

De 1982 à aujourd'hui

Un peu d'histoire

Le 1^{er} décembre 1994 marque un jalon important dans l'évolution des automobiles électriques. Ce jour-là, **Pierre Couture** (figure 1), un physicien visionnaire, fait une allocution historique lors d'une conférence de presse tenue par **Hydro-Québec**, pour dévoiler un prototype révolutionnaire d'automobile électrique (figure 2) qu'ils viennent de développer. Les moteurs-roues qui la font avancer confèrent à ce véhicule des performances inégalées. Le docteur **Couture** était l'instigateur du projet, le concepteur du moteur et le directeur de l'équipe de recherche.

Allocution de Pierre Couture

Voici donc la transcription de cette allocution, dans laquelle **Pierre Couture** décrit sa vision de l'automobile du futur, dont **Hydro-Québec** présente un premier prototype (texte transmis par **Pierre Couture**; les notes entre crochets sont de l'auteur).

«La technologie que nous vous présentons aujourd'hui est l'aboutissement d'un défi que nous nous étions lancé il y a plus d'une douzaine d'années, celui de développer un groupe de traction pour véhicule électrique qui, grâce à l'électricité, permettrait de régler les problèmes d'environnement, de pollution et de dépendance énergétique qui découlent des véhicules conventionnels.

Notre technologie possède aussi le potentiel pour régler, à la satisfaction des consommateurs, les principaux problèmes auxquels se heurte le véhicule électrique, qui sont l'autonomie et les performances.

Nous avons voulu concevoir un groupe de traction comparable ou supérieur au groupe de traction traditionnel, et les résultats préliminaires confirment nos espérances. Non seulement croyons-nous avoir mis au point une technologie dont les avantages sont très significatifs,



Pierre Couture

mais nous contribuons, par nos recherches, à redéfinir la technologie des groupes de traction.

Nous avons abordé le problème sous un angle différent de celui des concepteurs d'automobiles. Nous nous sommes éloignés du point de vue mécanique, et avons adopté un point de vue de spécialistes en technologies électriques.

Le projet a débuté en 1982. À ce moment-là, un petit groupe de trois personnes a commencé à réunir les ressources ici et là, et à travailler sur l'une des composantes qui est le moteur-roue. Vers la fin des années 1980, à la lumière des progrès réalisés, du personnel permanent a été embauché, et, en 1991, la direction d'**Hydro-Québec** a pris la décision d'accélérer le développement du projet après en avoir évalué le potentiel.



L'automobile électrique dévoilée en 1994 par Hydro-Québec. Cette Chrysler Intrepid transformée possède deux moteurs-roues à l'arrière. Le prototype de 1995 était équipé de quatre moteurs-roues (archives du journal Le Devoir, de Montréal).

Nous avons l'ambition de développer une technologie compétitive. Nos critères ont été les suivants :

- avoir une autonomie comparable au véhicule traditionnel;
- avoir une accélération au moins équivalente à celle des meilleurs groupes de traction actuels;
- ne pas augmenter le poids du véhicule;
- avoir une technologie compatible avec l'opération d'un véhicule à basse température;
- avoir une technologie compatible avec les infrastructures de distribution électrique existantes.

Notre approche et nos critères nous ont amenés à développer un groupe de traction intégrale composé de quatre moteurs-roues électriques [figure 3], alimentés en énergie par un système hybride comprenant une batterie de puissance et un moteur-générateur pouvant recharger la batterie au besoin [figure 4].

Cette configuration hybride confère à notre groupe de traction une autonomie équivalente à ce que les consommateurs connaissent avec les véhicules actuels.

Compte tenu des habitudes de déplacement nord-américaines, les calculs nous montrent qu'environ 80% des déplacements pourraient être faits en mode tout électrique, sans que le moteur générateur entre en action [l'autonomie de la batterie était de

Extrait du livre :

Sur la route de l'électricité 2. LES PILES ÉLECTRIQUES ET L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE
Pierre Langlois, Éditions MultiMondes, 2006, 128 p. ISBN 2-89544-086-7 24,95 \$ Can

