

Les véhicules hybrides

SOMMAIRE

1	Introduction.....	172
2	Technologies disponibles et évaluations de l'ADEME.....	173
3	Descriptif sommaire des véhicules évalués.....	176
3.1	Bus Mercedes Cito.....	176
3.1.1	<i>Descriptif général</i>	176
3.1.2	<i>Modes de fonctionnement</i>	176
3.2	Bus Neoplan N6108.....	178
3.2.1	<i>Descriptif général</i>	178
3.2.2	<i>Modes de fonctionnement du véhicule</i>	179
3.3	Bus Soffitrans Horus.....	180
3.4	Le trolley-bus.....	180
4	Lexique des technologies pour l'hybridation.....	181
4.1	Supercondensateur.....	182
4.2	Volant d'inertie.....	183
4.3	Batterie.....	183
4.4	L'accumulateur hydraulique.....	184
5	Pour en savoir plus.....	185

1 Introduction

L'utilisation de l'électricité comme énergie de propulsion des véhicules routiers offre de nombreux agréments aux niveaux environnemental (absence de pollution sur site, réduction du bruit), énergétique et technique (robustesse et performances énergétiques des moteurs). Les véhicules à traction électrique pure sont cependant handicapés par le stockage de l'énergie par batteries. Ces dernières sont onéreuses, encombrantes et nécessitent des temps de recharge longs pour une faible autonomie. L'intégration de l'énergie électrique pour la traction des véhicules ne peut cependant se faire, compte tenu de l'état des technologies actuelles, de manière exclusive, c'est-à-dire sans avoir recours à l'énergie thermique.

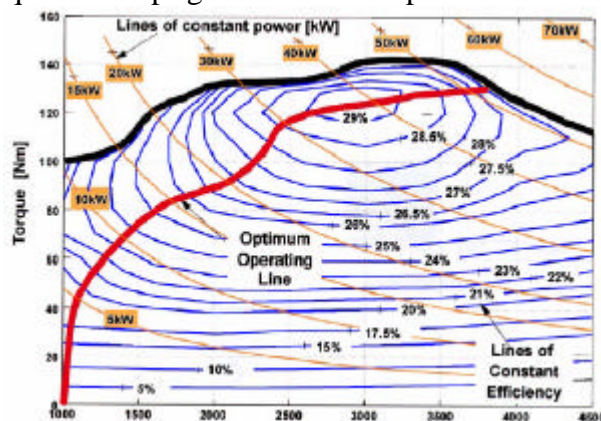
L'hybridation consiste à associer dans le véhicule une motorisation thermique et une motorisation électrique. La traction électrique permettant, par la dérivation d'une fraction de la puissance fournie et le stockage de l'énergie dans les batteries, de découpler la puissance demandée par le véhicule de celle fournie par le moteur thermique. Le fonctionnement en mode électrique seul est parfois possible en zone urbaine dense. La mise en œuvre des systèmes hybrides présente l'avantage de ne pas nécessiter d'infrastructures d'approvisionnement spécifiques.

Il existe différentes architectures. Elles présentent les potentialités suivantes :

- une baisse des émissions polluantes par le choix d'une motorisation thermique plus petite ainsi que par des conditions de fonctionnement plus favorables à la mise en œuvre d'un post-traitement ;
- une baisse de la consommation par un accroissement du rendement de fonctionnement de ces véhicules. Cette dernière potentialité sera plus difficile à concrétiser car elle nécessite une optimisation de l'ensemble des organes du véhicule pour une utilisation en mode hybride.

Les conditions d'exploitation des autobus sont caractérisées par une demande énergétique du véhicule très variable au cours du temps (transitoires sévères, peu de vitesses stabilisées, ainsi que de très longues périodes de ralenti). Ces conditions sont très défavorables au fonctionnement et au rendement du moteur thermique, généralement optimisé pour des régimes constants et de fortes charges. Ces conditions font que les consommations des autobus sont généralement nettement plus élevées (50 litres au 100 kilomètres) que celles des camions de même tonnage (25 litres au 100 kilomètres en moyenne), opérant en conditions plus fluides. L'électrification de la chaîne de traction présente donc deux intérêts principaux :

- utiliser les rendements élevés (et peu dépendants des conditions d'usage) que possèdent les moteurs électriques mais il faudra veiller à limiter l'augmentation de masse liée aux batteries, au moteur électrique et au commande de puissance ;
- utiliser le moteur thermique dans sa plage de rendement optimum.



Il apparaît naturel d'essayer de coupler les avantages des deux solutions, en faisant cohabiter les deux énergies au sein d'un même véhicule. Dans ce secteur, des recherches ont été activement menées depuis ces dernières années et plusieurs solutions technologiques ont été proposées. Cependant, cette filière, qui présente sans doute le potentiel le plus élevée en termes de gains énergétiques, est celle qui détient la plus faible quantité de véhicules en circulation.

Les constructeurs travaillent actuellement sur des projets de recherche ou d'optimisation, dont certains sont financés par l'ADEME dans le cadre du PREDIT. Les versions industrielles seront commercialisées d'ici 2 à 3 ans, sachant que des versions prototypes sont actuellement en circulation.

