

Le développement des véhicules hybrides et électriques

Le secteur automobile continue d'opérer sa mutation vers une offre de véhicules plus propres dans un environnement économique difficile. Les véhicules hybrides sont maintenant des réalités sur nos routes et les véhicules électriques vont davantage être présents dans les chaînes de montage des constructeurs automobiles, notamment avec plusieurs annonces de déploiement de flottes publiques ou privées. En cette période charnière, faisons le bilan du développement de ces nouveaux véhicules d'un point de vue technique et de leurs perspectives de marché.

L'électrification de la mobilité, en particulier sur route, apparaît aujourd'hui comme une voie possible pour répondre à moyen et long termes à deux grands défis auxquels doit faire face le transport routier (personnes et marchandises) : une réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre (GES) et une diminution de la dépendance au pétrole.

À chacun son hybride

Alors que les modèles de véhicules hybrides se multiplient et qu'actuellement chaque constructeur propose au moins un modèle hybride, il est bon de rappeler qu'il n'existe pas un unique type de véhicule hybride ni un seul degré d'hybridation.

Un véhicule hybride est un véhicule qui combine plusieurs types de motorisations. Les véhicules hybrides les plus connus actuellement combinent un moteur thermique essence et une motorisation électrique, mais il ne faut pas oublier que l'hybridation est combinable avec tous les types de carburants : essence, gazole, biocarburants, gaz naturel ou GPL. Cela permet de combiner les avantages de l'hybride et de ces carburants, et d'atteindre des niveaux d'émissions locales de CO₂ et de polluants particulièrement intéressants. Ainsi, le premier véhicule hybride Diesel, le 3008 HYbrid4 de Peugeot vient d'arriver sur le marché.

Plusieurs degrés d'hybridation sont donc possibles. Ils dépendent du ratio entre la puissance thermique et la puissance électrique embarquées dans le véhicule afin de le propulser.

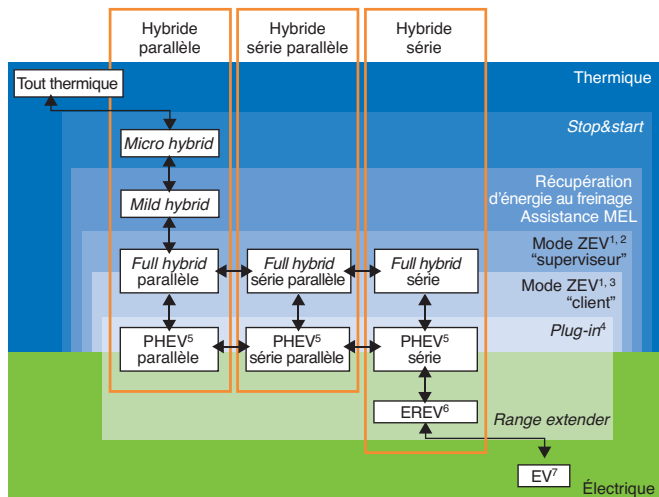
La première étape d'hybridation est l'ajout d'un simple *stop&start* : ce système permettant de couper le moteur thermique à l'arrêt pour le redémarrer très rapidement ensuite est idéal lors de trajets urbains. Viennent ensuite les "*mild hybrid*" qui se caractérisent par l'introduction d'une récupération d'énergie au freinage, puis les "*full hybrid*", qui permettent en plus des modes de fonctionnement dits "*zero emission*" en mode tout électrique, et peuvent aussi, dans certains cas, fonctionner avec une recharge sur le réseau électrique ou une source électrique extérieure. Ce sont les hybrides rechargeables ou *plug-in* que l'on commence à voir apparaître chez les constructeurs. Une hybridation croissante permet en théorie des économies en carburant supérieures, mais s'accompagne généralement de coûts plus élevés. Enfin, tout au bout de la chaîne, le véhicule électrique est l'aboutissement de la logique d'électrification du véhicule.