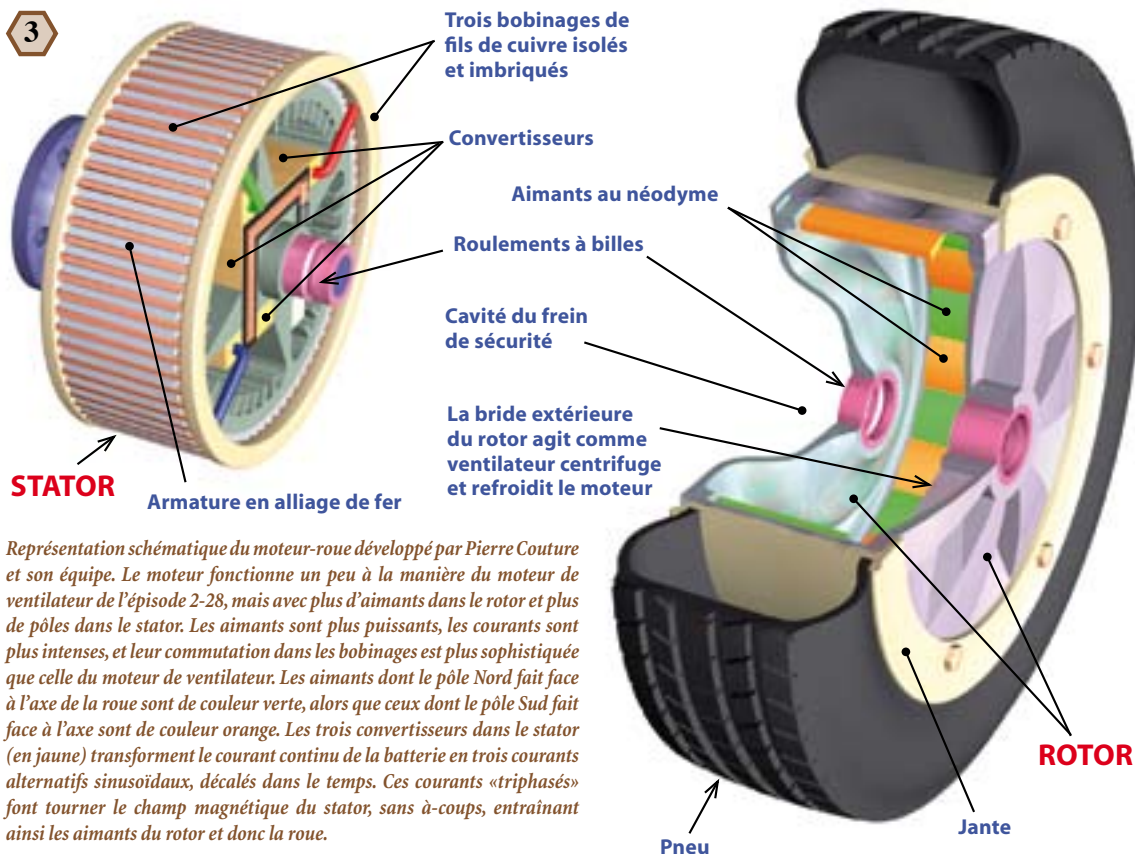
© Tous droits réservés – POUR USAGE PRIVÉ SEULEMENT

Renseignements: <http://www.multim.com> ou multimondes@multim.com

Site de l'auteur: <http://www.planglois-pca.com>



3



Représentation schématique du moteur-roue développé par Pierre Couture et son équipe. Le moteur fonctionne un peu à la manière du moteur de ventilateur de l'épisode 2-28, mais avec plus d'aimants dans le rotor et plus de pôles dans le stator. Les aimants sont plus puissants, les courants sont plus intenses, et leur commutation dans les bobinages est plus sophistiquée que celle du moteur de ventilateur. Les aimants dont le pôle Nord fait face à l'axe de la roue sont de couleur verte, alors que ceux dont le pôle Sud fait face à l'axe sont de couleur orange. Les trois convertisseurs dans le stator (en jaune) transforment le courant continu de la batterie en trois courants alternatifs sinusoïdaux, décalés dans le temps. Ces courants « triphasés » font tourner le champ magnétique du stator, sans à-coups, entraînant ainsi les aimants du rotor et donc la roue.

65 km]. L'assistance du moteur-générateur n'est requise en principe que pour les longues distances.

Le mode hybride permet aussi de surmonter le « syndrome de la batterie morte », qui effraye beaucoup de consommateurs, et de contourner le problème du temps de recharge des batteries qui demeure, pour l'instant, un défi technologique et logistique.

Le cœur de notre technologie se situe toutefois au niveau des moteurs-roues. Cette percée a été facilitée, en partie, grâce aux compétences que nous avons développées dans le calcul de configuration magnétique à l'intérieur de nos recherches sur la thermofusion.

Il s'agit de moteurs électriques inversés à courant alternatif, auxquels les pneus du véhicule sont rattachés par l'intermédiaire d'une jante métallique. La jante est fixée au rotor du moteur et le stator est immobile au centre de la roue. L'ensemble

est fixé à la suspension du véhicule, et le courant continu de la batterie est transformé en courant alternatif par un convertisseur logé à l'intérieur de la roue (figure 3).

Comme vous êtes à même de le constater dans le matériel visuel qui vous a été remis, on élimine toutes les composantes habituelles des groupes de traction. Il n'y a plus de moteur central, ni de transmission, ni d'arbre, ni de différentiel, ni d'essieux. Il n'y a ainsi aucune perte d'énergie due à ces pièces mécaniques, ce qui constitue en soi un gain d'efficacité d'au moins 30 % sur les véhicules conventionnels.

Le moteur-roue n'est pas nouveau en lui-même (Ferdinand Porsche a obtenu un brevet de moteur-roue en 1904), mais celui que nous avons développé est capable de déployer une force élevée, respectant les exigences des consommateurs en termes d'accélération et de performance.

L'un des avantages importants du moteur électrique réside dans son efficacité énergétique relativement élevée, quelle que soit la vitesse de roulement ou la température ambiante à laquelle il fonctionne.