L'usage des véhicules de transport en commun urbain est caractérisé par des arrêts fréquents et des vitesses faibles. Il apparaît que l'on peut distinguer les quatre phases suivantes (Source F.Badin, INRETS) :

- accélérations, généralement à la capacité maximum du véhicule, donc mettant en œuvre des puissances importantes ;
- paliers, qui seront caractérisés par des puissances très faibles ;
- décélérations, avec un niveau de puissance initiale important ;
- arrêts, ceux-ci peuvent représenter jusqu'à 30 à 50 % du temps total, la puissance mise en jeu correspondant alors uniquement à l'alimentation des accessoires.

Ces usages sont caractérisés par des très grandes variations dans la puissance nécessaire au mouvement. Il apparaît que la puissance moyenne nécessaire à la propulsion du véhicule ne dépasse pas 30 à 35 % de la puissance maximum mise en jeu.

Si l'on considère les énergies mises en jeu, pour des véhicules de masse élevée, évoluant à faible vitesse, il apparaît que l'inertie représente une part importante de l'énergie nécessaire au mouvement. Pour des véhicules équipés d'une transmission électrique, une part de cette énergie peut être récupérée lors des phases de freinage. Compte tenu des faibles pertes dissipatives, une part très importante du potentiel est récupérable sur les machines. L'efficacité globale de la récupération dépendra alors de la capacité maximum des machines en freinage, de la répartition du freinage sur les essieux, de la capacité de la batterie à accepter la charge et du rendement énergétique de l'ensemble des composants.

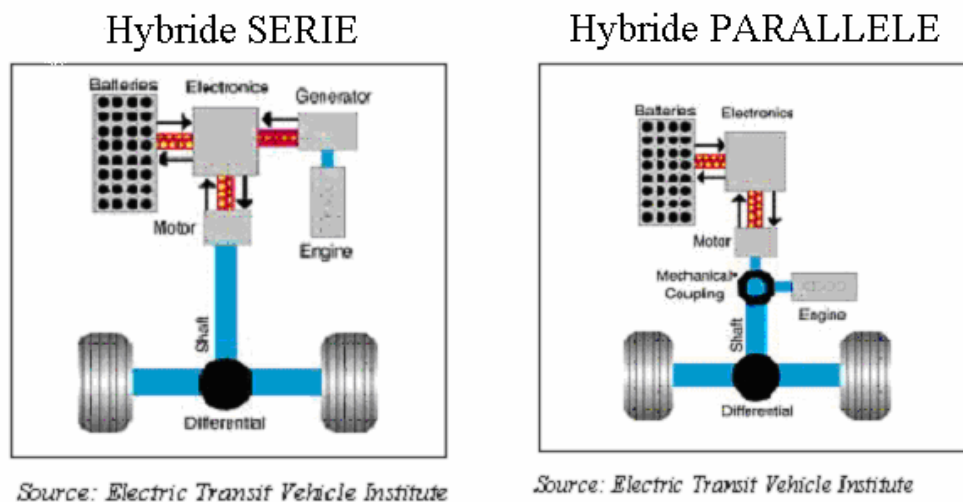
2 Technologies disponibles et évaluations de l'ADEME

Les solutions technologiques sont multiples, tant au niveau de l'architecture (série, parallèle voir schémas ci-dessous) et des organes, que des choix de stratégies :

- organes :
 - stockage énergie : batteries, super capacités, volant d'inertie ;
 - - générateur d'énergie : moteur thermique (tous les carburants sont possibles),
 - pile à combustible ;
- choix de stratégies (en partant du plus simple) :
 - arrêt moteur thermique à l'arrêt (gain ~5 %) ;
 - arrêt + récupération énergie au freinage (~10 %) ;
 - arrêt + récup + *downsizing* moteur et assistance en accélération (~ 20%) ;
 - hybridation totale série ou parallèle (~ 30%).

Nota : Il faut souligner que pour les flottes captives (bus, BOM...), l'hybridation *plug-in*, qui nécessite un chargement de la batterie par une source extérieure (secteur en général), est réalisable, à la différence des véhicules légers (type Prius), qui ne sont pas conçus pour se charger sur le secteur (seul le moteur thermique et l'inertie du véhicule rechargent les batteries).

Dans leur mode de fonctionnement, les motorisations hybrides nécessitent l'utilisation d'un stockage tampon de puissance. Dans la quasi totalité des applications, ce stockage est réalisé par l'intermédiaire d'une batterie. Les spécifications des batteries pour hybride sont totalement différentes de celles définies pour les véhicules électriques pour lesquels la batterie est essentiellement un stockage d'énergie (voir paragraphe 4 *Lexique technologique*).



Par ailleurs, l'hybridation permet, comme il a été indiqué, d'utiliser des systèmes de post-traitement et des carburants alternatifs au gazole comme le GNV, le GPL et les biocarburants. Elle ouvre la voie à la filière hydrogène et pile à combustible (voir chapitre 10 *L'hydrogène et la pile à combustible*). Les motorisations utilisées pour ces systèmes de groupe motopropulseur pourront venir de l'industrie automobile avec des gains économiques grâce au fort volume de cette industrie.

