

Impact des véhicules hybrides sur l'environnement

R. Apter *, **C. Finidori** **, **M. Prähler** **

* Nevcor - 28 Avenue 4 - Marronniers - CH-1400 Yverdon,

** Méditech SARL - Village Entreprises de St-Henri - Av. Anne-Gacon Lot 310 - F-13016 Marseille

Email: robertapt@hotmail.com, meditech@free.fr

Résumé - Les véhicules hybrides sont une des alternatives, actuellement étudiées de véhicules "propres". Nous montrons que les véhicules hybrides:

- permettent par rapport aux véhicules conventionnels des économies de carburant significatives et des émissions considérablement réduites.

- permettent par rapport aux véhicules électriques des émissions plus faibles, contrairement à ce que l'on pourrait penser à priori.

Ces avantages sont obtenus sans pénalité sur le confort, l'autonomie et les performances

Mots clefs - Véhicules hybrides, classification, émissions et consommations.

I. GENERALITES

Un système hybride est par définition composé de deux sources d'énergie différentes, ou plus:

- une unité auxiliaire de puissance: un moteur à combustion ou une pile à combustible et

- un système de propulsion électrique: en général un système d'emmagasinement d'énergie tel que batteries, super capacités, volants d'inertie...

Ces combinaisons, bien choisies, peuvent rendre les véhicules hybrides (HV) jusqu'à 2 fois plus efficaces que les véhicules conventionnels (CV), tout en fournissant des performances et un confort similaires. Elles permettent d'allier les points forts des éléments choisis en évitant dans une large mesure leurs points faibles. Les systèmes hybrides assurent une autonomie comparable aux véhicules avec une motorisation classique (Moteur thermique avec une boîte à vitesses), tout en réduisant les émissions polluantes et les consommations.

Nous considérons ci - dessous la combinaison hybride d'un moteur à combustion interne (ICE), à essence ou diesel avec une batterie. De nombreuses autres combinaisons sont envisageables. Les combinaisons considérées ont l'avantage 'utiliser des éléments bien connus et sont réalisables aujourd'hui.

On distingue deux grandes familles de systèmes d'entraînement hybride:

- L'hybride série (HS). Le moteur à combustion est connecté à une génératrice (GE) qui produit de l'électricité. Cette énergie électrique est emmagasinée ou directement utilisée pour entraîner un ou plusieurs moteurs électriques (ME) qui fournissent la puissance nécessaire pour propulser le système. Les roues sont entraînées par les moteurs électriques.

- L'hybride parallèle (HP). Le moteur à combustion et le système de propulsion électrique sont directement liés aux roues du véhicule. Le moteur à combustion est utilisé à haute vitesse et le système électrique est utilisé comme

appoint pour les accélérations, la récupération et éventuellement sur les côtes et au démarrage.

II. CLASSIFICATION DES VEHICULES HYBRIDES

A) L'hybride série

Ce système produit de l'électricité à bord. Les nombreuses conversions de puissance mécanique électrique dégradent le rendement mais permettent de découpler les roues du moteur thermique. Le HS permet l'utilisation d'électricité pour entraîner le ou les moteurs électriques. Le découplage permet des stratégies de contrôle intéressantes et une optimisation du fonctionnement du moteur thermique.

Le HS permet ainsi d'obtenir des véhicules à émissions faibles, en particulier dans des cycles urbains. Ce système est aussi très bien adapté à un fonctionnement en mode électrique dans les limites de l'autonomie fournie par la batterie choisie. La batterie est relativement coûteuse et lourde, au moins aujourd'hui encore et probablement pour les années à venir et peut pénaliser particulièrement les petits véhicules à bas prix. Elle permet une conduite propre, la récupération de l'énergie au freinage, l'utilisation du moteur thermique dans des conditions optimales.

- Système mono - moteur électrique:

Dans le système mono - moteur électrique ce moteur peut être de type asynchrone ou synchrone (avec ou sans aimants).

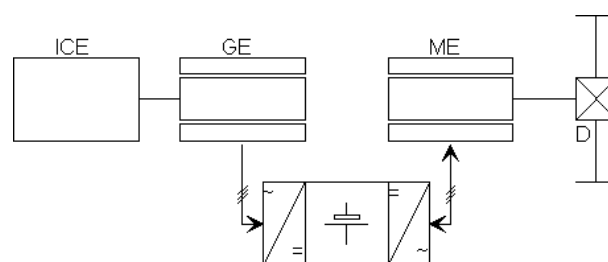


Figure 1. Hybride série mono - moteur

- Système multi - moteur électrique:

La fonction du différentiel mécanique (D) doit être accomplie par les moteurs électriques ou par leur pilotage.