On regroupe généralement tous ces types de véhicules en trois grandes familles de véhicules hybrides (figure 1) :

- ▣ les hybrides parallèles qui sont les plus courants, comme la Honda Insight (figure 2). Disposant de deux moteurs, l'un électrique, l'autre thermique, ces véhicules profitent de la combinaison de ces deux "sources" pour se mouvoir, en ajustant le fonctionnement de chacun pour une efficacité maximale. L'autre avantage est que ces véhicules ne sont pas très éloignés d'un véhicule conventionnel et ne nécessitent que peu d'adaptations, même si les possibilités d'exploitation de l'hybridation sont aussi plus limitées qu'avec d'autres types d'hybrides ;

Le développement des véhicules hybrides et électriques

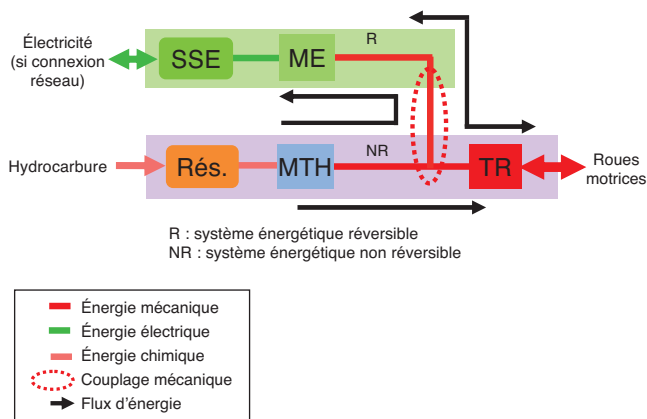
Fig. 1 – Les familles de véhicules hybrides et électriques



- (1) ZEV : Zero Emission Vehicle
- (2) Mode ZEV "superviseur" : mode ZEV géré uniquement par contrôle GMP pour optimisation de la consommation
- (3) Mode ZEV "client" : mode ZEV activable par le conducteur
- (4) Plug-in : recharge batteries sur réseau
- (5) PHEV : Plug-in Hybrid Electric Vehicle
- (6) EREV : Extended Range Electric Vehicle
- (7) EV : Electric Vehicle

Source : IFP Energies nouvelles (IFPEN)

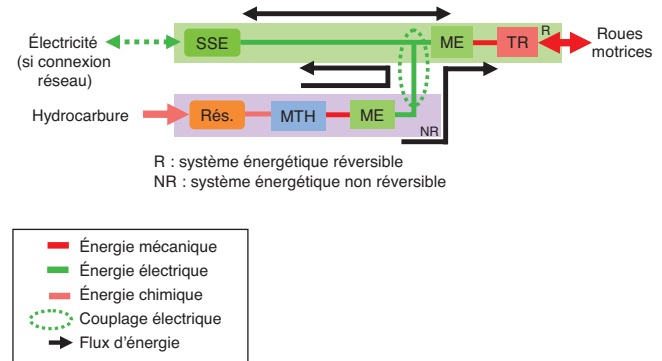
Fig. 2 – L'hybridation parallèle



Source : IFPEN

les hybrides séries, qui disposent également de deux motorisations, mais dont seul le moteur électrique assure la propulsion (figure 3). Le moteur thermique ("range extender"), quant à lui, sert à recharger les batteries du véhicule, mais n'assure pas de fonction de propulsion. Le principal avantage est que le moteur thermique peut fonctionner à son point de meilleur rendement, indépendamment des sollicitations du conducteur, mais cela nécessite d'utiliser deux machines électriques : une génératrice et un moteur, et une batterie de taille plus importante que pour un hybride parallèle. Ce type d'hybride, s'il est rechargeable, est aussi appelé véhicule électrique avec prolongateur d'autonomie, comme la Chevrolet Volt ;