Les moteurs à combustion interne et les groupes de traction conventionnels fonctionnent à peu près toujours en mode dégradé, que ce soit à cause de la température ou en raison de leur régime optimal de fonctionnement qui se situe généralement à des vitesses élevées. Ces performances dégradées sont responsables de pertes énergétiques élevées, ce qui n'est pas le cas du moteur électrique.

Parmi les autres caractéristiques importantes de la technologie, il faut mentionner le freinage électrique. L'énergie du freinage est récupérée pour recharger les batteries, ce qui contribue à augmenter l'autonomie du véhicule en mode tout électrique.

Extrait du livre :

Sur la route de l'électricité 2. LES PILES ÉLECTRIQUES ET L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

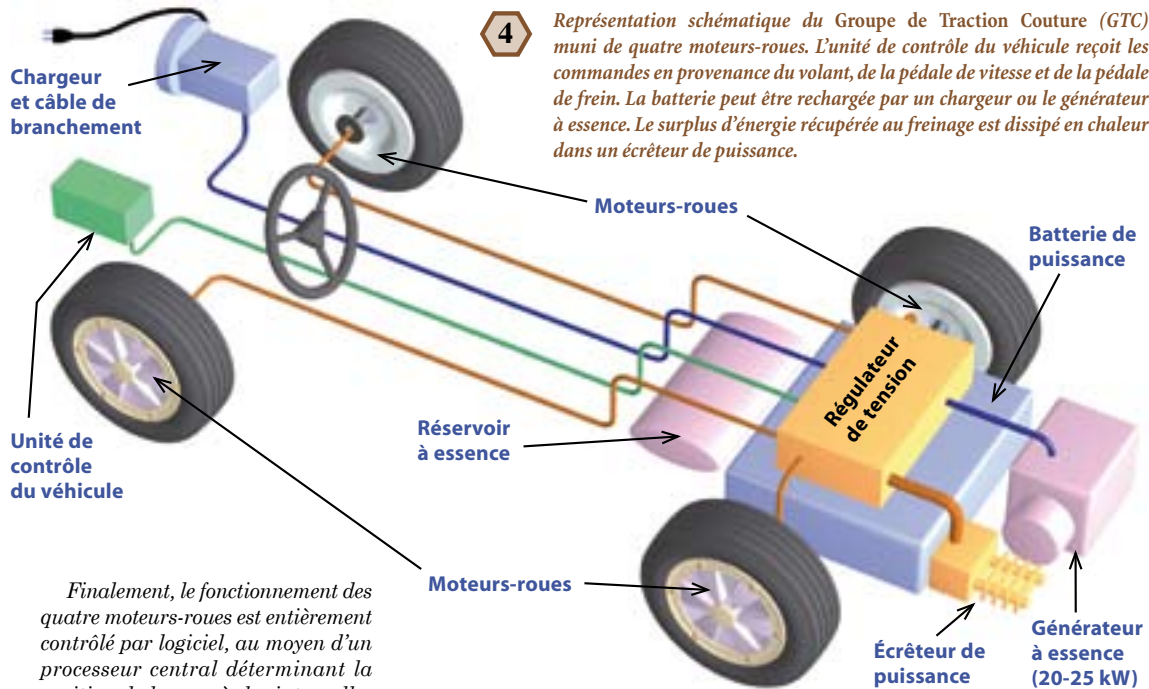
Pierre Langlois, Éditions MultiMondes, 2006, 128 p. ISBN 2-89544-086-7 24,95 \$ Can

© Tous droits réservés – POUR USAGE PRIVÉ SEULEMENT

Renseignements: <http://www.multim.com> ou multimondes@multim.com

Site de l'auteur: <http://www.planglois-pca.com>





4

Représentation schématique du Groupe de Traction Couture (GTC) muni de quatre moteurs-roues. L'unité de contrôle du véhicule reçoit les commandes en provenance du volant, de la pédale de vitesse et de la pédale de frein. La batterie peut être rechargée par un chargeur ou le générateur à essence. Le surplus d'énergie récupérée au freinage est dissipé en chaleur dans un écrêteur de puissance.

Unité de contrôle du véhicule

Finalement, le fonctionnement des quatre moteurs-roues est entièrement contrôlé par logiciel, au moyen d'un processeur central déterminant la position de la roue à des intervalles de temps réguliers. Ce genre de contrôle est plus performant que les systèmes informatisés actuellement utilisés sur les véhicules pour assister le fonctionnement des composantes mécaniques. Il permet un contrôle précis de la traction en toutes circonstances.

La tension électrique vers les moteurs est maintenue constante par un régulateur de tension (figure 4), de telle sorte que les performances du véhicule restent les mêmes, quel que soit le niveau de charge de la batterie. Il n'y a ainsi aucune dégradation des performances lorsque la batterie se décharge.

La batterie pèse 220 kg et peut être rechargée au moyen d'une prise de courant standard de 110 volts. Pour une charge complète [donnant une autonomie d'environ 65 km], il en coûterait environ 0,60 \$ [canadien] au consommateur, sur la base des tarifs actuellement en vigueur au Québec [1994].