L'utilisation de plusieurs moteurs asynchrones avec une seule source d'alimentation est une solution relativement complexe à mettre en œuvre. La différence des vitesses de rotation en virage fait glisser les moteurs asynchrones par rapport à leur fréquence d'alimentation, et crée donc des pertes additionnelles.

Une alimentation individuelle par moteur (synchrone avec ou sans aimants ou asynchrone) avec une électronique

de pilotage superposée aux électroniques moteurs est une solution simple à mettre en œuvre mais peut être coûteuse. L'électronique de pilotage doit être capable d'assurer le fonctionnement même en cas de défauts sur les onduleurs, ce qui est délicat [1].

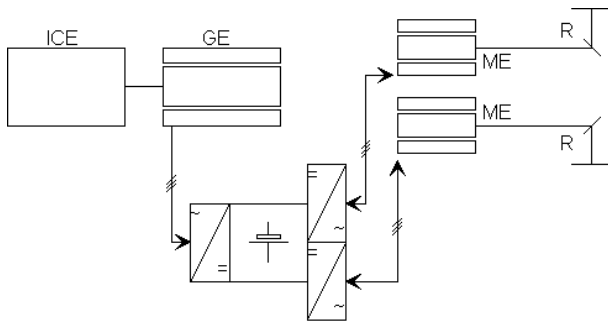


Figure 2. Hybride série multi - moteur

Le rendement du HS est, en général, médiocre sur un cycle complet Européen, US ou Japonais. Il peut être amélioré si les rendements des moteurs électriques sont élevés en traction et en récupération. Le rendement de la batterie, en charge et en décharge, est également important, d'autant plus évidemment, qu'elle est utilisée fréquemment.

L'utilisation fréquente de la batterie permet de réduire les émissions du véhicule souvent au détriment du rendement du système. Toutefois la recharge de batterie au réseau peut donner aussi une énergie à bas prix dans certains pays, surtout si les tarifs de nuits sont utilisés et si les tarifs ne changent pas de façon significative. L'analyse comparative des coûts d'exploitation, lorsque des sources électriques et de combustible sont utilisées, est faite séparément.

Le HS est, en général intéressant pour ses émissions faibles et son utilisation d'énergie électrique. Toutefois la construction du système et son contrôle nécessitent beaucoup de soin pour éviter une détérioration rapide du rendement et des coûts de production sensiblement plus élevés que les véhicules conventionnels, surtout liés au dimensionnement du système électrique avec la batterie.

B) L'hybride parallèle

Dans cette configuration les sources d'énergie primaires, le moteur à combustion et la batterie sont liés directement et séparément aux roues du véhicule.

Le moteur à combustion est utilisé, en général, pour rouler sur route et autoroute, et la batterie fournit un appoint pour les accélérations, la récupération, le ralenti et parfois permet les démarrages. En mode urbain, on peut utiliser un mode électrique seul si la batterie le permet ou un mode hybride mixte si la batterie est plus modeste [2].

Le HP est classifié en:

- HP ou les couples s'additionnent,
- HP ou les vitesses s'additionnent.

La Figure 3 et la Figure 4 donnent des explications de ces terminologies. De nombreuses variations sont réalisables. Toutes ne sont pas nécessairement intéressantes [3].

Dans le système hybride parallèle le moteur thermique et le moteur électrique peuvent agir indépendamment sur la

traction. Dans la plupart des cas le moteur thermique attaque à travers un réducteur ou une boîte à vitesses avec un embrayage (VE) le train de traction. Le moteur électrique sert à assurer certains régimes de pointe en accélération ou la traction à basses vitesses. Ce système peut permettre par rapport au système série une réduction de la taille de la machine électrique et de la batterie.

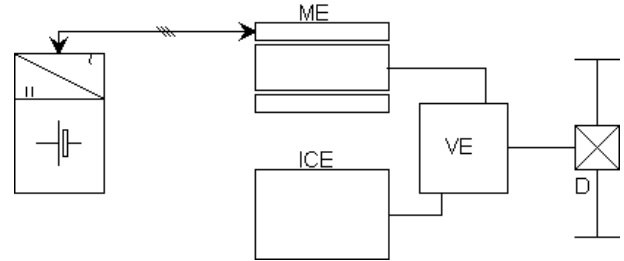


Figure 3. Hybride parallèle

La batterie peut être chargée par inversion du fonctionnement du moteur électrique ou par une génératrice de petite taille. Différentes variantes sont envisageables.