Le bus étant la première application, sur un véhicule lourd, il a été choisi comme support d'évaluation. Ce chapitre détaille les technologies testées par l'ADEME sur trois types d'autobus hybrides, ainsi qu'un aperçu des expérimentations menées sur ces sujets dans le monde.

Les solutions testées par l'ADEME à ce jour sont décrits ci-dessous.

- Le bus diesel électrique Mercedes Cito. Il s'agit d'un véhicule à propulsion Diesel utilisant une chaîne de transmission électrique. Le moteur Diesel n'est pas relié à une boîte de vitesse mais commande un générateur qui alimente le moteur de traction monté sur l'essieu arrière. Sur ce véhicule, il n'existe pas de batterie de stockage de l'énergie électrique. Ce véhicule n'est plus commercialisé en France, il s'agit donc de rappeler les principales conclusions présentées sur le CD ROM *Les bus propres en France* (réf ADEME 4345).
- Le bus Neoplan hybride. Le principe de l'hybridation consiste ici à introduire de l'énergie électrique dans la chaîne de traction et permettre un stockage d'une partie de cette énergie sous forme électrique à bord d'un véhicule utilisant un moteur thermique, permettant ainsi de découpler la demande énergétique du véhicule et la puissance fournie par le moteur thermique Diesel. Une flotte de bus Neoplan est toujours en exploitation à Avignon.

Les bus évalués comportaient, jusqu'en avril 2002, des batteries au plomb. Par la suite, des batteries nickel métal hydrure (NiMH) ont été mises en place.

- Le bus Soffitrans hybride. Le principe est proche du véhicule Neoplan, mais le moteur Diesel est remplacé par une turbine à gaz.

Ces trois solutions présentent (à des degrés divers) l'avantage de permettre un fonctionnement plus régulier du moteur thermique en amortissant les phases transitoires par l'action tampon de la chaîne de traction électrique vis-à-vis de la demande énergétique du véhicule. Ce changement des conditions d'utilisation présente des potentialités de réduction des émissions polluantes par une limitation des transitoires. Une réduction de la consommation est à vérifier, compte tenu de l'augmentation du rendement du groupe motopropulseur et de l'augmentation de la masse (environ +1 000 kg par rapport à la version Diesel équivalente).

Afin d'évaluer les potentialités de ces techniques, un programme d'expérimentation de ces trois autobus a été lancé en 2000. Il porte sur les éléments suivants :

- les émissions polluantes, avec l'influence du vieillissement et des batteries (Pb/NiMH) dans le cas du bus Neoplan ;
- le retour d'expérience relatif au fonctionnement des véhicules et des installations fixes ainsi qu'un aperçu du bilan économique, avec les bus Cito et Neoplan ;
- la consommation de carburant.

Les résultats sont présentés dans le tome 2.

3 Descriptif sommaire des véhicules évalués

3.1 Bus Mercedes Cito

3.1.1 Descriptif général



Le véhicule Mercedes Cito est un autobus de type « Diesel électrique », c'est-à-dire que sa chaîne de traction est constituée (de l'amont à l'aval) d'un moteur thermique, d'une génératrice de courant (dont l'objectif est de transformer l'énergie thermique en énergie électrique) et d'un moteur électrique qui entraîne les roues.

Les batteries qui sont reliées à la génératrice ne servent pas à alimenter le moteur électrique. Il n'existe donc pas de stockage de l'énergie électrique de traction.

Le moteur thermique Euro2 à 4 cylindres, développant 125 KW à 2200 tr/min fonctionne en réalité comme un groupe électrogène. Son fonctionnement est permanent : son régime et sa charge sont commandés électroniquement en fonction de la demande énergétique du véhicule.

3.1.2 Modes de fonctionnement

Pour les phases d'accélération, le régime du moteur Diesel et le couple du moteur électrique sont ajustés en fonction de la consigne du calculateur en agissant sur la pompe à injection pour le moteur Diesel et sur la fréquence du courant pour le moteur électrique. L'électricité produite par la génératrice est de type triphasée. Elle est d'abord transformée en courant continu (600 V), puis en courant alternatif à fréquence variable, avant d'être envoyée au moteur électrique (la variation de cette fréquence permet de faire varier le couple du moteur asynchrone).