Parmi les autres bénéfices de la technologie, on peut mentionner rapidement:

- la réduction de la pollution atmosphérique, qui résulterait de l'utilisation à grande échelle de

cette technologie, ainsi que de la réduction de la pollution par le bruit;

- un encombrement minimal du véhicule par les composantes du groupe de traction;
- la perspective d'un meilleur aérodynamisme, car on peut sceller le dessous du véhicule;
- aucun poids excédentaire par rapport aux véhicules actuels;
- le fait que la technologie est entièrement modulaire.

Voilà donc en quelques mots la description de la technologie que nous avons développée».

En 1997, les téléspectateurs de **Radio-Canada** ont pu constater, à l'émission *Découverte*, les véritables performances de la Chrysler Intrepid équipée d'un **groupe de traction Couture (GTC)**. Plus d'un million de personnes ont pu voir alors les roues motorisées du véhicule décrocher de la chaussée sèche et tourner sur place, presque sans déplacement! Une telle performance n'avait jamais été atteinte par aucun véhicule électrique à moteurs-roues, et ne peut être réalisée qu'avec les moteurs à essence les plus puissants.

Vingt fois moins d'essence!

En 1994, au moment de l'allocation de **Pierre Couture**, les batteries rechargeables (accumulateurs) n'étaient pas aussi évoluées qu'aujourd'hui. **Pierre Couture** et son équipe utilisaient pour leur prototype une batterie permettant une autonomie de 65 km environ, dans un mode purement électrique. Selon leurs analyses, cette autonomie entre deux recharges permettait, pour la moyenne des gens, de combler 80% de leurs besoins de transport personnel, puisqu'on peut recharger la batterie à la maison chaque nuit.

Aujourd'hui, avec les batteries Li-ion (épisode 1-13), on peut sans problème obtenir une autonomie de 130 km pour un même poids de la batterie. C'est donc dire qu'on pourrait effectuer plus de 90% de nos déplacements sans utiliser d'essence [1].

Par ailleurs, lorsqu'on utilise le générateur de bord pour alimenter les moteurs-roues, lors de longs parcours, ce générateur consomme deux fois moins d'essence qu'un véhicule conventionnel qui aurait les mêmes performances.

Par conséquent, le **GTC permet de consommer vingt fois moins d'essence à la pompe!** C'est donc une technologie révolutionnaire qui arrive à point [1, 2, 3, 4].



Extrait du livre:

Sur la route de l'électricité 2. LES PILES ÉLECTRIQUES ET L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

Pierre Langlois, Éditions MultiMondes, 2006, 128 p. ISBN 2-89544-086-7 24,95 \$ Can

© Tous droits réservés – POUR USAGE PRIVÉ SEULEMENT

Renseignements: <http://www.multim.com> ou multimondes@multim.com

Site de l'auteur: <http://www.planglois-pca.com>

Si le **GTC** consomme deux fois moins d'essence lorsqu'il fonctionne sur le générateur de bord (sans recharge des batteries sur le réseau), c'est en partie parce qu'il permet d'éliminer les pertes causées par le frottement dans les pièces mécaniques telles que la transmission, le différentiel et les joints universels de l'arbre. On récupère ainsi environ 30% de l'énergie qui, autrement, aurait été perdue.

En effet, l'efficacité du moteur électrique du **GTC** est beaucoup plus élevée à bas régime que ne l'est celle d'un moteur à combustion interne. Ce moteur électrique n'a donc pas besoin des engrenages de la transmission pour démultiplier la vitesse de rotation du moteur, comme c'est le cas pour un moteur à combustion interne. Par ailleurs, puisqu'il y a un moteur électrique dans chaque roue, on n'a pas besoin non plus de différentiel pour y distribuer convenablement la puissance; on peut le faire électroniquement, par logiciel.

La deuxième raison expliquant l'économie d'essence est reliée au fait que le générateur de bord, à essence, fonctionne toujours à un régime constant optimal, là où il consomme le moins. Les appels de puissance des moteurs électriques sont pris en charge par la batterie, qui débite plus ou moins de courant selon les commandes du conducteur. En fait, le moteur-générateur à essence est beaucoup plus petit que le moteur à essence qui devrait équiper un véhicule conventionnel du même poids. C'est là une autre raison pour la faible consommation.

Par ailleurs, les moteurs électriques peuvent récupérer l'énergie de freinage et l'envoyer sous forme d'électricité dans les batteries. C'est ce qu'on appelle le *freinage régénératif*, qui s'explique par la possibilité qu'ont les moteurs électriques d'agir comme générateurs lorsqu'on les fait fonctionner à l'envers. En fait, les aimants induisent des courants dans les bobinages du stator, et lorsqu'on contrôle convenablement la séquence des courants dans les trois bobinages, ces courants ralentissent les aimants et freinent la rotation des roues (**épisode 2-10, et le volume 3**). Les courants induits vont alors recharger les batteries, ce qui diminue la consommation d'essence. Cette diminution est de l'ordre de 10% pour les véhicules hybrides actuellement sur le marché.

Enfin, le fait que les moteurs électriques ne consomment pas d'électricité lorsque le véhicule est arrêté permet d'économiser environ 10% d'essence de plus.

