

**Séminaire Stockage
d'Énergie Électrique
Embarquée**

**9 décembre
2010**



Walter Lhomme

Maître de Conférences à l'Université Lille 1

STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE POUR VÉHICULES ÉLECTRIQUES ET HYBRIDES



« Présentation »

- 1. Introduction : Généralités sur les VEs et VEHs**
- 2. Le stockage de l'énergie électrique**
- 3. Le stockage électrique mixte**
- 4. Exemple de systèmes existants**
- 5. Conclusion : Challenges à relever**

Séminaire Stockage d'Énergie Électrique Embarquée

9 décembre
2010



GENERALITES SUR LES VEs ET VEHs



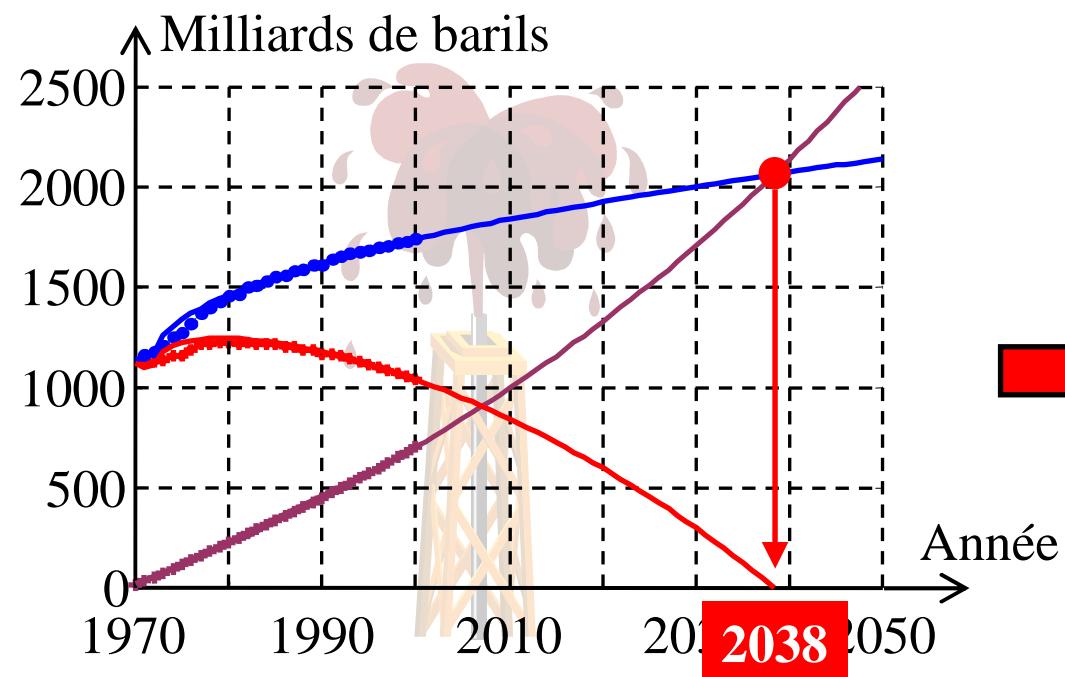
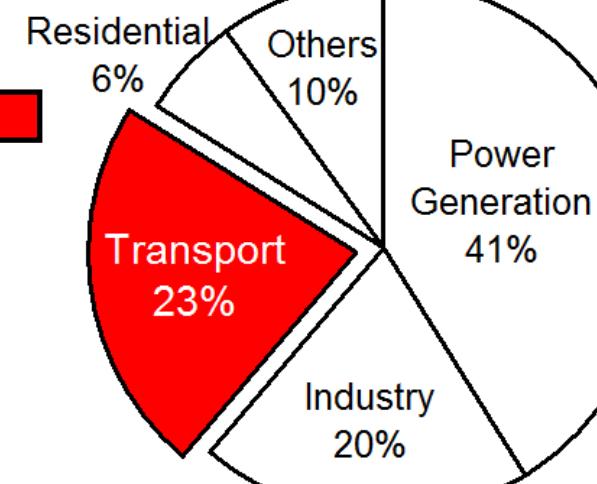
« Contexte sociétal »

Source : Energy Information Administration
"International Energy Annual 2009"