Durant les phases de freinage, le moteur électrique fonctionne en générateur qui va fournir du courant lequel pourra être selon les cas :

- soit dissipé dans une résistance électrique, dans le cas d'un freinage modéré ;

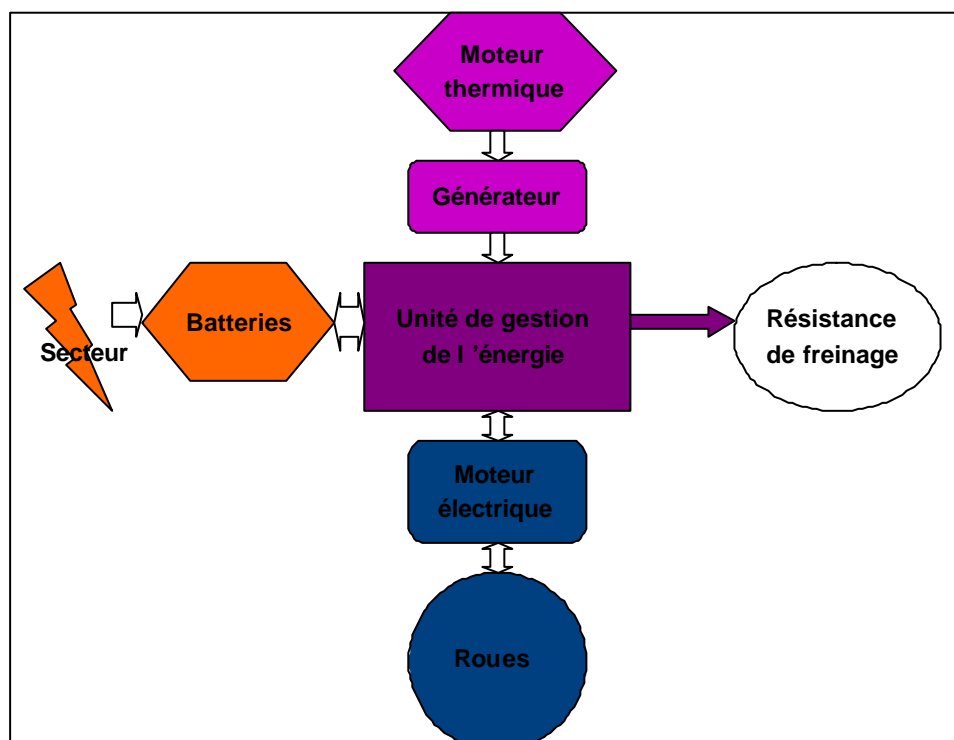
- soit, en cas de freinage brusque, dissipé à la fois par la résistance électrique et par le moteur thermique qui fera office de frein via la génératrice.

3.2 Bus Neoplan N6108

3.2.1 Descriptif général



Le bus Neoplan N6108 est un véhicule hybride de type « série », c'est-à-dire que sa chaîne de traction est constituée (de l'amont à l'aval) par un moteur thermique, une génératrice de courant, une unité de gestion de l'énergie, des batteries de stockage de l'énergie électrique, des résistances de dissipation de l'énergie et un moteur de traction électrique. Le schéma de principe est présenté sur le graphique ci dessous :



Le moteur thermique est un 4 cylindres en ligne IVECO Diesel de 2,8 litres de cylindrée. Il est équipé d'un catalyseur d'oxydation, le turbo est refroidi par eau. Il développe 122 ch à 3600 tr/min. Ce moteur thermique ne présente pas un rendement optimum, le choix d'un moteur issu de l'automobile aurait été plus judicieux.

La traction électrique est assurée par deux moteurs asynchrones développant chacun 45 kW sous 400 V (60 kW maxi). Le générateur électrique est un alternateur asynchrone de 90 kW. Les batteries sont du type Plomb (VHB/HAWKER Energie type Génésis EP 70). Le rack est constitué de 24 modules de 12 volts. La capacité nominale est de 70 Ah. L'énergie nominale est de 20,2 kWh. Après juin 2002, des batteries NiMH ont été mises en œuvre.

3.2.2 Modes de fonctionnement du véhicule

On distingue trois modes principaux de fonctionnement.

- Le mode électrique : ce mode présente l'avantage de permettre un fonctionnement du véhicule sans émission locale. Dans ce cas, l'énergie de traction provient des batteries. Afin de préserver l'autonomie, la vitesse est limitée à 60 km/h.
- Les modes hybrides : les flux énergétiques diffèrent selon les conditions d'usage.
- Pour des fortes sollicitations, l'énergie de traction fournie aux moteurs électriques provient à la fois des batteries et du moteur thermique via le générateur. Pour les phases de démarrage, les batteries sont fortement sollicitées.
- Pour les sollicitations moyennes (vitesse constantes sur plat), l'énergie fournie par le moteur thermique est distribuée (selon les conditions de fonctionnement) entre les batteries (qui sont rechargées) et les roues.
- En phase de freinage, une partie de l'énergie mécanique des roues est récupérée. Cette énergie vient s'ajouter à l'énergie fournie par le moteur thermique pour recharger par les batteries.
- Mode recharge nocturne : les batteries sont rechargées durant la nuit par connexion au secteur. Neoplan a mis en œuvre sur ces bus une connexion originale sur le secteur qui permet aussi, à l'aide d'une double prise, de recharger les batteries et de se connecter via une ligne téléphonique au centre technique en Allemagne pour transférer toutes les nuits, de façon confidentielle, les données techniques de bus hybrides.

