelle quelques éléments sur les aspects "effet de serre" et "consommation d'énergie". On a quand même eu une réduction très importante des émissions de polluants à la sortie des tuyaux d'échappements des véhicules. En gros, en une trentaine d'années, on a eu une division par 100 des rejets de polluants, et c'est un processus qui est continu, c'est-à-dire qu'en gros, tous les 4 ans, on divise par 2 le niveau autorisé de rejets pour les véhicules. Il faut quand même garder en tête que même si on a l'impression que les choses n'évoluent pas, ou trop lentement, au niveau des voitures neuves, on a quand même des rejets qui sont toujours plus faibles. Les conséquences, c'est qu'en fait, même si les résultats datent un petit peu (programmes Européen des années 2000), avec la dynamique de renouvellement du parc, on va avoir des diminutions importantes des émissions de polluants au niveau des véhicules. Il reste, comme on le voit tout en haut, les émissions de Co2 qui restent très difficiles à maîtriser, comme l'a souligné M.BADIN, et donc qui posent problème. C'est à cela qu'il faut s'attaquer, tout évidemment en maintenant la pression sur la réduction des polluants locaux.

Comme on se concentre en fait sur cette problématique Co2 ou consommation d'énergie, il est important, comme la pollution est globale, de ne pas simplement regarder les performances en terme de rejet de gaz à effet de serre au niveau du véhicule, mais regarder aussi ce qui se passe en amont, comment est produit le carburant. En fait, on parle dans ces démarches soit d'analyse de cycle de vie, soit d'analyse du puits à la roue.



Je vais m'intéresser à ce qui est surligné en rouge, c'est à dire des bilans de l'extraction des matières premières jusqu'à l'utilisation dans les véhicules, des bilans Co2 et consommation d'énergie. Certaines des études prennent également en compte la production, le recyclage du véhicule, mais ce n'est pas ce à quoi je vais m'intéresser et je vais donc concentrer mon discours simplement sur les aspects production du carburant et utilisation du véhicule.

Un petit détour simplement sur les aspects méthodologies : c'est une approche systémique qui a été lancée dans le début des années 70. Elle a beaucoup été utilisée dans les emballages pour essayer de comparer l'intérêt d'un point de vue environnemental de solutions emballages : est-ce que c'est mieux de faire boîte acier, aluminium, plastique contre papier etc... ? Aujourd'hui, elle est encadrée par une norme qui doit dater de 96 ou 97, qui garantit à priori l'objectivité d'exécution d'exercice. Comme bien souvent, ces arguments environnements sont utilisés à des fins commerciales, ou en tout cas peuvent l'être, la norme, en fait vraiment, cherche à moraliser la pratique et à faire que l'exercice soit aussi transparent que possible.

Donc 4 objectifs... simplement. Je veux revenir sur un point qui est important, c'est l'aspect méthodologie et que faire en cas de co-production ? C'est un point qui n'est pas négligeable, notamment par exemple quand on traite les bio-carburants, quand on sait que dans les bio-carburants, il y a plus de 70% de co-produit par rapport à 40% des bio-carburants qu'on produit. Suivant que l'on va attribuer l'impact au co-produit, ou au bio-carburant, on va avoir évidemment un bénéfice qui va être pas forcément le même. Donc typiquement, si on produit par exemple de l'éthanol à partir de blé, on va avoir en co-produit, des drèches qui vont partir à l'alimentation animale dans un bilan massif de l'ordre de 60 % et 40% d'éthanol. Si on prend par exemple les émissions de Co2 au niveau de l'unité d'éthanol et qu'on attribue au prorata massique ou suivant d'autres solutions, on comprend bien que on peut avoir soit un gain ou qu'on peut aller dans le sens inverse. Une des solutions est d'élargir les frontières du système. 2<sup>ème</sup> solution, c'est de faire du prorata massique où on aussi d'autres clés de répartition. Et puis enfin, 3<sup>ème</sup> possibilité, c'est d'attribuer tout l'impact à un seul produit, ce qui évidemment peut être subjectif. En tout cas, la norme ne préconise rien de spécial à ce niveau là, et donc c'est à chaque étude de se faire une idée sur ce point.