Émission CO2



Nécessité de véhicules plus « propres »



Nécessité de véhicules consommant moins

« Généralités sur les VEs et VEHs »

Défis pour les transports d'aujourd'hui



Émission de CO2 (gaz à effet de serre)

→ *Impact climatique*

Émission de gaz polluants

→ *Santé publique*

Épuisement des ressources

→ *Sécurité énergétique*

Transports du futur



Plus sûrs

Originaux

Plus économiques

Plus rapides



Plus écologiques

Source : Thèse de Keyu Chen, REM et Structure de Commande communes pour différents VEHs, Université Lille 1, mai 2010

« Généralités sur les VEs et VEHs »

Défis pour les transports d'aujourd'hui



- Émission de CO2 (gaz à effet de serre)
 - *Impact climatique*
- Émission de gaz polluants
 - *Santé publique*
- Épuisement des ressources
 - *Sécurité énergétique*

Options possibles pour automobiles

Véhicules à pétrole

Véhicules à batterie

Véhicules à gaz naturel

Véhicules à pile à combustible

...

Source : Thèse de Keyu Chen, REM et Structure de Commande communes pour différents VEHs, Université Lille 1, mai 2010

« Généralités sur les VEs et VEHs »

Défis pour les transports d'aujourd'hui

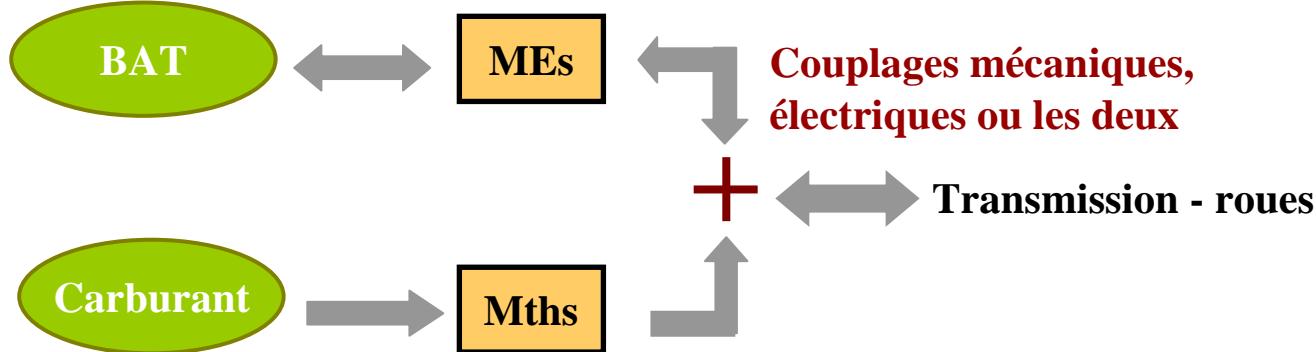


Émission de CO2 (gaz à effet de serre) **Meilleur rendement**
→ *Impact climatique*

Émission de gaz à effet de serre **Moins de pollution**
→ *Santé publique*

Economie de carburant **Épuisement des ressources**
→ *Sécurité énergétique*

Véhicules Hybrides Electriques (VHEs)



Source : Thèse de Keyu Chen, REM et Structure de Commande communes pour différents VEHs, Université Lille 1, mai 2010

Séminaire Stockage d'Énergie Électrique Embarquée

9 décembre
2010



LE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE



« Le stockage de l'énergie électrique »

- L'électricité est une énergie secondaire obtenue par la transformation d'une énergie primaire au moyen d'une ou plusieurs transformations
- Le stockage doit donc être réalisé à partir d'autres types d'énergie :
 - ✓ *chimique* : **batterie**
 - ✓ *statique* : **supercondensateur**
 - ✓ *mécanique* : **volant d'inertie**
 - ✓ *magnétique* : **inductif supraconducteur**
 - cryogénie (résistance de l'inductance nulle)
 - ✓ *air comprimé* : **bouteilles d'air comprimé**
 - rendement faible (30% - compression et détente)
 - ✓ *carburant* : **pile à combustible**
 - coût
 - rendement faible (< 50 % - périphériques : approvisionnement, refroidissement, contrôle et régulation)

« Le stockage électrochimique : la batterie »