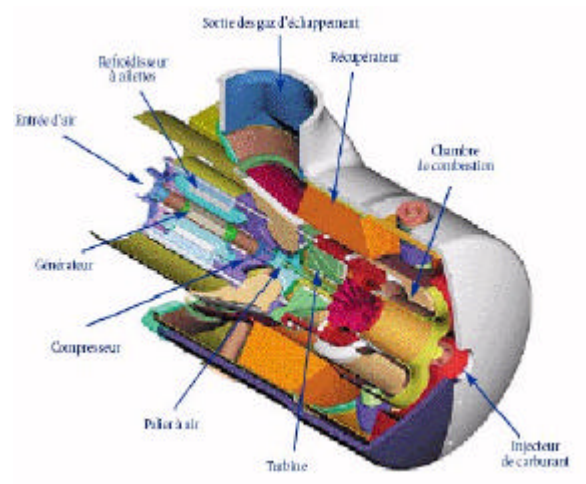
Gestion des batteries et du moteur thermique.

Cette gestion est contrôlée par l'état de charge des batteries :

- pour un état de charge des batteries comprise entre 80 % et 100 %, l'autobus fonctionne en mode électrique;
- pour un état de charge comprise entre 55 % et 80 %, l'autobus fonctionne en mode hybride, avec une limitation du régime du moteur thermique (mode H1);
- pour un état de charge inférieur à 55 %, l'autobus fonctionne en mode hybride, sans limitation du régime du moteur thermique (mode H2).

À noter que le véhicule se met en mode défaut pour un état de charge inférieur à 20 %.

3.3 Bus Soffitrans Horus



Le bus Horus est un véhicule hybride de type « série », sa chaîne de traction est constituée de l'amont à l'aval par une turbine, une génératrice de courant, une unité de gestion de l'énergie, des batteries de stockage de l'énergie électrique, des résistances de dissipation de l'énergie et un moteur de traction électrique. Le schéma de principe est présenté sur la page précédente.

Le système de traction est fabriqué par Enova system (US Electricar), dimensionné pour 60 kW en continu et 120 kW en pic. Le moteur triphasé délivre donc 60 kW et 650 mN. Les batteries sont de technologie Plomb-Gel (tension 336 V, 180 Ah, 56 monoblocs de 6V-180 Ah). Le véhicule peut se charger sur le secteur.

Pour plus de détail, voir <http://www soffimat.fr/soffitrans/bus.php>.

3.4 Le trolley-bus

Le trolley-bus présente, avec le bus hybride ou électrique, certains organes communs. Ainsi, le trolley peut également utiliser des systèmes de stockage d'énergie pour passer des carrefours non équipés de câbles électriques. Les caractéristiques principales sont : une durée de vie élevée (de l'ordre de 20 ans), un investissement supérieur (de l'ordre de 500 kEuros) – voir le chapitre 1 *Introduction* du Tome 1 qui présente un comparatif bus Diesel / trolley (réalisé par www.tbush.org.uk).



www.transbus.org

4 Lexique des technologies pour l'hybridation

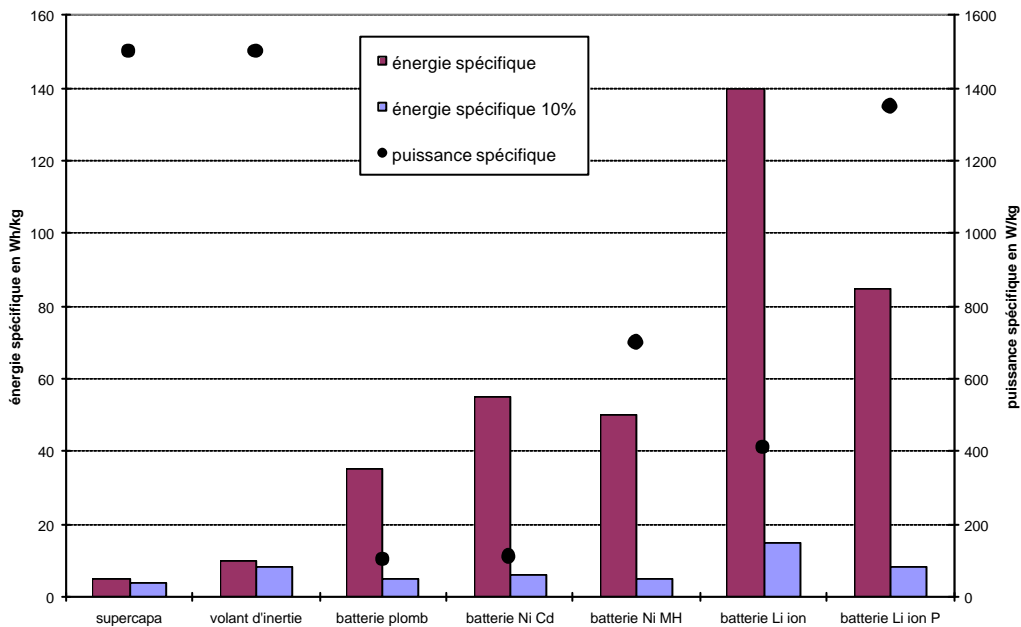
Sont présentées ci-dessous de façon succincte les différentes technologies disponibles pour l'hybridation pour stocker l'énergie : condensateur, batterie, volant d'inertie et accumulateur hydraulique.