Au niveau des calculs, en général, on fait une première étape ou on évalue du puits au réservoir les mégajoules de carburant consommé et les émissions de gaz à effets de serre par gramme de carburant. On évalue ensuite les mégajoules de carburant consommé et les grammes de gaz à effets de serre émises au niveau du véhicule. On fait ensuite un bilan, en espérant de ne pas se tromper dans les calculs. On essaye donc d'être les plus objectifs possible. La consommation des véhicules est en général simulée sur des cycles de consommation dont a déjà parlé M.BADIN tout à l'heure. L'idée, c'est qu'en plus du cycle pour essayer de comparer les mêmes boîtes entre les différentes options technologiques qu'on compare, on va aussi introduire des critères de performances, c'est-à-dire essayer de s'assurer qu'au minimum, les véhicules remplissent les mêmes critères d'accélération, d'agrément de conduite en quelque sorte, pour qu'on ne compare pas un véhicule qui soit tout mou, avec un véhicule qui soit finalement assez agréable à conduire et qui ait de la reprise. Il y a un certain nombre d'études au niveau international qui ont été réalisées aux USA, en Europe.

Donc la première grande étude internationale a été faite par GENERAL MOTORS et un certain nombre de grandes majors pétrolières aux USA. Cette étude a été transposée toujours par GENERAL MOTORS en Europe. Enfin, il y a aussi une étude qui a été réalisée par le MIT selon le même principe. Et dernièrement, une étude a été réalisée par le JRC, le CONCAWE et EUCAR dont le but était de donner un renouveau par rapport aux précédentes études qui avaient été faites, notamment les études commandées par GENERAL MOTORS où, à l'époque, il y avait des pétroliers face à un seul constructeur, ce seul constructeur était le seul à donner son point de vue. EUCAR, qui est le bras R&D de l'Association Européenne des constructeurs automobiles, voulait avoir un avis un peu plus concerté sur les options qui avaient été choisies sur les véhicules. Donc, ce sont les résultats de cette dernière étude à laquelle a participé l'IFP, que je vais vous donner.

Il y a eu beaucoup de résultats dans cette étude, plus de 70 combinaisons couple motopropulseur carburant. J'en ai extrait un certain nombre qui m'ont semblé les plus pertinents. J'ai présenté en bas les litres équivalent essence. Ne vous trompez pas, ce sont bien des litres équivalents essence du puits à la roue, et donc pas simplement la consommation du véhicule, puis les émissions de gaz à effet de serre en fonction de la consommation d'énergie. Donc d'abord, j'ai mis MCI pour moteur à combustion interne. On voit d'abord un gain qui est loin d'être négligeable par l'hybridation, et on voit aussi qu'en fait ce que prévoient les constructeurs d'automobiles, c'est que l'essence rattrape les



performances du gazole d'ici quelques années. Ensuite, on a les carburants alternatifs que je pourrai qualifier d'aujourd'hui dont le GNV et les bio-carburants. On voit qu'en terme de consommation d'énergie et en termes d'émission de gaz à effet de serre, le gaz naturel peut apporter surtout en terme de gaz à effet de serre, et ça c'est lié notamment à un rapport C sur H qui est favorable.

Encore une fois, ces solutions, en plus du gain naturel qu'ils peuvent avoir, du aux qualités intrinsèques de ces carburants via l'hybridation peuvent avoir encore un gain supplémentaire.

Les bio-carburants qui d'un point de vue effet de serre ont un avantage ou un vrai gain. Par contre, en terme de consommation d'énergie, on voit en tout cas dans l'étude que ce n'est pas évident et donc le seul avantage est un avantage effet de serre. Il faut quand même rappeler que les performances qui sont annoncées là, sont des performances où le bio-carburant est utilisé pur, alors que dans la réalité, ce ne sont que 4 à 5% qui sont employés, en tout cas utilisés aujourd'hui, et quelques % dans la réalité.

Ensuite, il y a ce que l'on appelle les carburants de synthèse, qui pourraient être les futurs carburants de demain : le GTL et les DME. On voit que d'un point de vue effet de serre, énergie, n'apportent pas de réel gain. Cela est lié aux procédés qui sont utilisés pour la transformation du gaz naturel en ces carburants de synthèse. Le seul qui s'en sort finalement, c'est ce que l'on appelle le BTL, qui est un carburant de synthèse produit à partir de la biomasse. Il apporte surtout un gain sur les aspects effet de serre, pas tellement sur l'aspect consommation d'énergie, et ça encore une fois, c'est lié au procédé de transformation de la biomasse.