À la suite de cette percée technologique, **Hydro-Québec** a mis sur pied une filiale, **Technologies M4 inc. (TM4)** (www.tech-m4.com), afin de poursuivre la recherche et le développement, et de prendre en charge la commercialisation.

Fonctionnement du moteur

Le moteur-roue développé par l'équipe de **Pierre Couture** utilise des super-aimants au néodyme et ne comporte pas de balais. Son principe de fonctionnement ressemble un peu à celui du petit moteur de ventilateur de l'**épisode 2-28**, mais en beaucoup plus sophistiqué [5, 6].

C'est l'arrivée sur le marché des *super-aimants* au néodyme dans les années 1980 (**épisode 1-14, volume 1**) qui a ouvert la porte à la réalisation de super-moteurs semblables, à un prix abordable.

Mais, pour obtenir des moteurs puissants à aimants permanents sans balais (**épisode 2-28**), il a aussi fallu développer et perfectionner ce qu'on appelle l'*électronique de puissance*, afin de conditionner électroniquement les forts courants requis. Des progrès considérables dans ce domaine ont été réalisés dans les années 1990, notamment par l'équipe du Docteur **Couture**.

Pour qu'un moteur à aimants permanents sans balais, comme celui de la **figure 3 de l'épisode précédent**, puisse fonctionner, il faut que les pôles

magnétiques du stator changent en synchronisme avec le passage des aimants du rotor. En fait, on peut considérer que le champ magnétique du stator, comme sur la **figure 4 de l'épisode 2-28**, tourne par à-coups pour suivre les aimants.

Dans le moteur-roue du **GTC**, pour éliminer les à-coups, on inverse moins brusquement le courant dans les enroulements, à l'aide de courants alternatifs sinusoïdaux. En imbriquant judicieusement sur le stator trois bobinages parcourus chacun par un courant sinusoïdal convenablement décalé par rapport aux deux autres, on arrive à faire tourner le champ magnétique de façon continue.

Afin d'accommoder la vitesse de rotation du moteur-roue, il faut alimenter les bobinages du stator avec des courants alternatifs à fréquence variable. Pour ce faire, on envoie le courant continu d'une batterie dans des *convertisseurs électroniques* qui, eux, produisent le courant alternatif sinusoïdal à la fréquence désirée.

Les forces produites par les moteurs pour faire avancer le véhicule peuvent être variées en ajustant l'intensité du courant dans le stator.

Par ailleurs, pour augmenter la performance de ces moteurs, on a intérêt à augmenter le nombre d'aimants sur le rotor. Or, ceci exige de mesurer très précisément la position du rotor, en tout temps, pour piloter correctement l'électronique. On doit donc développer de nouveaux capteurs sans contact précis, rapides et robustes pour effectuer cette tâche.



Le Whisper est un autobus hybride expérimental de la compagnie e-Traction, mû par deux moteurs-roues à l'arrière, alimentés par des batteries. Celles-ci sont rechargées à l'aide d'un générateur diesel de 50 kW à bord du véhicule, ou sur le réseau électrique. Il peut rouler une heure en mode purement électrique et consomme trois fois moins de carburant (gracieuseté de e-Traction).



Extrait du livre:

Sur la route de l'électricité 2. LES PILES ÉLECTRIQUES ET L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

Pierre Langlois, Éditions MultiMondes, 2006, 128 p. ISBN 2-89544-086-7 24,95 \$ Can

© Tous droits réservés – POUR USAGE PRIVÉ SEULEMENT

Renseignements: <http://www.multim.com> ou multimondes@multim.com

Site de l'auteur: <http://www.planglois-pca.com>

D'autres moteurs-roues

Le concept des moteurs-roues alimentés par une batterie et un générateur a été validé récemment par plusieurs compagnies indépendantes, dont **General Dynamics** (États-Unis) et **e-Traction** (Pays-Bas).

Cette dernière (www.e-traction.com) a mis au point un autobus hybride (**figure 5**) avec deux moteurs-roues de 120 kW chacun. Les deux moteurs consomment ensemble 650 Wh par kilomètre, en ville. Cet autobus, appelé *Whisper*, est équipé d'un générateur diesel de 50 kW pour recharger sa batterie Li-ion de 35 kWh. Cette dernière peut également être rechargée sur le secteur, et permet de rouler une heure en mode purement électrique. Le *Whisper* performe de façon exceptionnelle sur le plan de la consommation. Selon des tests effectués en 2004, cet autobus consomme environ *trois fois moins de carburant* qu'un autobus diesel conventionnel de même calibre, lorsque seul le générateur diesel recharge les batteries! Il faut dire que les autobus conventionnels sont, au départ, moins efficaces que les automobiles, en raison de leur basse vitesse et des arrêts fréquents.

La compagnie **General Dynamics Land Systems** (www.gdls.com), de son côté, a mis au point le **RST-V** (*Reconnaissance, Surveillance and Targeting Vehicle*) pour la marine américaine (**figure 6**). Ce véhicule militaire hybride, introduit en 2004, est muni d'un moteur électrique de 50 kW dans chacune de ses quatre roues, alimenté par un générateur diesel de 110 kW et une batterie de 20 kWh. Il n'est pas conçu pour être rechargé sur le secteur et **ne consomme que 42% de l'essence** utilisée par un véhicule équivalent muni d'un moteur conventionnel [7]. Le **RST-V** hybride peut fonctionner sur une distance de 32 kilomètres en mode purement électrique, dans lequel cas son silence et sa faible signature thermique en font un véhicule difficile à détecter. De plus, il présente des performances supérieures puisqu'il accélère deux fois plus vite qu'un véhicule conventionnel de même catégorie!

