

Je vais vous parler de systèmes de transports qui roulent, puisque c'est ce sur quoi nous travaillons à l'INRETS. Je suis responsable des travaux qui se mènent sur les véhicules hybrides à l'INRETS pour tout ce qui est pneumatique. Donc, on démarre sur l'automobile, on travaille sur les autobus et on travaille jusqu'au système intermédiaire, et éventuellement jusque sur le fer dans quelques projets. Je voudrais tout d'abord remercier Alain JULLIEN pour nous avoir offert l'opportunité de vous présenter un petit peu ce panorama ce matin, je veux parler des véhicules légers et jusqu'aux autobus.

La première chose si l'on veut un petit peu planter le décor de nos activités : nous travaillons sur des solutions qui permettent de réduire la pollution.

- ✓ Soit la pollution locale, celle que l'on peut respirer dans les centres villes,
- ✓ Soit la pollution globale qui est due aux émissions de gaz à effets de serre.

Si l'on regarde un peu la responsabilité des transports dans ces émissions, on constate qu'elle n'est pas du tout négligeable puisque l'on est entre 25 et 30% des émissions de Co₂ ou de la totalité des émissions de gaz à effets de serre. Pour ce qui concerne les transports routiers sur lesquels on intervient à l'INRETS, vous voyez que c'est la quasi-totalité des émissions et la répartition est environ 40-60 entre les véhicule particuliers et les véhicules utilitaires, soit les légers, soit les poids lourds.

Si on regarde maintenant la dynamique, ce qui est inquiétant, c'est qu'on ne maîtrise pas ces émissions. L'augmentation des émissions entre 1990 et 2002 est de plus de 20% pour ce qui est des transports routiers. C'est-à-dire qu'en gros, l'augmentation du nombre de véhicules et du trafic ne compense pas le gain unitaire sur les véhicules. Vous le savez, les véhicules que l'on produit maintenant sont plus performants que ceux que l'on produisait il y a 20 ans en termes de consommation. Par contre, rien que pour le cas Français, sans parler des pays en émergence, il y a plus de véhicules sur les routes, et les véhicules roulent plus. Si ces facteurs augmentent plus rapidement que le gain unitaire, le résultat, ce sont des émissions de gaz à effets de serre qui ne sont pour l'instant pas maîtrisées, et on a un dérapage. On a donc besoin de solutions alternatives vraiment volontaristes si l'on veut casser cette inflexion.

Il y a plusieurs solutions.

On peut travailler sur les carburants, sur les générateurs. Ce que l'on étudie à l'INRETS, c'est l'une des solutions qui consiste hybrider le véhicule avec pour l'instant, une chaîne de traction électrique que l'on vient rajouter à la chaîne de traction thermique. On a un programme que nous finance l'ADEME avec nos collègues de l'IFP notamment et d'autres labos, dans lequel on teste les premiers véhicules qui sont vendus, en fonction de leurs conditions d'usage notamment (programme EVALVH). Sur le panel représenté, je n'insisterai pas sur la provenance de ces véhicules, tout est dit, ils sont Japonais. On essaye donc de comprendre comment ils fonctionnent, et on essaye de voir comment on peut dégager des solutions qui seraient applicables sur d'autres véhicules peut être différents, peut être un peu plus simples ou adaptés à des usages particuliers. Si on regarde les objectifs des gens qui fabriquent ces véhicules, on voit qu'il s'agit de baisser en premier lieu la consommation d'énergie, donc les émissions de CO₂, également de respecter les normes futures qui sont toujours de plus en plus draconiennes vis-à-vis des émissions de polluants réglementés, mais également un point qui est important et qui n'est pas à négliger, il s'agit de maintenir, voir même d'améliorer la prestation client.

En gros, il s'agit de faire un véhicule que les gens achètent, et pas un véhicule dont on pense que c'est le voisin qui doit toujours l'acheter. Ça paraît être une des clés importantes du succès. Si on regarde un peu ce que ces véhicules apportent comme améliorations, une diapositive représente ce que l'on connaît, le véhicule qui est le plus élaboré pour l'instant, qui est donc la Toyota Prius où est représenté un cycle de vitesse normalisé, vitesse en fonction du temps ainsi que l'usage du moteur thermique sur ce cycle. Ce que l'on voit comme amélioration, c'est d'abord, la 1^{ère} qui commence maintenant à être bien connue, c'est qu'à l'arrêt, on n'a plus de fonctionnement du moteur thermique. Cela pose des problèmes à résoudre vis-à-vis des auxiliaires notamment, cela veut dire plus de climatisation. A l'heure actuelle, vous trouvez des solutions. Lorsque vous roulez dans un encombrement en usage vraiment lent et congestionné, vous n'avez pas besoin de votre moteur thermique, on va utiliser uniquement l'électricité pour faire avancer le véhicule. Ensuite, on appelle ça le décollage (bien qu'on reste sur terre, il n'y a pas d'avion ici), dans les premiers tours de roue du véhicule, un véhicule classique, le moteur thermique ne fonctionne pas en dessous de son ralenti ; on utilise alors la boîte de vitesses, rapport en première et un embrayage qui patine... ça, c'est tout sauf efficient.