Enfin, la pile à combustible : on voit que les résultats sont complètement éclatés. Donc, tout va dépendre de l'origine de l'hydrogène. Les plus mauvais résultats sont obtenus si jamais vous faites de l'hydrogène par électrolyse, en utilisant de l'électricité sur le réseau Européen. Le réseau Européen utilise encore beaucoup de charbon, donc si vous utilisez cette électricité, vous allez produire en quelque sorte de l'hydrogène à partir de charbon et vous n'avez pas de gain, voire vous détériorez la situation par rapport aux solutions technologiques d'aujourd'hui. J'ai reporté aussi la haut, 2 solutions pile à combustible.

- ✓ Une utilisant l'hydrogène comprimé,
- ✓ l'autre utilisant l'hydrogène liquéfié,



ceci pour que l'on voit bien l'impact du conditionnement de l'hydrogène, suivant qu'on l'utilise sous forme liquéfiée, ou sous forme comprimée. En fait, la logique voudrait plutôt qu'on aille vers le liquéfié puisque c'est le conditionnement qui permet d'avoir la plus grande autonomie. Le problème est qu'on le paye assez cher, et donc l'ensemble des constructeurs aujourd'hui va plutôt vers la solution hydrogène comprimé, mais les autonomies du véhicule sont relativement faibles quand on regarde les prototypes. Ils annoncent entre 200 et 300 Km, ce qui est finalement assez proche des véhicules électriques. Ensuite, ce qui détériore encore une fois la situation, c'est quand on utilise le charbon. L'hydrogène ex-nucléaire lui permet un gain en effet de serre sans aucun doute mais une consommation d'énergie importante, et ça, c'est lié à l'électrolyse.

Enfin, une solution on va dire qui apporte un bon compromis, c'est tout ce qui est à base de gaz naturel, puisque l'on a des gains en terme d'effet de serre et en terme de consommation d'énergie.

Et enfin, les meilleurs résultats sont obtenus pour l'éolien et ex-bois, c'est à dire pour l'hydrogène ex-renouvelable avec des consommations d'énergie assez faibles et des émissions de gaz à effet de serre très faibles.

Je vais essayer de conclure assez rapidement. Les solutions moteurs à combustion interne carburant pétrolier vont continuer à améliorer les bilans et les consommations d'énergie; mais cet effort sera-t-il suffisant ? A priori, je ne pense pas vu l'évolution de la demande des transports. Les solutions carburants alternatifs d'aujourd'hui, c'est à dire le gaz naturel, GPL et bio-carburants, peuvent apporter des gains sur le gaz à effet de serre. Mais le problème est de dire combien de bio-carburants pourra-t-on produire ? Quelle est la masse de véhicules gaz naturel qui pourra être mise sur le marché ? Cela reste une interrogation.

Les solutions carburant alternatif de demain ne présentent pas nécessairement de bons bilans, à part ceux issus de la biomasse. Il y a encore beaucoup de points d'interrogation sur la réalité de ces futurs carburants. Sur la filière pile à combustible, on a encore plus de questions qui se posent, surtout ce qui est issu du renouvelable. Il y a quand même un gros point d'interrogation sur le potentiel de production issu de renouvelable : à quel terme et surtout à quel coût. La filière gaz naturel, c'est vrai, présente pour l'instant un bon compromis, mais il y a clairement un problème de réserves sur le long terme. Faudra-t-il mettre en marche des solutions de type capture et stockage du Co<sub>2</sub>, et puis avec



l'épuisement des réserves, il y aura un problème sur l'évolution du coût du gaz naturel à terme. Les autres filières ex-fossiles présentent en général des mauvais bilans, et avec quelque part, les mêmes questions que sur la filière gaz naturel : réserve à long terme, capture et stockage du Co2 et coût. Enfin, la filière nucléaire, qui elle aussi présente un bon bilan gaz à effet de serre.

Avec les technologies du nucléaire actuel, il y a des problèmes sur les réserves d'uranium à long terme et encore une fois le coût, puisque l'hydrogène ex-électrolytique est certainement le plus cher.

Je pense qu'il y aura probablement un certain nombre de questions que nous développerons plus tard.