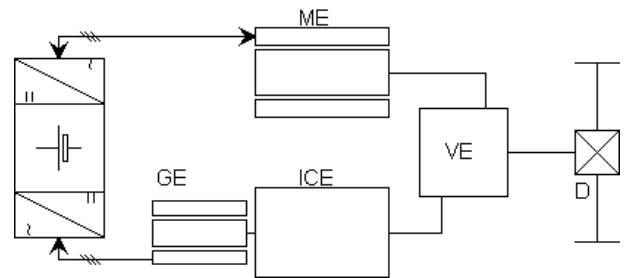


Figure 4. Hybride parallèle avec génératrice

Le HP permet dans sa configuration la plus simple une petite batterie, légère et bon marché. On comprend que l'industrie automobile se soit en majorité orientée vers ce type de véhicule.

Dans sa configuration plus complexe, une grosse batterie et moteurs électriques permettent un mode électrique substantiel.

Le HP donne souvent un très bon rendement à haute vitesse puisque la transmission mécanique est alors optimum. A basse vitesse, le rendement énergétique du système n'est en général pas très bon car le moteur thermique, s'il est utilisé, est lié aux roues et les points de travail ne peuvent pas être choisis de façon optimale. Si le ou les moteurs électriques sont utilisés la situation ne sera pas meilleure. La récupération d'énergie peut améliorer sensiblement cette situation.

Le HP a souvent un bon rendement surtout dans les cycles où les vitesses élevées sont importantes. Les émissions dépendent du moteur thermique et des catalyseurs utilisés.

Des progrès importants ont été faits sur ces sujets ces dernières années qui ont amélioré de façon considérable les émissions des véhicules conventionnels [4].

C) Système hybride série / parallèle

Une construction particulière des HP permet d'obtenir un véhicule hybride parallèle avec des performances optimisées:

- à basse vitesse, comparables aux HS,
- à haute vitesse, comparables aux HP.

Ces systèmes, appelés série - parallèle, sont intéressants puisqu'ils fournissent un optimum. Le premier véhicule hybride sur le marché, la Toyota Prius fait partie de cette catégorie [5], [6]. Les variantes possibles dépendent du dimensionnement de la batterie et du moteur électrique [7]. Dans les cas extrêmes:

- Une petite batterie et un moteur électrique modeste fournissent un support à l'accélération et une récupération éventuellement modeste. Ce système peut être autarcique, ne nécessitant pas de recharge du réseau.

- Une batterie plus importante permet un mode électrique avec recharge au réseau. Ce cas n'est souvent pas favorable car le système comprend alors des poids et des coûts maximums, toutefois il permet un mode électrique substantiel.

En résumé, le système série - parallèle est intéressant. Il permet diverses variantes. Dans le cas avec une petite batterie, petit moteur électrique il est alors autarcique. Il est intéressant de noter que l'utilisation de transmission à rapport variable continu (CVT) permet d'obtenir un confort de conduite tout à fait remarquable. Différents types de CVT sont envisageables. Le CVT électromagnétique permet d'obtenir un rendement favorable [8], [9]

Ce système est caractérisé par la possibilité de fonctionnement en hybride série, hybride parallèle et tous les hybrides intermédiaires. Les différents fonctionnements sont atteints grâce au dispositif du répartiteur de puissances. Nous classifions donc ici ce type de système sous cette forme.

1) *Système avec répartiteur mécanique* : C'est le système qu'utilise actuellement la TOYOTA Prius. Un réducteur planétaire est utilisé ici pour répartir les puissances entre le moteur thermique, la génératrice et le moteur électrique.

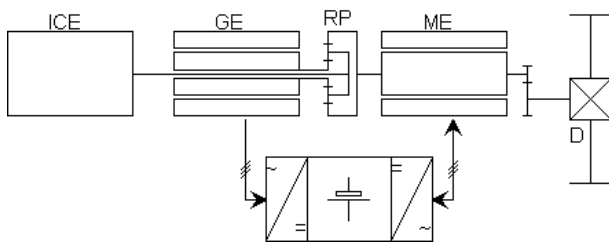


Figure 5. Hybride série - parallèle avec répartiteur mécanique

2) *Système avec répartiteur électrique* : L'idée est de supprimer le répartiteur mécanique et d'assurer sa fonction par une machine électrique spéciale, le transmoteur (TM). Il s'agit une machine où le stator peut tourner et est ici directement accroché à l'arbre de sortie du moteur thermique. L'alimentation du stator se fait à travers un jeu de bagues collectrices [10]