Battery system	NiCd	NiMH	Li-ion
Average operating voltage (V)	1.2	1.2	3.6
Energy density (Wh/l)	90 – 150	160 – 310	200 – 280
Specific energy (Wh/Kg)	30 – 60	50 – 90	90 – 115
Self-discharge rate (%/month) at 20°C	10 – 20	20 – 30	1 – 10
Cycle life	300 – 700	300 – 600	500 – 1000
Temperature range (°C)	–20 – 50	–20 – 50	–20 – 50

Source : Battery Management Systems, Philips Research, 2008, Volume 9, 1-9, DOI: 10.1007/978-1-4020-6945-1_1

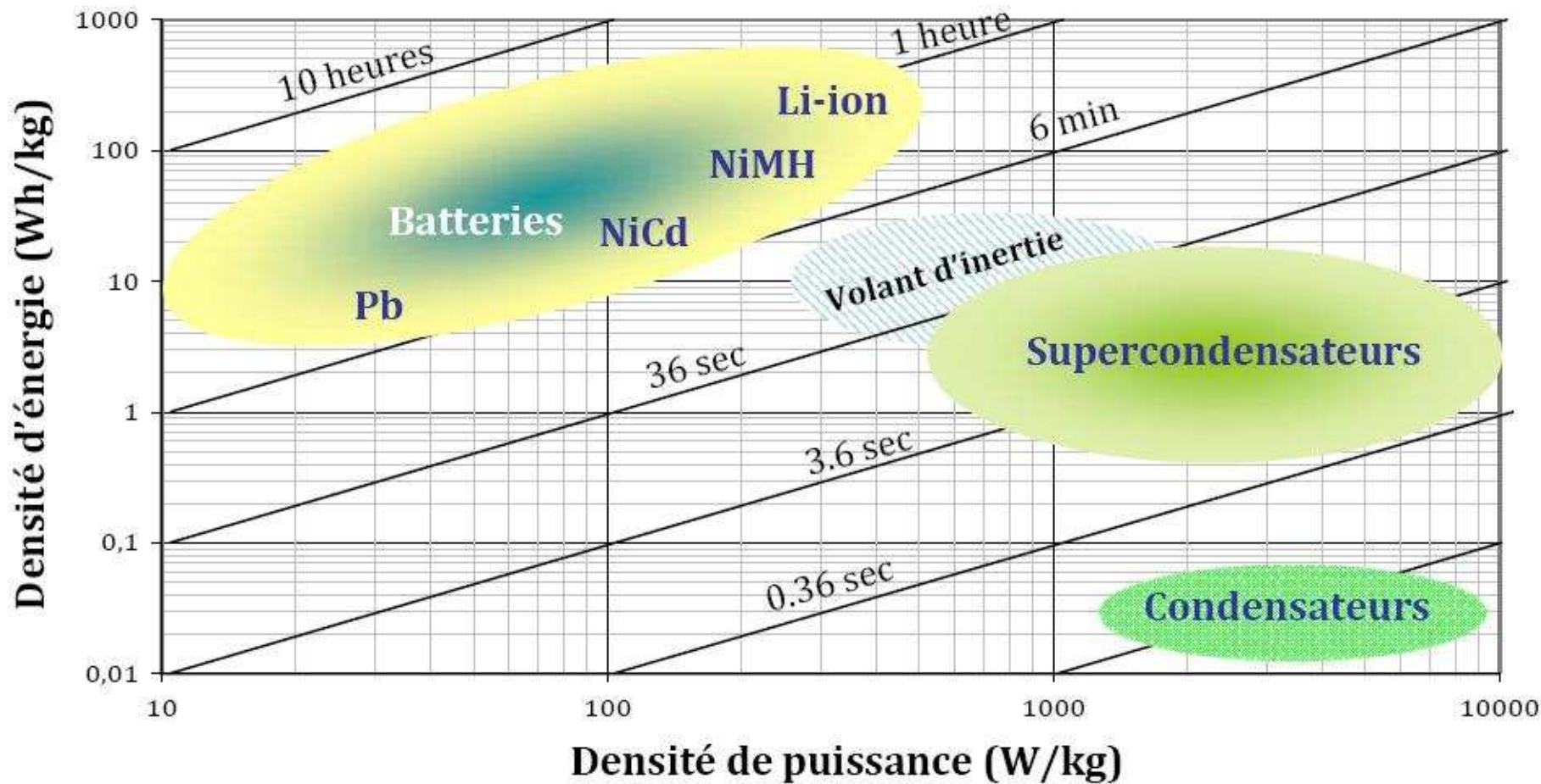
Densité énergétique volumique des carburants d'hydrocarbures :
- essence ou gasoil **≈ 10 000 Wh/litre**