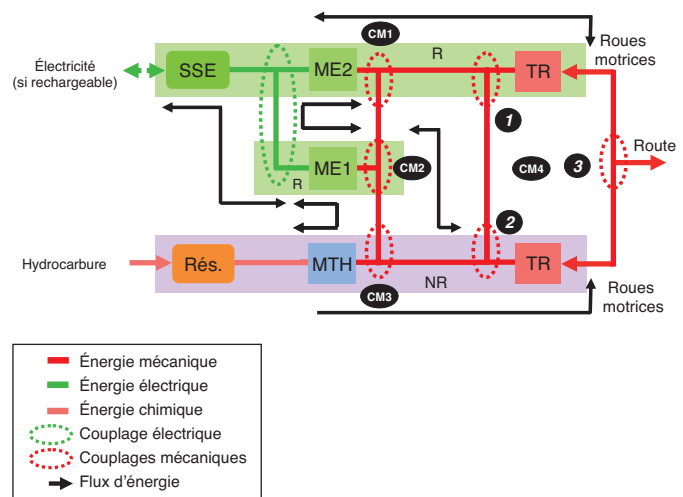
Fig. 3 – L'hybridation série



Source : IFPEN

entre les deux, les hybrides série parallèle combinent les particularités des deux familles citées précédemment (figure 4). La Toyota Prius en est le parfait exemple. Cette configuration est plus complexe, elle met en œuvre trois systèmes énergétiques et plusieurs liaisons électriques et mécaniques possibles entre ces systèmes.

Fig. 4 – L'hybridation série parallèle



Source : IFPEN

Les configurations série parallèle présentent a priori les meilleurs potentiels de gains puisqu'elles permettent de mettre en œuvre les deux types d'hybridation. Leur succès impose cependant de réussir à maximiser les avantages des deux associations série et parallèle, tout en minimisant leurs inconvénients, ce qui demande un effort particulier sur le dimensionnement des composants, avec une gestion et un contrôle qui s'avéreront des plus complexes.

Toutes ces nuances permettent d'apporter de la flexibilité dans les automobiles d'aujourd'hui, en sélectionnant les hybrides en fonction de leur performance attendue.

Le développement des véhicules hybrides et électriques

Sportivité, grande efficacité, silence absolu, en centre-ville notamment, sont autant de créneaux possibles pour ces véhicules. Il suffit de dimensionner les différentes machines électriques et thermiques et la batterie en fonction du service attendu.

Un marché fluctuant

Si le marché mondial des véhicules hybrides a dépassé 940 000 unités en 2010, soit une hausse de 26 % par rapport à 2009, cette évolution recouvre des situations assez différentes dans le monde. En France, ces ventes ont représenté 9 443 unités, soit une augmentation quasiment insignifiante par rapport à 2009. Aux États-Unis, elles ont connu une forte poussée en décembre 2010, avec des volumes supérieurs de 37 % à ceux du mois de novembre (figure 5). Le phénomène s'est reproduit depuis avec des ventes qui ont connu des pics mensuels dus à un prix des carburants élevé et aux signes de reprise économique qui apparaissaient au printemps dernier, jusqu'au tremblement de terre et au tsunami au Japon, qui ont mis en péril la production et la distribution des modèles hybrides en grande partie produits au pays du soleil levant. La reprise du marché hybride n'est ensuite intervenue qu'au mois d'octobre 2011, quand les capacités de production ont pu être remises en route.

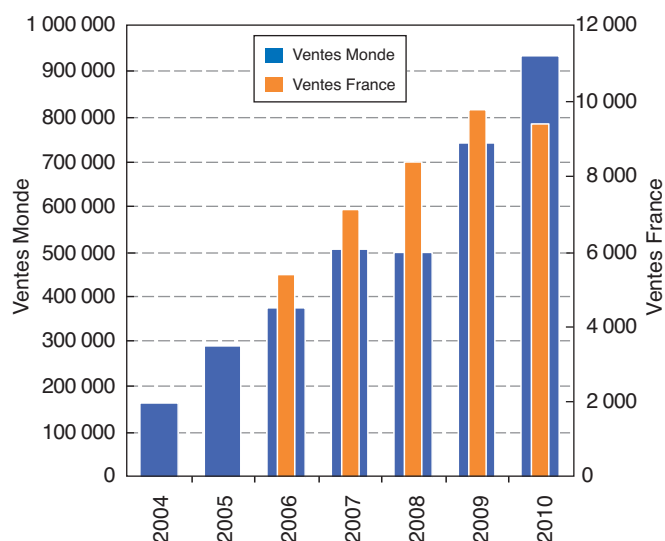
Cependant, et malgré les difficultés logistiques, Toyota mène toujours le marché des ventes de véhicules hybrides. La marque japonaise a d'ailleurs passé le cap des 3 millions de véhicules hybrides vendus en 2011, soit moins de 21 mois après avoir passé celui des 2 millions d'unités et alors qu'il avait fallu dix ans pour écouler le premier million de véhicules hybrides.