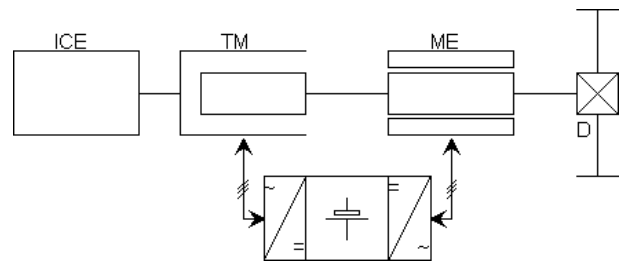


Figure 6. Hybride série - parallèle avec répartiteur électrique

3) *Autres possibilités* : D'autres possibilités ont été étudiées car ce système série - parallèle permet une grande souplesse d'utilisation. De nombreuses alternatives peuvent être construites [11]. L'hybridation permet l'électrification du système d'entraînement à divers degrés. La possibilité d'avoir des systèmes électriques avec des tensions multiples, afin d'obtenir des énergies et des puissances plus élevées qu'aujourd'hui, a soulevé un grand intérêt ces dernières années. Les systèmes incluent la tension standard de 12 V et d'autres plus élevées, en général 36 V, qui permettent de supporter des nouvelles fonctions électriques: pompes électriques, direction assistée électrique, "X-by-wire", contrôle électrique de catalyseur, démarreur - alternateur intégré, nouveau type de contrôle moteur thermique, etc. Les multi - tensions permettent, en fonction des charges requises, d'obtenir de meilleurs rendements. Ces systèmes sont alimentés par une génératrice accouplée au moteur thermique, ce qui permet aussi un démarrage plus silencieux et plus rapide. Le système 36 V autorise aussi le développement de fonctionnalités difficilement réalisables avec 12 V et la réduction significative des courants et des pertes associées. Ces systèmes sont hybrides au sens de la définition, lorsque le système électrique est utilisé pour la traction, le ralenti et / ou la récupération.

III. MOTEURS ET GENERATEURS TOURNANTS ELECTRIQUES

Le cahier des charges idéal des moteurs est: encombrement nul, rendement énergétique 100%, coût nul, souplesse de fonctionnement dans tous les régimes prévisibles normaux ou accidentels pour un véhicule en marche ou à l'arrêt. Le choix des moteurs électriques: induction, aimants permanents, réluctance variable, etc., implique des compromis. Le moteur à induction est robuste et bon marché, le moteur à aimants permanents a, en général, un meilleur rendement mais est plus coûteux. Dans les configurations multi - moteurs les choix sont plus complexes mais restent fondamentalement similaires. Toutefois il faut bien préciser que ces choix doivent suivre les décisions de concept hybride et non les précéder et que les choix de moteurs électriques sont à pondérer avec des problèmes d'architecture véhicule.

A) Compromis

1) *Encombrement* : Il est déjà fonction du nombre de sous - ensembles mécaniques conservés:

- différentiel,
- réducteur et rapport de réduction.

Cela amène à quelques solutions typiques:

- un moteur par roue avec ou sans réducteur incorporé,
- un moteur par essieu,
- un moteur central pour les deux essieux (ou un seul essieu moteur).

La solution hybride parallèle ne permet pas facilement de multiplier le nombre de moteurs.

La solution hybride série se prête plus facilement pour les solutions multi - moteurs.

L'encombrement est aussi fonction du rendement énergétique visé et du coût acceptable. Il n'est pas évident qu'un moteur conçu avec des matériaux "nobles" (Tôles magnétiques à haute perméabilité et faibles pertes, aimants permanents à forte densité d'énergie, etc.) ne sera pas globalement rentable. Il participe en particulier à l'objectif général qui est l'allègement de la batterie.

L'encombrement dans certaines solutions dépend du rapport de réduction adopté. Certains constructeurs envisagent des rapports de réduction de 50000 à 1000 tr/mn, d'autres préconisent une attaque directe des roues motrices à 1000 tr/mn.

2) *Rendement énergétique* : On peut jouer au moment de la conception sur l'adaptation du rendement aux divers cycles de fonctionnement typiques, mais cela est secondaire. Si l'on décide que le rendement énergétique est prioritaire, nous classerons arbitrairement les moteurs suivant notre propre expérience:

Moteurs classiques:

- Moteurs synchrones à aimants.
- Moteurs asynchrones.
- Moteurs à réluctance variable.
- Moteurs à courant continu, à collecteur à lames avec ou sans aimants permanents.