Caractéristiques	Supercondensateur	Batterie
Énergie spécifique (Wh/kg)	1 à 10	20 à 100
Puissance spécifique (kW/kg)	0,5 à 10	0,05 à 0,2
Durée de vie (cycles)	> 100 000	500 à 2000
Durée de décharge nominale	1 à 30 sec	0,3 à 3 heures
Durée de charge nominale	1 à 30 sec	1 à 5 heures

Source *Etat de l'art sur les supercondensateurs*, INRETS/VALEO

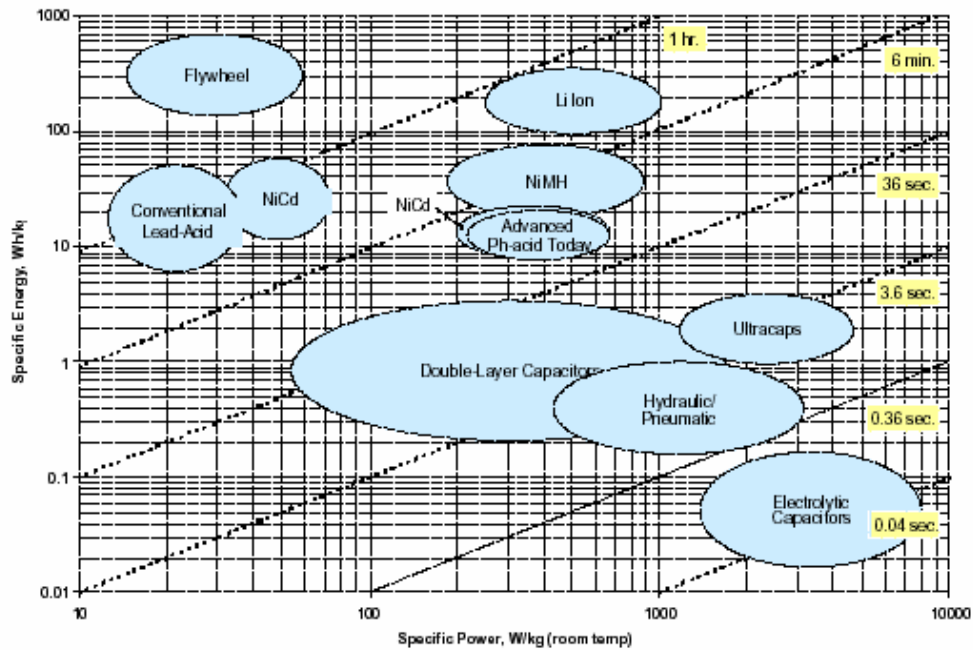
Le graphique ci-dessous compare les technologies en tenant compte de la durée de vie. Pour les batteries, la décharge ne doit pas excéder 10 % de la capacité nominale, alors que pour les condensateurs, la décharge pourrait s'effectuer à 75 % de la charge à tension nominale. On constate que le seuil de 10 Wh/kg est une valeur compétitive avec les possibilités des batteries.

Ces batteries vont par ailleurs cycliser sur une faible amplitude de profondeur de décharge, ce qui est nécessaire afin d'obtenir un bon compromis dans les performances en décharge et en charge, ainsi qu'une grande durée de vie.



Source *État de l'art sur les supercondensateurs*, INRETS/VALEO

Une autre représentation permet d'intégrer le temps de décharge de l'accumulateur.



Source Global Insight, Alternative Powertrain 2004

4.1 Supercondensateur

C'est une technologie qui offre un compromis forte puissance/durée de vie/faible maintenance intéressant. Le supercondensateur se comporte plutôt comme un réservoir de puissance que d'énergie. La puissance maxi est de l'ordre de 100 kW. Lors d'un ralentissement d'un véhicule de 10 m/s à 0, avec une décélération de 1 m/s², une supercapacité permettra de stocker entre 10 et 20 kW. Une supercapacité de 180 kJ pèse environ 60 kg. Il est envisageable d'entraîner une climatisation électrique avec deux supercapacités.

Nissan Diesel commercialise le premier poids lourd hybride parallèle utilisant des supercapacités. Ces supercapacités ont été testées sur un bus expérimental en juin 2000. Ce bus utilise un moteur fonctionnant au GNV avec un cycle Miller (<http://perso.club-internet.fr/pboursin/pdgmote3.htm#mmiller>, voir papier SAE 2002 4666 et 2002 4451). Sur le poids lourd, le moteur thermique de 4,6 litres est complété par un moteur électrique et des supercapacités de 1 310 Wh pour une masse de 194 kg. Nissan Diesel annonce 50 % de réduction de consommations par rapport à un Diesel classique. Ce supercondensateur est fabriqué par Ageo au Japon.