« Le stockage électrostatique : le supercondensateur »



Cond. Electrolytique	ECDL	ECDL	ECDL	LiPo
10mF/250V	10F/2.5 V	140F/2.5 V	310F/2.5V	3 cellules serie
W=312J	W=31J	W=437J	W=968J	W=28.7kJ

« Comparaison : le diagramme de Ragone »



Source : Thèse de Cossi Rockys Akli, Conception systémique d'une locomotive hybride autonome, Université de Toulouse, juin 2008

« Comparaison (suite) »

BATTERIE

Haute énergie massique
Faible puissance massique
Taux de décharge limité
Temps de recharge long
>30mn
Pas de récupération
de l'énergie de freinage
Durée de vie limitée 5/7 ans

VOLANT

Énergie massique moyenne
Puissance massique moyenne
Temps de recharge moyen
80-120s
Récupération
de l'énergie de freinage
Durée de vie 30 ans
Sécurité de fonctionnement
à garantir

SUPERCAP

Faible énergie massique
Très forte puissance massique
Temps de recharge court
<30s
Récupération
de l'énergie de freinage
Durée de vie 20 ans ?
Performances en croissance

Source : Marc Debruyne (ALSTOM), l'AGV et trains du futur, Journée du club EEA, Lille, mars 2009

Séminaire Stockage d'Énergie Électrique Embarquée

9 décembre
2010

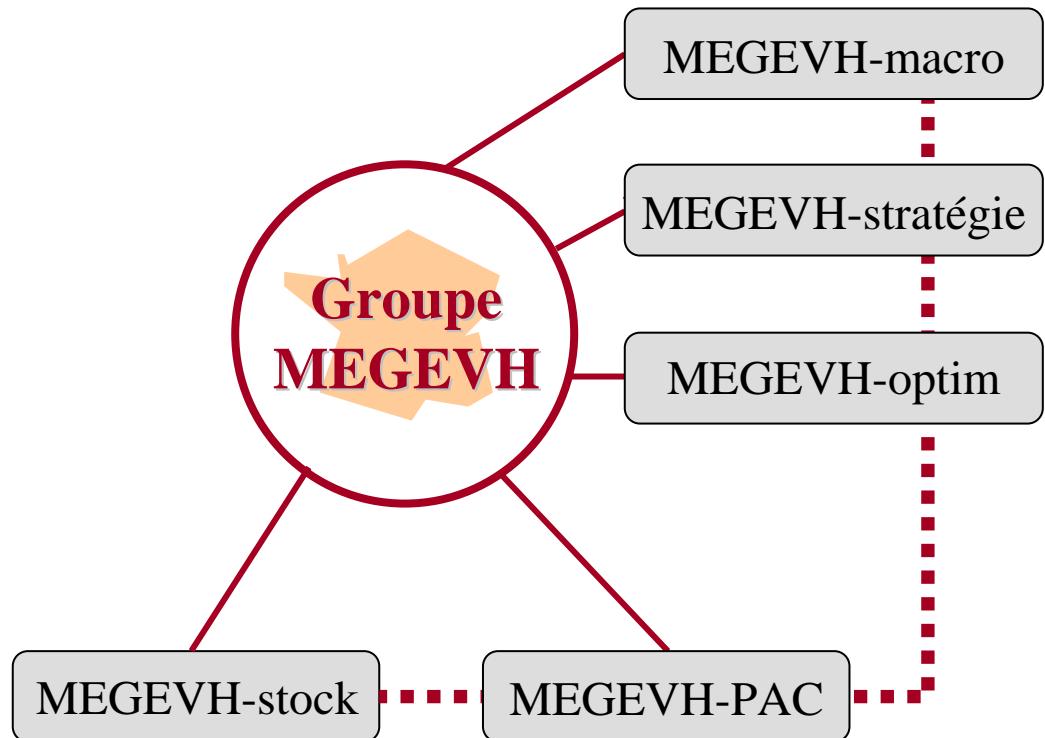


LE STOCKAGE ELECTRIQUE MIXTE

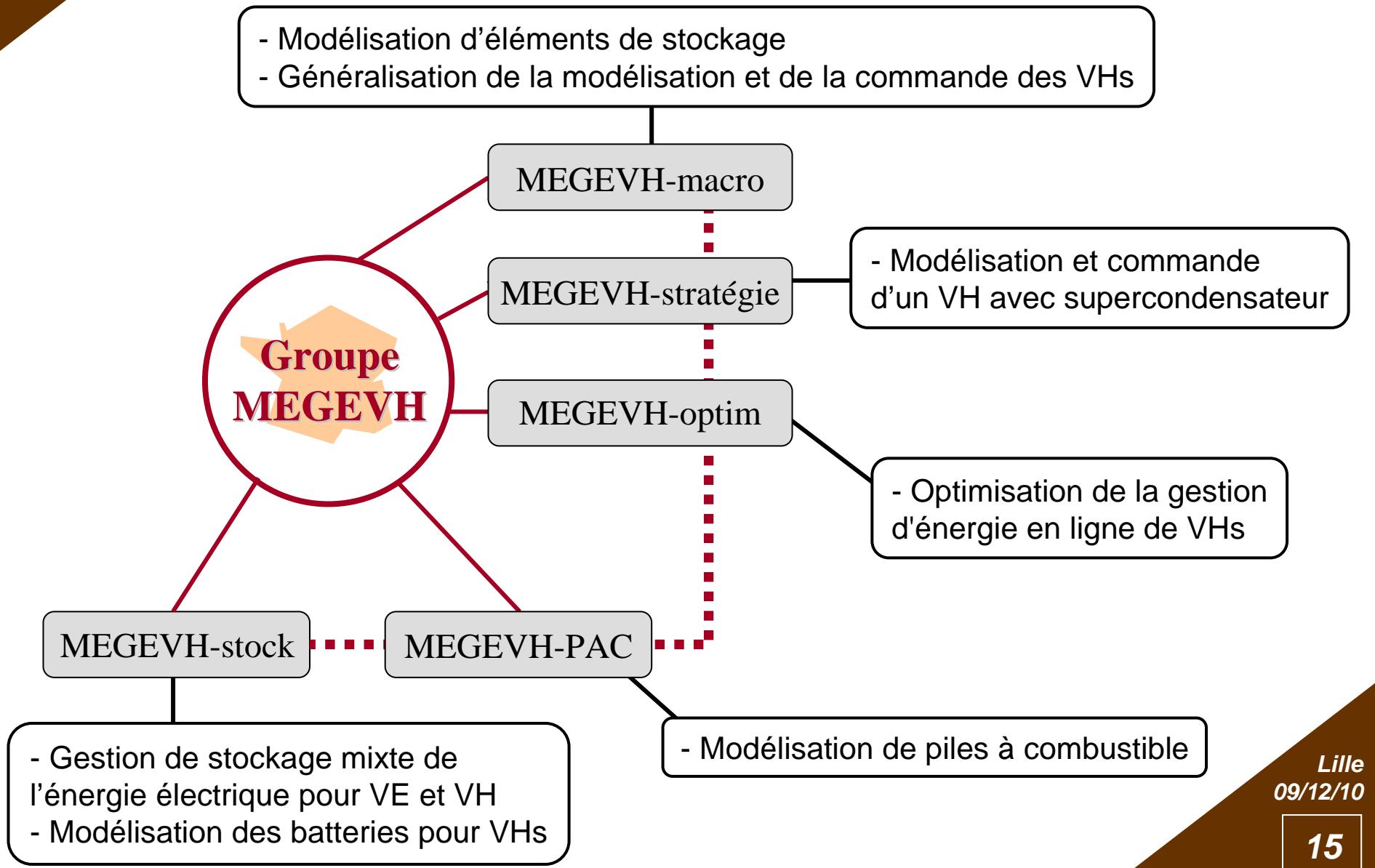


- MEGEVH -

Réseau MEGEVH : Modélisation Énergétique et Gestion d'Énergie des Véhicules Hybrides