Les moteurs synchrones à aimants exigent des aimants à forte densité d'énergie (Dans la plupart des cas on trouvera des aimants NdFeB). Le prix des aimants permanents n'a pas baissé de façon significative ces dernières années. Ces moteurs sont donc plutôt chers mais peuvent atteindre des rendements maximums d'environ 94% dans les puissances envisagées (10 à 40 kW). Les aimants NdFeB sont sensibles aux températures supérieures à 150° C. Ces moteurs doivent donc être associés à un système de refroidissement adapté.

Moteurs spéciaux:

Une classe particulière semble se développer dans le domaine des machines dites à flux transversal. Ces machines comportent essentiellement une ou plusieurs bobines cylindriques que le flux enlace périodiquement suivant des trajets assez complexes. Dans ce domaine l'utilisation de poudres de fer agglomérées sous forte pression peut être envisagée. Insensibles aux courants de Foucault, ces poudres ont par contre l'inconvénient de pertes par hystérésis. Cependant, une fois résolus les problèmes technologiques particuliers à cette classe de machines, elles pourraient surclasser les moteurs classiques en volume et rendement.

B) Le choix des génératrices

Tous les types de moteurs succinctement décrits ci dessus peuvent être acceptés comme génératrices. Elles ont comme impératifs:

- adaptation au régime du moteur thermique,

- adaptation à la batterie qui lui sert en général de charge.

La solution la plus courante est dans diverses technologies, la génératrice synchrone à aimants permanents associée à un onduleur redresseur. Différentes constructions sont envisageables, similaires aux moteurs électriques. Les génératrices sont souvent montées de façon rigide avec le moteur thermique, et leur encombrement doit être réduit dans la mesure du possible. Le refroidissement est également à considérer avec soin, éventuellement combiné à d'autres éléments du système [12].

C) Exemple de moteur de traction "tandem"

Nous avons développé pour la propulsion électrique des véhicules légers un moteur asynchrone "tandem", en technologie discoïde (flux axial) à deux rotors indépendants (sans liaison mécanique), permettant aux deux arbres de sortie de tourner à des vitesses différentes. La puissance du moteur exemple est de 2 x 15 kW. La Figure 7 donne les dimensions hors tout, et la Figure 8 donne les performances obtenues du moteur tandem.

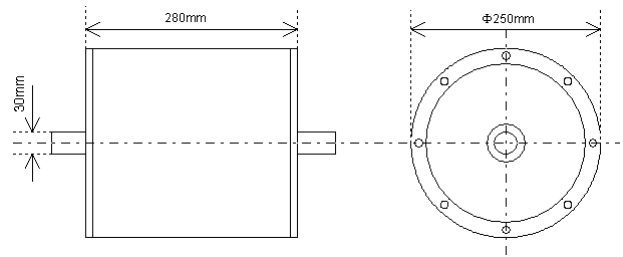


Figure 7. Dimensions hors tout du moteur asynchrone discoïde 2x15 kW

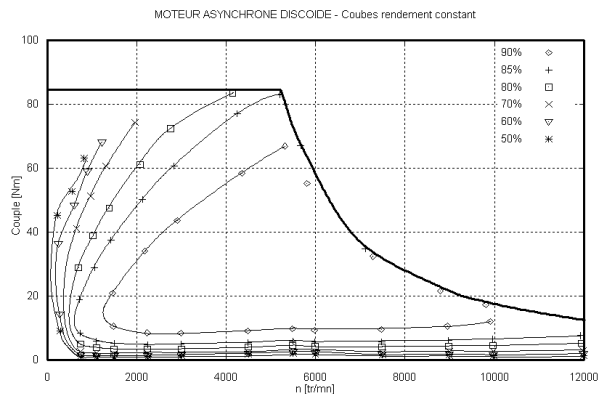


Figure 8. Courbes de rendement constant dans le diagramme couple / vitesse pour le moteur discoïde asynchrone de 2x15 kW

IV. EMISSIONS ET CONSOMMATIONS

Les systèmes purement électriques pour la propulsion ont des difficultés à permettre une autonomie satisfaisante à des vitesses et des coûts acceptables. La situation est d'autant plus inconfortable que l'autonomie est directement proportionnelle à la capacité de la batterie. Les batteries de traction sont des composants coûteux, lourds et volumineux, difficiles à gérer et même parfois problématiques lors d'utilisations soutenues.

Elles offrent toutefois des avantages intéressants notés ci-dessus. Les alternatives telles que super capacités, volants d'inertie présentent aussi de nombreux avantages et inconvénients [13].

Les émissions polluantes d'un véhicule conventionnel sont très importantes lors des démarrages à froid, lors des courts trajets effectués par la majorité des utilisateurs. La Figure 9 [14] donne une statistique américaine représentative de ce comportement. Les comportements européens ne sont pas différents.