MAN développe un bus muni de supercapacités en utilisation à Nuremberg depuis 1998, voir le site avec un film de présentation : <http://mis.mn.man.de/pg003926.htm>. La réduction de consommation est de l'ordre de 10 %. Le bus est équipé de 288 supercapacités fabriquées par EPCOS de 2700F-2,3V, capables de délivrer 100 kW en 11 secondes, ce qui est suffisant pour démarrer le bus. Le surcoût de 20 000 euros est amorti en quelques années.



Les supercondensateurs permettent d'optimiser le freinage récupératif. Ce type de fonctionnement demande des cyclages en puissance et en profondeur, incompatibles avec les technologies des batteries actuelles, tout en assurant une durée de vie convenable. Par contre, compte tenu de leurs faibles capacités en énergie, le domaine privilégié semble être le *mild hybrid*, la version *full hybrid* nécessitant un stockage important d'énergie (batterie). Le couplage batterie/supercapacitéq peut, si les conditions économiques le permettent par des effets d'échelle, s'avérer être une solution performante sur tous les points.

4.2 Volant d'inertie

Peu d'application bus existent avec un volant d'inertie. Le projet Phileas est un bus hybride, mis en service à Eindhoven en 2004, qui utilise un volant d'inertie de 300 kW de puissance et 4 kWh d'énergie, en remplacement de batteries NiMH utilisées précédemment.



Le volant d'inertie utilisé (EMAFER *Electro Mechanical Accumulator For Energy Re-use*) est réalisé par CCM qui développe des produits depuis 1986. Les applications sont les bus, tramways et trains.

Global Insight, dans son étude sur les solutions alternatives (Alternative Powertrain Technology for HDV), donne un coût pour application bus de l'ordre de 150 à 2 000 \$/kWh.

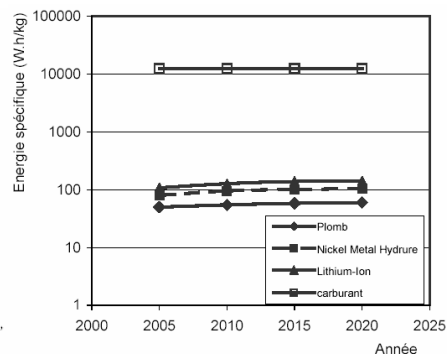
Aux USA, AFS Trinity Inc. développe des produits pour application véhicules lourds

4.3 Batterie

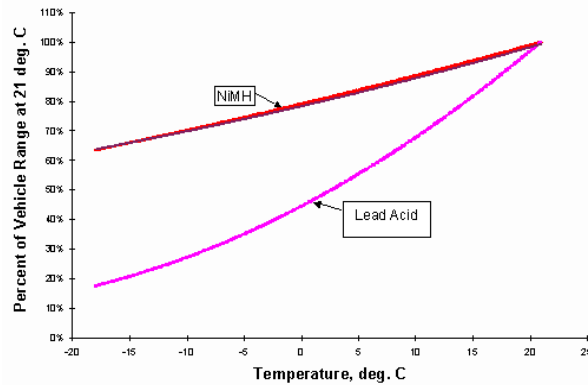
Les informations ci-dessous comparent les caractéristiques des couples principaux (également le tableau ci-dessus) et l'influence de la température. Pour information est aussi indiquée l'énergie spécifique des carburants liquides actuels (de l'ordre de 10 000 Wh/kg).

Battery Mfgr/Types	Energy Density (Wh/kg)	Power Density (W/kg)	Life Cycles per battery
Advanced Lead Acid	48	150	800
GM Ovonic NiMH	70	220	>600
SAFT NiMH	70	150	1500
SAFT Lithium Ion	120	230	600
Lithium Polymer	150	350	<600
Zebra Sodium-Nickel Chloride	86	150	<1000
USABC Short-Term Goals	86	150	600
USABC Long-Term Goals	200	400	1000

Source: US Department Of Energy, "Electric Bus Batteries," DOE Fields Program, 2002, available at http://ev.inel.gov/fop/general_info/battery.html



Source IFP²



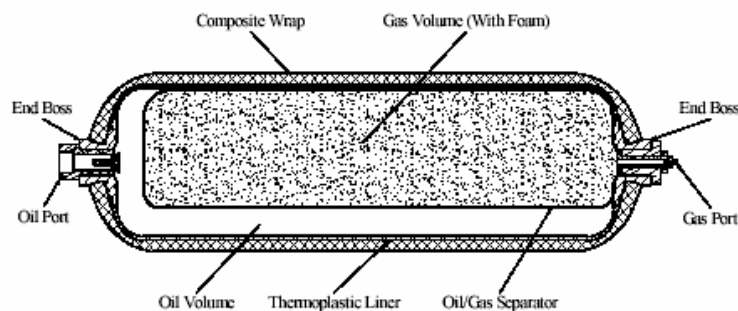
Il est rappelé que les spécifications des batteries pour hybride sont tout à fait différentes de celles définies pour les véhicules électriques, pour lesquels la batterie est essentiellement un stockage d'énergie. A titre d'exemple, pour le minibus électrique Oréos de Ponticelli, la batterie contient une énergie nominale de plus de 70 kWh mais n'est pas utilisée à plus de 100 W/kg (1 350 kg de batterie NiCd de 140 Ah nominal pour un véhicule de 9 m). Par ailleurs, cette batterie est utilisée sur une très grande plage de profondeur de décharge, de 0 à 80 %.