Donc, un véhicule hybride va lui, carrément zapper cet usage du moteur thermique et on va faire ce que l'on appelle le décollage en mode tout électrique ; le moteur électrique, lui, possédant un couple maximum au démarrage est tout à fait complémentaire.

Ensuite, lorsque l'on accélère, on va s'arranger pour partager la demande de puissance entre le moteur thermique et le moteur électrique. Ce partage est réalisé au mieux de chacun, pour avoir une sorte d'optimum global sur la consommation et les émissions de polluants. Quand le véhicule décélère, ce que l'on essaie de faire, et ce qui va le mieux, c'est de déconnecter le moteur thermique puisqu'on n'en a pas besoin et de récupérer un maximum d'énergie à ce moment-là sur le stockage d'énergie (batterie et/ou supercondensateurs) pour arriver à équilibrer le bilan de charge en fin de cycle.

Si on regarde les résultats, ce graphique reproduit les données de l'ADEME et les données des premières mesures que l'on a sur les véhicules hybrides :

- ✓ en ordonnées les émissions de CO₂ sur le cycle normalisé Européen, pour des véhicules qui sont motorisés en essence et en diesel
- ✓ en abscisse, la puissance de la chaîne de traction,

5 des premiers véhicules hybrides qui ont été testés. Donc vous avez 2 Honda : vous avez la "insight" qui est très, très bas, mais c'est un véhicule qui est assez peu motorisé, qui fait 2 places et 800 kg, qui est assez atypique. Vous avez la "civic" qui est assez performante dans les 110 – 120 grammes, et puis surtout vous avez les 3 modèles qu'a produit Toyota.

Vous noterez que c'est assez vertueux, chaque nouveau modèle est plus puissant, plus performant et consomme moins que le précédent. Vous pouvez constater que vous avez des véhicules diesel très bien placés en CO₂, une "Smart" et une "Lupo" qui font 80 – 90 grammes de CO₂/km, mais qui ne sont pas à proprement parler des véhicules que vous pouvez utiliser en remplacement d'un véhicule sur un usage pour un week-end ou de longues distances.

Si on compare à motorisations identiques, on voit que l'on a une vingtaine de % de retard en diesel, et une trentaine de % en essence, sachant que le diesel pose d'autres problèmes vis-à-vis des émissions.

Si on regarde maintenant ces véhicules hybrides, on a trouvé qu'ils avaient une grande sensibilité à l'usage. Nous avons reproduit des mesures que l'on a faites sur des véhicules à l'INRETS pour des usages réels qui vont de l'urbain jusqu'à l'autoroutier, 13 véhicules catalysés 3 voies essence que l'on a testés à l'INRETS, donc avec une certaine dispersion et une valeur moyenne.

On constate que le gain observé, est très important en conditions urbaines, puisque l'on optimise le fonctionnement du moteur thermique, mais au fur et à mesure que le véhicule quitte la ville le gain diminue. Finalement, sur un usage de type autoroutier, on a un véhicule hybride qui ne consomme pas plus, mais qui ne consommera pas moins, puisque le véhicule classique, somme toute, ne fonctionne pas trop mal en usage autoroutier. Mais, dans un usage urbain, il est à noter que l'on a quand même des gains de 30 à 40% sur la consommation d'énergie.

Si on considère maintenant les niveaux d'émissions, on a représenté les 3 polluants qui sont réglementés pour un moteur essence, soit la norme Euro 3 qui est la norme actuelle et puis l'Euro 4 qui va s'appliquer dès l'année prochaine. Nous avons projeté dessus les premiers véhicules hybrides testés, à l'exception de la Prius 1, qui est un modèle Japonais et non Européen, tous les autres sont des véhicules qui sont déjà prêts pour la norme Euro 4.