La production d'électricité n'est pas sans émissions nocives lorsqu'elle se fait par combustion fossile (en Californie, aux USA, en Allemagne). Il est donc intéressant de comparer les effets de la combustion des carburants avec ceux de la production d'électricité.

La Figure 10 donne des scénarios d'utilisation de véhicules par une "famille typique". La Figure 13 en Annexe donne les hypothèses de calculs correspondants.

La Figure 11 donne une comparaison des émissions à l'échappement de différentes versions de véhicules électriques, hybrides et conventionnels dans ces cas. Il faut noter que l'émission de CO₂ est importante. Cette émission est pratiquement directement proportionnelle à la consommation de carburant. Une consommation importante est liée au phénomène de combustion dans les moteurs thermiques. Les réductions de CO₂ et des autres émissions sont vitales pour notre environnement.

La plupart des véhicules privés circulant sur nos routes roulent d'ordinaire moins de 25 km par jour. Alors que ces véhicules n'effectuent qu'environ 15% de tous les kilomètres parcourus, ils sont responsables de la moitié de tous les démarrages à froid. Ces véhicules polluent donc beaucoup plus que ne le laisserait penser le nombre de kilomètres qu'ils parcourent. Pourtant, en utilisant pour de courtes distances des véhicules fonctionnant à l'électricité, les émissions et la consommation de carburant pourraient être réduite, sinon éliminées.

Le véhicule hybride peut être utilisé pour parcourir les courtes distances au moyen de la batterie. Pour les distances plus longues, il y a la possibilité de faire le plein comme un véhicule conventionnel. Les hybrides produisent moins d'émissions et ont une meilleure consommation que les CV sur les longs trajets et la même quantité d'émissions que les véhicules électriques sur les courtes distances. L'hybride offre le même sentiment de sécurité que le CV en ce qui concerne l'autonomie et la recharge. Sur les longs trajets, une partie peut être effectuée avec l'électricité.

La Figure 12 illustre la possibilité des véhicules tout électrique (BOEV) et véhicules hybrides d'électrifier des kilomètres. La figure montre que pour une autonomie électrique donnée, HV électrifie, en moyenne plus de kilomètres que BOEV.

Cet effet est obtenu:

- Parce que les véhicules électriques ne sont utilisés que dans les limites de leurs autonomies. Au-delà, un CV doit être utilisé (Voir Figure 10).

- Parce que les véhicules hybrides peuvent être utilisés sur tous les trajets. Sur les longs parcours, une partie peut être effectuée avec les batteries rechargées durant la nuit au réseau. Avec la possibilité de recharge, réaliste, durant la

journée, l'électrification serait encore plus importante pour les BOEV et HV. Nous supposons ici que les autonomies électriques BOEV et HV sont similaires.

D'autres modèles peuvent être utilisés, la variété d'utilisation des automobiles est grande, mais les avantages de HV restent réalistes.

V. CONCLUSION

En résumé, le véhicule hybride:

- Permet l'utilisation de nouvelles fonctionnalités électriques ou au moins une utilisation plus rationnelle des systèmes électriques.

- Electrifie des trajets importants.

- Réduit les consommations de carburant par une utilisation plus efficace du moteur thermique, par la récupération, par l'utilisation judicieuse des batteries.

- Réduit les émissions CO₂.

- Réduit les émissions de gaz nocifs: CO, NO_x, H-C-.

- Donne le même sentiment de sécurité concernant l'autonomie que les véhicules conventionnels.

- Donne une autonomie supérieure aux CV et aux BOEV.

- Donne un confort supérieur par l'utilisation de CVT électronique ou électromagnétique.

Les véhicules hybrides comprennent plus de composants que les véhicules conventionnels. Un concept et une construction doivent être recherchés, en fonction des missions requises pour minimiser les coûts, qui bien sûr ne doivent pas dépasser de façon significative ceux des véhicules conventionnels. Les conditions requises pour cela sont analysées séparément.