Par opposition, les batteries utilisées pour des véhicules hybrides devront posséder d'excellentes performances en puissance, tant pour la décharge (fournir rapidement de la puissance pour accélérer) que pour la charge (récupération au freinage). Les bus hybrides Orion VI, en test à New York (voir les expériences internationales), possèdent, par exemple, une batterie au plomb ne contenant pas plus de 47 kWh nominal pour un 12 m, la batterie pouvant fournir des puissances spécifiques de l'ordre de 400 W/kg.

Les retours d'expérience concernant le vieillissement des batteries en usage réel sont peu nombreux pour les bus et des doutes subsistent quant à la longévité de la batterie en usage réel. Ce point est capital car il conditionne en partie le succès commercial qui est la clef de la diffusion des transmissions innovantes. En conséquence, les pouvoirs publics français ont mis sur pieds, dans le cadre du PREDIT, un programme d'évaluation du vieillissement des accumulateurs de puissance, pour des véhicules de transport en commun urbains hybrides ou bi-modes (programme SIVTHEC) (source F.Badin, INRETS).

4.4 L'accumulateur hydraulique

Il permet, à l'aide d'une pompe, de mettre en pression un fluide (généralement un gaz comprimé par de l'huile), lors de la décélération du véhicule. Le fluide sous pression peut restituer cette énergie grâce à la pompe (pression maxi de l'ordre de 350 bar éprouvé à 1 050 bar). Un accumulateur permet de stocker de la puissance et peu d'énergie.



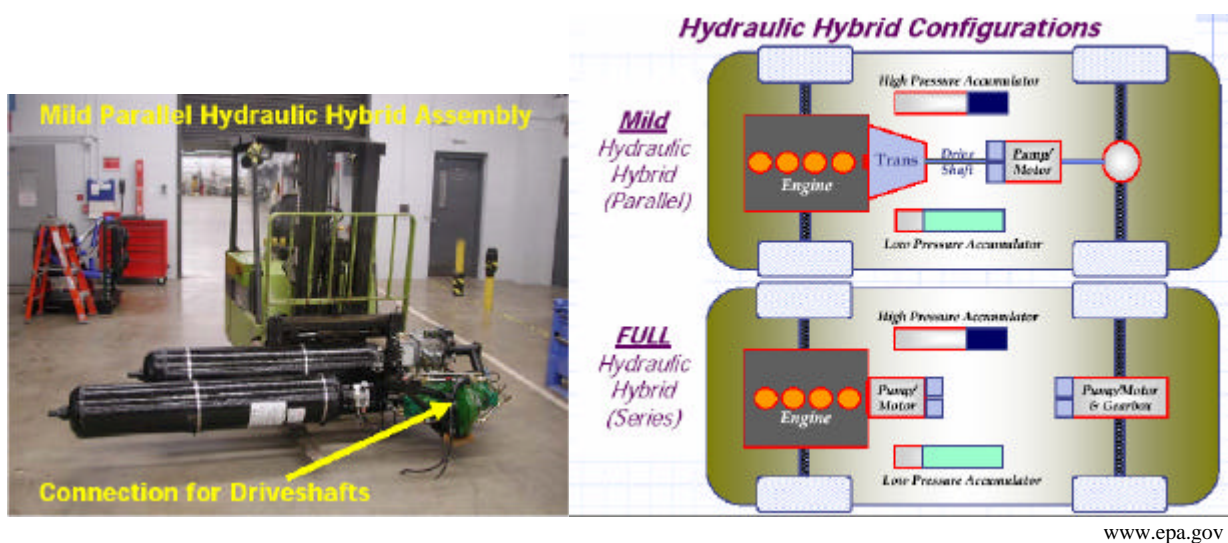
Quelques véhicules circulent, notamment aux États-Unis, avec ce système... (voir :

www.eaton.com, <http://www.epa.gov/otaq/technology/420f04024.pdf>,

<http://www.epa.gov/air/caaac/mstrs/kargul-06-04.pdf>, et rapport d'avancement des travaux de l'EPA :

<http://www.epa.gov/otaq/reports/adv-tech/420r04002.pdf>).

Les principaux inconvénients sont les suivants : masse (+20 à 30 kg pour un SUV), sécurité, temps de réponse. Mais IEPA a réalisé plusieurs véhicules (SUV) de démonstration avec des hybridations plus ou moins poussées qui présentent des résultats intéressants en terme de réduction de la consommation et a déposé des brevets associés. Un poids lourd de livraison de marchandises en ville est également prévu.



5 Pour en savoir plus

Les constructeurs :

- www.man.fr
- www.man-mn.com/en/Innovation_%26_Kompetenz/Alternative_drive_systems/Alternative_drive_systems.jsp
- www.neoplan.de
- www.evobus.com
- www.soffimat.com
- www.gruau.com

Véhicules hybrides :

- www.inrets.com
- www.ifp.fr