Mitsubishi travaille également sur le moteur-roue avec sa technologie MIEV (pour *Mitsubishi In-wheel Motor Electric Vehicle*). On compte intégrer cette technologie, accompagnée de



Le RST-V de General Dynamics, dévoilé en 2004, est muni de quatre moteurs-roues et d'un générateur diesel. Sa consommation est moins de la moitié de celle d'un véhicule conventionnel du même calibre (gracieuseté de General Dynamics Land Systems).

batteries Li-ion, dans des véhicules électriques commerciaux vers 2010.

General Motors s'intéresse aussi aux moteurs-roues. En 2003, elle a équipé un camion *Chevrolet S-10* de deux moteurs-roues de 25 kilowatts chacun à l'arrière et d'un moteur électrique central de 70 kilowatts à l'avant. Le modèle électrique du camion a battu le modèle conventionnel dans une course d'un quart de mille. **GM** prévoit introduire cette technologie sur le marché vers 2010.

Voitures hybrides commerciales

La première voiture hybride commerciale à avoir été mise sur le marché, en 1997, est la **Toyota Prius**, suivie en 2000 par la *Civic* hybride de **Honda** et la **Ford Escape** hybride en 2004. Ces voitures hybrides sont dites à *prépondérance thermique*, car c'est leur moteur thermique (à essence) qui fait le gros du travail. Il est assisté par un moteur électrique central qui prend la relève à très basse vitesse, là où les moteurs thermiques sont très peu efficaces. Le moteur électrique permet également d'augmenter la puissance de traction lorsque c'est nécessaire. Le freinage régénératif fait également partie de leur équipement, mais on ne peut pas, pour le moment, recharger la batterie sur le réseau. Leur autonomie en mode purement électrique n'est que de un à deux kilomètres.

Cette configuration leur donne une économie d'essence d'environ 30%. La modestie de cette économie traduit le

fait qu'on n'a pas éliminé les pièces mécaniques entre le moteur et les roues, et que le moteur thermique ne fonctionne pas toujours à son régime optimal.

On comprendra, à la lueur de ce que nous avons vu avec le **GTC**, que les automobiles hybrides commerciales actuelles ne sont qu'un premier pas dans la bonne direction.

La Cleanova

Un pas de plus dans la bonne direction est en cours à la **Société des Véhicules Électriques (SVE)** de France. Cette société, formée par les groupes **Dassault** et **Heuliez**, a mis au point le système *Cleanova*® (**figure 7**, www.cleanova.com). Ce système de traction électrique (qui existe également en version hybride à dominante électrique, c'est-à-dire avec un prolongateur d'autonomie) est équipé d'un moteur de la société **TM4**, la filiale d'**Hydro-Québec**. Rappelons que c'est à l'*Institut de recherche d'Hydro-Québec* qu'a été développé le **GTC**.

Les premiers véhicules équipés de ce système devraient être commercialisés en 2007, et faire jusqu'à 200 km en ville en mode électrique pur, grâce à un moteur central à aimants permanents de 35 kW et à sa batterie Li-ion de 25 kWh qu'on peut recharger sur le réseau. Dans la version hybride à dominante électrique, un générateur électrique de 15 kW, intégré dans le moteur **TM4** (MoGen) et couplé au moteur thermique, peut également recharger la batterie et prolonger l'autonomie du véhicule à environ 450 km. Le générateur peut également

Extrait du livre :

Sur la route de l'électricité 2. LES PILES ÉLECTRIQUES ET L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE
Pierre Langlois, Éditions MultiMondes, 2006, 128 p. ISBN 2-89544-086-7 24,95 \$ Can

© Tous droits réservés – POUR USAGE PRIVÉ SEULEMENT

Renseignements: <http://www.multim.com> ou multimondes@multim.com

Site de l'auteur: <http://www.planglois-pca.com>



fonctionner en mode moteur et assister le moteur principal.

Le système *Cleanova*® consomme environ 150 Wh par kilomètre, ce qui en France représente un coût de 1 euro par 100 km (recharge de nuit), et au Québec (Canada) un coût de 1 dollar canadien par 100 km!

La philosophie derrière le système *Cleanova*® est que les fabricants d'automobiles puissent offrir en option le moteur à essence, le moteur diesel ou le moteur électrique. Cette flexibilité qu'offre un moteur central est toutefois taxée par des performances inférieures à celles des moteurs-roues.

Les « PHEV »

Dans la littérature anglophone, la *Cleanova* est ce qu'on appelle un « PHEV », pour *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*. Nous avons vu que les véhicules hybrides commerciaux actuels ne sont pas des PHEV.