Le marché s'accélère au niveau des ventes mais aussi au niveau des modèles disponibles. Les modèles les plus populaires sont la Toyota Prius et la Lexus CT 200h, nouvelle venue dans le paysage automobile et qui est directement devenue le troisième modèle hybride le plus vendu. Le podium est complété par la Honda Insight.

Les véhicules hybrides rechargeables seront une des nouveautés de 2012. Quatre modèles (la Honda Fit, la Volvo V60 Plug-in, la BMW i8 et le Ford C-Max Energi) viendront très bientôt grossir les rangs des véhicules rechargeables déjà disponibles, comme la Toyota Prius plug-in, la Porsche 918 Spyder et la Fisker Karma.

Du côté des véhicules électriques, Chevrolet a vendu seulement 5 000 modèles Volt à fin octobre, alors que leurs prévisions étaient de 10 000 unités vendues pour 2011. Le bilan est un peu meilleur chez Nissan, avec un peu plus de 8 000 Leaf vendues.

Fig. 5 – Les véhicules hybrides vendus dans le monde et en France (2004-2010)



Source : CCFA, Automotive Innovation Platform

Quelles perspectives à moyen terme ?

Si l'on se projette dans le futur, le marché des véhicules électrifiés (hybrides et électriques) est encore très incertain.

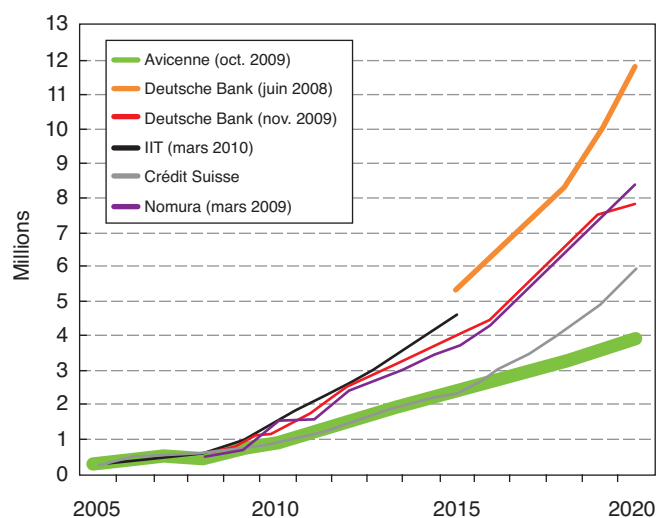
Concernant les véhicules hybrides, la figure 6 présente un panel de scénarios publiés dernièrement, qui montrent un très large éventail de possibilités. Approchant le million aujourd'hui, le marché devrait dépasser 4 millions d'unités en 2020, mais les projections les plus optimistes envisagent même 12 millions de véhicules hybrides vendus à ce même horizon, ce qui représenterait entre 10 et 15 % du marché automobile. Mais derrière ces chiffres, il est important d'identifier les types d'hybridation et leur répartition (le simple *stop&start* peut se généraliser beaucoup plus vite du fait de son faible coût). Il est clair que nous n'en sommes qu'au début de l'ère des véhicules hybrides et que ceux-ci possèdent un beau potentiel ; leurs possibilités de combinaison avec de nombreux carburants et leur compatibilité avec le modèle aujourd'hui dominant du véhicule multiusage (avec l'autonomie pour enjeu principal) leur permettent notamment de pouvoir s'implanter partout sur le globe. Seul bémol, le surcoût de ces véhicules reste important et l'existence d'incitations fiscales (bonus en France de 2 500 €) reste un support encore difficilement contournable.