Il est important de constater que l'on maîtrise avec ces véhicules le CO₂, on a des gains intéressants et on a des niveaux d'émissions qui sont déjà prêts pour l'avenir. Une remarque, on a vu que les véhicules les plus proches en CO₂ étaient les véhicules diesel. Il est important de noter que l'on a toujours un problème sur ces véhicules diesel avec les émissions de particules et les oxydes d'azote, dont le traitement nécessite des systèmes complexes.

Donc, comparer un véhicule essence comme la Prius avec un véhicule diesel, cela pose quand même un problème sur certains des polluants. La transition, si on veut parler non plus des véhicules particuliers, mais des véhicules de transport en commun, on peut la faire à partir de ce véhicule, c'est une Honda "insight". C'est le plus performant, il fait 3 litres aux 100 Km par passager. Nous le comparerons à un autre véhicule 3 litres/100 Km sur la même base de calcul où on aura 55 litres/100 km pour ce bus, et puis 22 passagers en moyenne à l'intérieur, (on peut toujours discuter sur les moyennes, mais ce sont des chiffres

qui sont relativement fiables). Finalement, on ne se place pas trop mal, car substituer 22 véhicules comme l'"insight" par un autobus, finalement c'est pas trop mal du point de vue des émissions de CO₂, sans parler de l'encombrement de nos villes.

Pour les autobus, on a quelques premières réalisations, avec Irisbus notamment, dont pas mal de véhicules qui roulent déjà. A signaler qu'en France, on a un nouveau constructeur qui apparaît cette année sur le marché avec le Microbus de Gruau qui est proposé en version hybride. Là, les objectifs sont également de baisser la consommation d'énergie, mais en premier lieu, on veut avoir des véhicules un peu "citoyens", donc avoir de très faibles émissions de polluants locaux puisque ce sont des véhicules qui sont essentiellement urbains. On retrouve l'amélioration de l'accessibilité, une plus grande flexibilité dans l'alimentation énergétique et une réduction de l'emprise notamment vis-à-vis de la caténaire. On veut pouvoir rouler en bout de ligne ou dans certaines parties sans la caténaire.

Aux USA (ville de New York) une trentaine de bus hybride ont été commandé, tous ne sont pas encore livrés. Le constructeur a conservé l'essieu arrière, donc vous n'avez pas de plancher bas intégral. On a un moteur électrique avec un réducteur, un moteur diesel qui fonctionne en permanence, et des batteries plomb sur le toit. Donc, ça c'est très basique, mais ça fonctionne et on peut avoir des solutions un peu plus novatrices comme celles qu'a proposé ALSTOM avec le moteur dans la roue. En dégageant l'essieu arrière, on peut avoir un plancher bas intégral, ce qui est un peu plus poussé au niveau innovation.

Un autre point important est que l'on a une batterie, voir un couplage batterie super capacité sur ces véhicules dans le but notamment de récupérer l'énergie, ce qui est très important sur le résultat. Ce sont des véhicules lourds qui roulent doucement. Le stockage d'énergie et la gestion sont primordiaux si on veut arriver à obtenir un résultat intéressant. Après, on peut placer la machine électrique à des endroits différents. C'est une solution Japonaise où c'est un moteur un petit peu comme la Honda "Insight" qui est glissé entre le moteur thermique et la boîte de vitesses, très discret en terme d'architecture.

Sans jeu de mot, après les "3 E " de Michel AMIET, on peut parler des "3 F" . Donc des gens comme "ALLISON" travaillent notamment sur des chaînes de traction hybrides qui viennent se substituer à la boîte de vitesses. Donc, elles prennent la place du composant existant, ça rentre dans l'enveloppe du composant, ça remplit les fonctions du composant qu'elle remplace avec des fonctions supplémentaires. On a ici une boîte de vitesses par exemple qui allie une transmission série et parallèle comme vous le voyez sur le schéma de

gauche. On raccorde une batterie et des super-condensateurs et on a un véhicule dont l'architecture n'est pas modifiée, ce qui n'est pas négligeable pour l'industrialisation et la maîtrise du coût total du véhicule. C'est une autre possibilité. En terme de gestion de l'énergie, on a donc des systèmes qui font intervenir un moteur thermique, qui va donc pour reprendre ce que disait Michel AMIET, générer plutôt l'énergie de base