Devant la réticence des fabricants d'automobiles à offrir en option, dans leurs véhicules hybrides, une plus grosse batterie qu'on peut recharger sur le secteur, certaines entreprises l'ont fait elles-mêmes. En 2005, **EnergyCS** a transformé une *Prius 2004* en PHEV, en y ajoutant une batterie Li-ion de 9 kWh (figure 9 de l'épisode 1-13). Il en est de même pour la compagnie **Hymotion** (www.hymotion.com) qui offre la transformation de deux types de véhicules hybrides en PHEV.

La pression sur les fabricants d'automobiles s'accroît de plus en plus pour qu'ils fabriquent des PHEV. Aux États-Unis, l'**Electric Power Research Institute** (<http://my.epri.com>), une corporation à but non lucratif dont les membres représentent 90 % des fournisseurs d'électricité américains, agit comme locomotive pour ce démarchage. En partenariat avec **DaimlerChrysler**, elle a fait construire six fourgonnettes PHEV avec une autonomie de 30 km en mode électrique pur, afin de faire avancer la technologie [1].

Par ailleurs, la ville de Austin, au Texas, vient de mettre sur pied, en janvier 2006, une coalition appelée « *Plug-In Partners* » pour promouvoir les PHEV (www.pluginpartners.org, figure 8). Son but est de faire souscrire 50 villes américaines et plusieurs compagnies possédant des flottes d'automobiles, afin qu'elles transmettent



La *Cleanova II*, construite sur la base d'une *Renault Kangoo*, est offerte en version hybride que l'on peut brancher (gracieuseté de la Société des Véhicules Électriques).

aux fabricants d'automobiles des lettres d'intention pour acheter des PHEV. Ces gens vont également promouvoir la technologie auprès du grand public.

N'oublions pas que le meilleur PHEV demeure un véhicule muni d'un GTC à moteurs-roues.

Surcharge des réseaux ?

On peut se demander quelle surcharge des voitures électriques demanderait au réseau électrique.

En fait, si tous les véhicules fonctionnaient à 90 % sur la recharge de leurs batteries, cela entraînerait une augmentation de la consommation électrique totale d'un pays industrialisé de 5 % à 10 %, sur une période d'environ 20 ans, le temps que la transition se fasse. Cette croissance est donc parfaitement gérable.

Pour cet estimé, nous avons considéré que les véhicules consommeraient 170 Wh/km, et qu'il y aurait

un véhicule pour deux habitants, parcourant 20 000 km par année en mode électrique.

On pourrait récupérer amplement les 5 % à 10 % requis en effectuant une transition vers la géothermie (thermopompes) pour le chauffage et la climatisation des bâtiments.

Il est également possible d'y arriver en construisant une éolienne de 3 megawatts (millions de watts) par 10 000 habitants (figure 9). Par ailleurs, un panneau solaire photovoltaïque personnel de 1000 watts, avec un ensoleillement de huit heures, pourrait générer suffisamment d'électricité pour donner une autonomie d'environ 50 km à une voiture électrique. En 2006, un tel panneau aurait une surface de 3 m × 3 m, donc de 9 m².

Actuellement (2006), pour les endroits où le climat le permet, faire fonctionner sa voiture électrique à l'énergie solaire ne coûterait pas plus cher que faire rouler une voiture conventionnelle à essence. Sans compter que le prix de l'essence monte en flèche, alors que le coût de l'énergie solaire diminue rapidement.

Gaz à effet de serre

On sait qu'une voiture conventionnelle moyenne produit environ 225 grammes de CO₂ par kilomètre [4]. Par ailleurs, les centrales électriques des États-Unis émettent en moyenne 650 grammes de CO₂ par kilowattheure. Celles de



Le logo de la nouvelle coalition américaine pour promouvoir les automobiles électriques hybrides que l'on peut brancher.



Extrait du livre :

Sur la route de l'électricité 2. LES PILES ÉLECTRIQUES ET L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

Pierre Langlois, Éditions MultiMondes, 2006, 128 p. ISBN 2-89544-086-7 24,95 \$ Can

© Tous droits réservés – POUR USAGE PRIVÉ SEULEMENT

Renseignements: <http://www.multim.com> ou multimondes@multim.com

Site de l'auteur: <http://www.planglois-pca.com>

la France en émettent 95 g CO₂/kWh, et celles du Québec, 20 g CO₂/kWh [8]. En considérant qu'une bonne voiture électrique consomme 170 Wh/km, on calcule qu'en rechargeant sa batterie aux États-Unis, elle «émettrait» 2 fois moins de CO₂ qu'une voiture conventionnelle, 13 fois moins en France et 64 fois moins au Québec!

Cette disparité est due aux différents types de centrales [8]. En rechargeant leur batterie avec une centrale au charbon (900 g CO₂/kWh), les voitures électriques «émettraient» 32% moins de CO₂ que des voitures conventionnelles à essence. Avec des centrales au gaz naturel (450 g CO₂/kWh), elles en «émettraient» 3 fois moins; avec des centrales hydroélectriques (20 g CO₂/kWh), 64 fois moins; avec des centrales nucléaires (6 g CO₂/kWh), 212 fois moins, et pratiquement rien avec des éoliennes.

Meilleurs moteurs thermiques

Plusieurs experts pensent qu'il est encore possible de diminuer la consommation des moteurs thermiques de 30% à 50%.