La question des véhicules électriques est largement plus complexe. Nous entendons régulièrement citer le problème de l'œuf et de la poule pour expliquer les difficultés

Le développement des véhicules hybrides et électriques

à amorcer le marché des véhicules électriques. En effet, sans infrastructures de recharge, pas de trajets possibles et donc pas de ventes de véhicules. Et sans véhicules, personne ne veut investir dans ces infrastructures. Mais, pour tous les constructeurs, les freins essentiels au développement demeurent principalement l'amélioration de l'autonomie de ces véhicules et la mise à disposition de véhicules économiquement compétitifs (problématique du coût de la batterie) par rapport aux véhicules traditionnels.

Fig. 6 – Scénarios de ventes de véhicules hybrides dans le monde 2010-2020

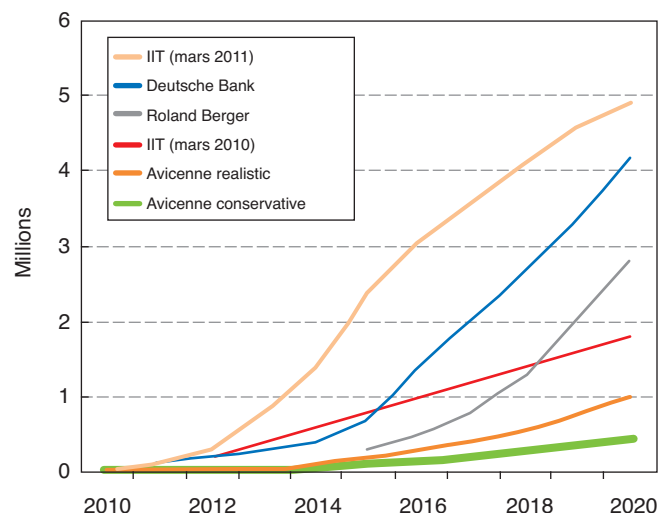


Source : Avicenne Energy, *The rechargeable battery market, past and future, 2011*

Néanmoins, les initiatives des industriels sont plus nombreuses. Chevrolet et Nissan proposent déjà deux modèles électriques depuis 2011. Renault et Nissan espèrent avoir vendu 1,5 million de véhicules avant fin 2016 et ont investi 4 milliards d'euros dans cette filière. La Fluence ZE est maintenant commercialisée ainsi que le Kangoo électrique, et la marque au losange a remporté un appel d'offres pour fournir 15 600 véhicules électriques à l'État français, EDF, Veolia et La Poste. Le reste de la commande a été attribué à PSA Peugeot Citroën (3 900 véhicules) et les 3 000 véhicules restants seront fournis par Bolloré, Ford ou Mia Heuliez.

L'objectif de Renault-Nissan, aussi ambitieux soit-il, montre bien que le marché des véhicules électriques devrait décoller de manière moins spectaculaire que celui des hybrides, car les problématiques sont sensiblement différentes.

Fig. 7 – Scénarios de ventes de véhicules électriques dans le monde 2010-2020



Source : Avicenne Energy, *The rechargeable battery market, past and future, 2011*

La figure 7 montre qu'un marché de 1 à 2 millions de véhicules électriques en 2020 serait déjà un grand succès (et représenterait alors 1 à 2 % du marché automobile) pour une filière qui n'en est qu'au début de son développement.

L'année 2012 devrait être l'année du décollage des véhicules hybrides rechargeables ou *plug-in*. En effet, en poussant leur logique d'hybridation des véhicules au-delà de la récupération d'énergie à bord, les constructeurs vont maintenant proposer en nombre des véhicules hybrides rechargeables et des véhicules électriques, qui pourront s'alimenter sur le réseau. Les véhicules hybrides, qui offrent de nombreuses combinaisons de carburants et possibilités de flexibilité dans leur manière de fonctionner, permettent de s'adapter à tous les usages et de toucher tous les marchés, avec d'intéressantes réductions d'émissions de GES à la clé selon le mode de recharge et la nature de l'électricité appelée. Enfin, pour le véhicule électrique, jamais autant de constructeurs ne se sont positionnés de la sorte, avec de nombreuses sorties de nouveaux modèles (notamment des utilitaires légers) attendues dans le courant de l'année. Il sera intéressant de voir comment ce marché s'amorce, dans un contexte économique morose mais où les préoccupations environnementales restent présentes.

Simon Vinot – simon.vinot@ifpen.fr
Manuscrit remis en novembre 2011