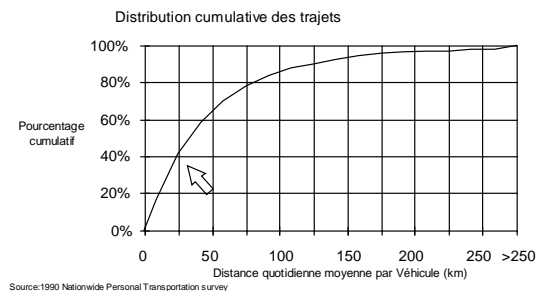


Figure 9. Distribution cumulative des trajets quotidiens personnels (USA)

Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Véhicules conventionnels avancés (ACV)	Véhicules hybrides avancés	Combinaison BOEV/ACV
- Tous les trajets quotidiens sont effectués avec ACVs avec un moteur à combustion.	- La batterie du HV est chargée pendant la nuit à partir du réseau. - Tous les trajets quotidiens avec une distance inférieure à l'autonomie de la batterie sont effectués en utilisant la batterie. - Tous les trajets avec une distance supérieure sont effectués en utilisant la batterie au maximum et le reste en utilisant le mode hybride.	- Le véhicule tout électrique est chargé la nuit à partir du réseau. - Tous les trajets quotidiens avec une distance inférieure à l'autonomie de la batterie du BOEV sont effectués avec celui-ci. - Tous les trajets quotidiens avec une distance supérieure sont effectués avec ACVs avec un moteur à combustion.

Figure 10. Scénarios d'utilisation de véhicules

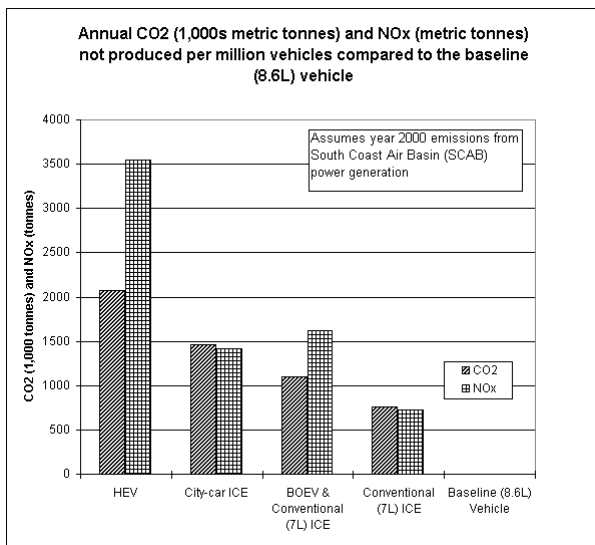


Figure 11. Réduction de CO2 et NOx

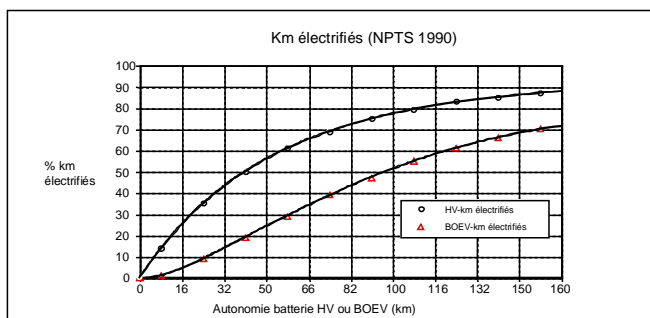


Figure 12. Kilomètres électrifiés

VI. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Arnet B., Jufer M., "Motor short-circuit on vehicles with multiple drives", *EVS 14*, 1998.
- [2] Friedman S. et al., "Potential of series and parallel hybrid vehicles to improve mobility", *Proceeding Conference FISITA*, 1998.
- [3] Anderson C., Petit E., "The effect of APU characteristics on the design of hybrid control strategies for hybrid electric vehicles", *SAE paper 950493*, 1995.
- [4] Reuyl J.S., NEVCOR, "California test case: success or are modifications needed?", *5th Int. Conference on Technologies and Combustion for a Clean Environment*, Lisbon, Portugal, July 1999.
- [5] Nagasaki A. et al., "Development of the hybrid/battery ECU for the Toyota hybrid system", *SAE paper 981122*, 1998.
- [6] Sasaki S. et al., "Toyota's newly developed electric-gasoline engine hybrid powertrain", *EVS 14*, 1998.
- [7] Yamaguchi K. et al., "Development of a new hybrid system. Dual system", *SAE paper 960231*, 1996.
- [8] Kriegler W. et al., "Mechanische oder elektrische CVTs, ein Ausblick", *VDI-Bericht 1418*, p.525, 1998.
- [9] Mayrhofer J. et al., "A hybrid drive based on a structure variable arrangement", *EVS 12*, p. 189, 1994.
- [10] Moore S., M. Ehsani et al. "A charge sustaining HEV application of the transmutor", *SAE paper 1999-01-0919*, 1999.
- [11] Schmidt M., "Input-split, parallel, hybrid transmission", *US-patent 5,558,588*, 1996.
- [12] Apter R., "Automobile with cooling device for IC-engine", *European patent 835,989*, 1998.
- [13] Kasuge N. et al., "Ultra-capacitor and battery hybrid EV with high efficiency battery load levelign system", *EVS 14*, 1998.
- [14] Reuyl J.S., NEVCOR, "Policy implications of hybrid-electric vehicels", April 22, 1996.