Par exemple, les chercheurs du MIT ont mis au point un reformeur au plasma qui brise les grosses molécules d'essence en molécules plus petites et en hydrogène, avant que l'essence entre dans les cylindres d'un moteur. Il en résulte une meilleure combustion et une économie



9 Cette éolienne de 5 MW pourrait fournir l'électricité nécessaire à 15 000 habitants pour alimenter leurs véhicules électriques hybrides, en utilisant un peu de biocarburant, sans essence ni diesel (photo gracieuseté de RePower Systems AG).

d'essence de l'ordre de 20%, accompagnée d'une pollution très réduite. Ils ont négocié une licence de commercialisation avec la compagnie **ArvinMeritor** (www.arvinmeritor.com) qui prévoit l'introduire sur le marché vers 2008.

Fini le pétrole

Les voitures équipées d'un GTC constituent la solution idéale pour l'automobile du 21^e siècle. Ces voitures fonctionneraient à 90% sur la recharge

de leurs batteries à partir du réseau électrique, et consommeraient, aujourd'hui, 20 fois moins d'essence. Avec des moteurs thermiques de 30% à 50% plus efficaces, les voitures munies de GTC consommeraient 30 à 40 fois moins d'essence! Les biocarburants suffiraient alors à la demande et l'ère du pétrole serait chose du passé (figure 9).

Dans l'épisode 1-12, nous avons vu que les automobiles à piles à combustible (PAC) consomment trois fois plus d'électricité ou 60% plus de gaz naturel que des voitures électriques à batteries (selon la technique de production de l'hydrogène). De plus, faire le plein d'hydrogène dans des voitures à PAC coûterait beaucoup plus cher que recharger les batteries de voitures à GTC, et serait plus polluant.

En plus d'offrir une pollution minimale, les voitures à GTC sont très silencieuses et nécessitent peu d'entretien, car les moteurs-roues n'ont qu'une partie mobile, la roue.

Tout ça sera possible dans le prochain quart de siècle. La technologie est là et elle deviendra compétitive dès que la production atteindra une centaine de milliers d'unités.

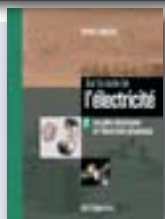
C'est une fantastique révolution qui attend le monde de l'automobile, dans les prochaines années.

Pour en savoir plus

1. *Driving The Solution, The Plug-In Hybrid Vehicle*, Lucy SANNA, *EPRI Journal*, automne 2005, p. 8 à 17. Excellent article avec beaucoup d'informations comparatives des divers types de véhicules sous plusieurs aspects. Téléchargement gratuit sur le site de **Electric Power Research Institute** (EPRI): <http://my.epri.com>.
2. *A Cost Comparison of Fuel-Cell and Battery Electric Vehicles*, Stephen EAVES et James EAVES, *Journal of Power Sources*, vol. 130, p. 208, 2004 (disponible, en format pdf, sur le site de **Modular Energy Devices** à www.modenergy.com/news.html).
3. *La voiture à hydrogène*, B. DESSUS, revue *La Recherche*, octobre 2002, p. 60 à 69.
4. *Questions about a Hydrogen Economy [Do fuel Cells make environmental Sense]*, Matthew L. WALD, *Scientific American*, volume 290, numéro 5, mai 2004, p. 66 à 73.
5. *Moteur-roue électrique*, P. COUTURE et al., brevet canadien n° 2 139 118, obtenu le 17 avril 2001, date de la demande PCT: 6 juillet 1993 (téléchargement gratuit à <http://patents1.ic.gc.ca>).
6. *Machine électrique à courant alternatif polyphasé sans collecteur*, P. COUTURE et B. FRANCOEUR, demande de brevet canadien n° 2 191 128, date de la demande PCT: 15 nov. 1995 (téléchargement: <http://patents1.ic.gc.ca>).
7. *U.S Military Goes For Hybrid Vehicles*, P. FAIRLEY, revue *Spectrum* (IEEE), vol. 41, n° 3, mars 2004, p. 22 à 25.
8. *Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie* (ADEME); www2.ademe.fr. *Energy Information Administration* (EIA); www.eia.doe.gov. Également, introduire «g/kWh» et «CO2» dans un engin de recherche Internet.

Sites Internet

The California Cars Initiative: www.calcars.org. Plug-In Partners: www.pluginpartners.org; EPRI: <http://my.epri.com>; Hymotion: www.hymotion.com. Clean@uto: www.clean-auto.com; Moteur Nature: www.moteurnature.com; Green Car Congress: www.greencarcongress.com; Electric Vehicles UK: www.evuk.co.uk; EV World: www.evworld.com.



Extrait du livre:

Sur la route de l'électricité 2. LES PILES ÉLECTRIQUES ET L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE
Pierre Langlois, Éditions MultiMondes, 2006, 128 p. ISBN 2-89544-086-7 24,95 \$ Can

© Tous droits réservés – POUR USAGE PRIVÉ SEULEMENT

Renseignements: <http://www.multim.com> ou multimondes@multim.com

Site de l'auteur: <http://www.planglois-pca.com>