Puis, on a un système qui va générer le tampon de puissance absorbé ou fourni suivant les cycles; et on travaille donc à l'INRETS sur la gestion de tout ça parce que c'est assez complexe, et on s'aperçoit, vous avez là un diagramme de résultats de travaux que l'on mène; vous avez donc une batterie que vous pouvez charger ou décharger et vous avez un moteur thermique que vous pouvez actionner plus ou moins et finalement, vous avez un usage du véhicule que l'on voit en bas. On cherche à déterminer des chemins optimum en terme énergétique. Vous avez, sur le diagramme du haut, le plan de fonctionnement de la batterie, avec sa limite en charge et sa limite en décharge. Pour un cahier des charges donné et un usage donné, on montre que vous avez un chemin unique de gestion de l'énergie qui vous permet d'avoir la consommation d'énergie minimum d'un véhicule sur un usage. Cela, c'est quelque chose quand on a fixé tous les paramètres que l'on peut déterminer, et après, on va faire apprendre avec un système de réseau de neurones, différents types d'usages. On cherche à reproduire cela sur l'usage d'un véhicule, et on a de relativement bonnes performances. Ça reste des systèmes qui sont complexes.

On peut avoir des véhicules comme celui-ci où vous avez un tracé de vitesse et de décharge batterie, des véhicules que l'on ne recharge jamais sur le réseau. La batterie se débrouille elle même pour se recharger avec le moteur thermique. C'est ce que l'on observe sur les premiers véhicules hybrides. Vous voyez que l'état de charge va flotter entre 20 et 30%. Et puis on peut avoir des véhicules sur lesquels on va demander à un moment, d'utiliser par exemple un mode autonome (plus de caténaire) ou sans moteur thermique (plus d'émissions locales de polluants). A ce moment là, on a un dérapage de l'état de charge batterie. Vous le voyez, on a par exemple une zone tout électrique, et ça devient intéressant à ce moment là, d'essayer de recharger la batterie sur le réseau en fin de parcours.

Il y a différents véhicules qui fonctionnent sur ce principe. Celui du haut, j'en ai parlé, c'est le Microbus, le Gruau, c'est un véhicule qui a une batterie qui se décharge constamment au cours de la journée, et on a donc un partage de consommation gas-oil-électricité, et le soir, on recharge le véhicule. Deuxième prototype qui est connu également

(le premier est vendu), le deuxième est un prototype qui est proposé par DASSAUT – HEULIEZ (SVE).

Je viens aux conclusions : qu'est ce qui est positif, pour ce que l'on peut voir, sur ces véhicules hybrides ?

Très faible niveau de consommation et d'émission de CO₂, des émissions de polluants réglementés qui restent très basses, Euro 4 pour les véhicules essence notamment, et puis des bonnes performances, que ce soit la dynamique ou l'autonomie, Ce sont des véhicules qui peuvent remplacer un véhicule existant. Ce qui devient plus compliqué, c'est que ce sont des véhicules qui combinent un grand nombre d'innovations, donc c'est assez complexe, et puis on l'a vu tout à l'heure, le gain énergétique est sensible à l'usage.

Si vous faites un usage autoroutier ou si vous essayez d'hybrider un poids lourd sur l'autoroute par exemple, ça va être extrêmement difficile. Par ailleurs, ce qui pose encore problème, c'est que finalement les coûts restent encore élevés, et on a toujours des questions sur la fiabilité, que ce soit l'électronique de puissance (donc ici vous êtes bien placés), la batterie, et finalement, ce sont des véhicules qui ont des concurrents puisque les véhicules classiques, les moteurs thermiques et les transmissions, les carburants n'arrêtent pas de progresser.

Au niveau des perspectives, on peut aller assez vite. Ce que l'on voit à court terme, maintenant, on constate l'introduction de premiers hybrides. On les appelle "discrets" , nous, parce que finalement l'utilisateur ne voit pas que c'est un véhicule hybride ; vous mettez du carburant, vous tournez la clé, ça démarre. A moyen terme, on imagine que ces véhicules discrets se diffusent plus massivement qu'à l'heure actuelle, et puis on imagine l'introduction de véhicules qui aient des fonctions en plus, c'est à dire un mode "ZEV" par exemple en centre ville un mode tout électrique et qu'on puisse le brancher sur le réseau pour recharger la batterie par exemple ; éventuellement peut-être avec une pile à combustible pour les auxiliaires par exemple. Puis, pour le long terme, on peut imaginer qu'on aura un nombre significatif de véhicules qui auront de l'électricité dans la chaîne de traction, et peut-être un jour, une pile à combustible comme générateur. Voilà, j'en ai terminé, je vous remercie de votre attention.