VII. ANNEXE

Typical Family, Annual Auto Use

Constants and input parameters used in the simulations:

The typical family travels annually the trips as shown in table 1:

Table 1 - Travel Statistics, km

	Daily	Weekly	Annual
M - F	25	125	6250
Saturday	150	150	7500
Sunday	150	150	7500
Total			21250

0.72 kg/L, Density of gasoline
0.84 Mass fraction of carbon in gasoline
2.2176 kg/L CO ₂ from gasoline
0.0467 g/kWh NO _x , average SCAB utility emissions in year 2000
0.60 g/kWh CO ₂ , average SCAB utility emissions in year 2000
0.90 efficiency of recharging HEV/BOEV from electric utility

The parameters of the City-car, HEV, BOEV or conventional ICE used by the typical family are shown in Table 2:

Table 2 - Vehicle Parameters

Vehicle	Energy Efficiency		NO _x Emissions, g/km			Vehicle Parameters	
	El. Eff., kWh/km	Fuel Eff., L/km	Engine NO _x	Cat. Eff.	Tailpipe NO _x	Bat. Range, km	Fuel Cap., l
BOEV	0.15	0	-	-	0.0070	91.0	0.0
HEV	0.15	0.04	2.59	0.99	0.0259	27.0	30.0
City-car ICE	0	0.055	2.36	0.95	0.1180	0.0	30.0
Conventional (7L) ICE	0	0.07	3.00	0.95	0.1502	0.0	40.0
Baseline (8.6L) ICE	0	0.086	3.69	0.95	0.1846	0.0	50.0

The resulting annual total travel (km), energy use and emissions in each scenario for the typical family are shown in Table 3:

Table 3 - Total Travel, Energy Use and Emissions

Scenario	Annual Total Travel, km, using:		Total Annual Energy Use		Total Annual Emissions		
	Electricity	Fuel	Electricity, kWh	Fuel, L	CO ₂ , kg	Carbon, kg	NO _x , g
HEV	8950	12300	1476.8	492	1981	540	381
City-car ICE	0	21250	0	1169	2592	707	2509
BOEV & Conventional (7L) ICE	6250	15000	1031.3	1050	2950	805	2297
Conventional (7L) ICE	0	21250	0	1488	3299	900	3193
Baseline (8.6L) ICE	0	21250	0	1828	4053	1105	3922

Table 4 shows the results were the vehicles of Table 3 to substitute for 1% (1 million vehicles) in the US passenger car fleet.

Table 4 - Emissions Reductions from the City-car CV and HEV Vehicles Compared to the Baseline (8.6L) Vehicle

Scenario (1M Vehicles)	CO ₂ , kg(10E6)	NO _x , kg(10E3)
HEV	2072	3541
City-car ICE	1461	1414
BOEV & Conventional (7L) ICE	1103	1625
Conventional (7L) ICE	754	730
Baseline (8.6L) Vehicle	0	0

Typical Family, Annual Auto Use

Notes:

- [1] Annual auto travel (see Table 1) assumes that there is no auto use for two (2) weeks each year.
- [2] HEV Scenario: HEV travels all 21250 km; first 27 km each day are on electricity, remaining travel that day is on fuels.
- [3] ICE Scenarios: ICE travels all 21250 km on fuel
- [4] BOEV & ICE Scenario: BOEV travels on all M - F travel (i.e., daily travel of 91 km or less) on electricity, ICE using fuel used on all Saturday and Sunday travel (i.e., travel of 91 km or more)
- [5] Energy efficiency assumptions for City-car ICE, HEV, BOEV and conventional ICE.
- [6] City-car ICE and HEV Engine-out NO_x scaled from NEFZ simulations.
- [7] Catalytic Converter efficiency is estimated and biased in favor of the City-car ICE and conventional ICE.
- [8] Electric utility CO₂ and NO_x based upon South Coast Air Basin (SCAB) average utility emissions.
- [9] BOEV battery range scaled from NEFZ simulations using future 17 kWh Zebra battery discharged to 80 % DOD.
- [10] HEV battery range based upon 5 kWh Horizon battery pack discharged to 80 % DOD.
- [11] The baseline 8.6L vehicle represents the average new passenger car sold in 1996 in the US market.
- [12] Table 4 is generated by subtracting the emissions produced by each vehicle type from the emissions produced by the baseline (8.6L) vehicle.

Figure 13. Utilisation de véhicules par une "famille typique"