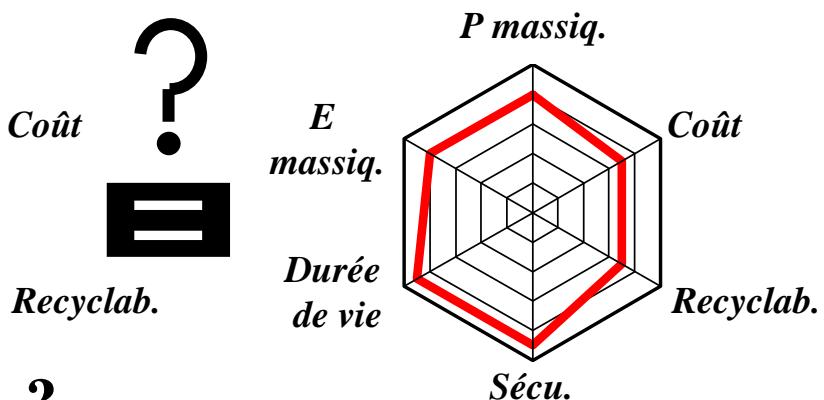
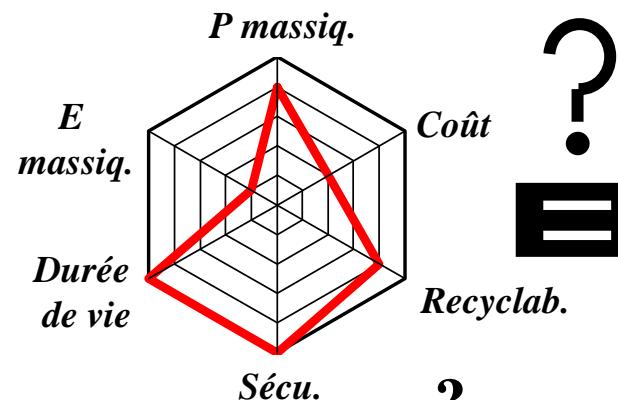
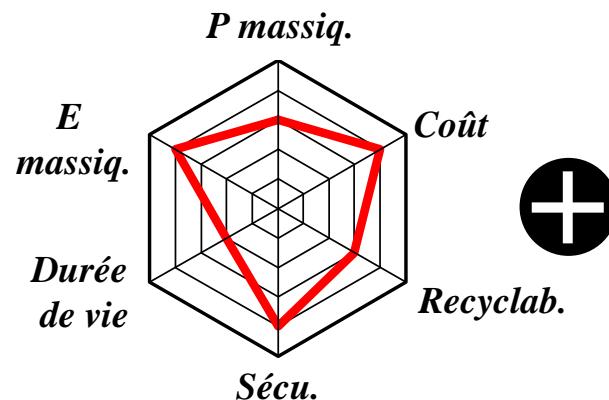
- MEGEVH -



- Intérêt du stockage mixte de l'énergie électrique -



VE avec batteries et supercond.



?

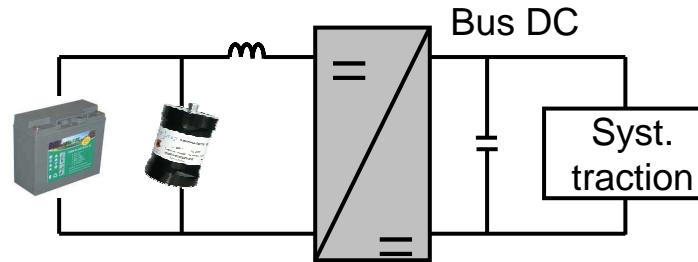
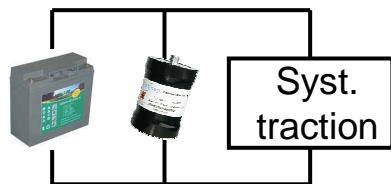
=> Bon compromis sur l'ensemble des critères considérés

Source : Thèse de Anne-Laure Allègre, Méthodologie de modélisation et de gestion de l'énergie de systèmes de stockage mixtes pour VEHs et VEs, Université Lille 1, septembre 2010

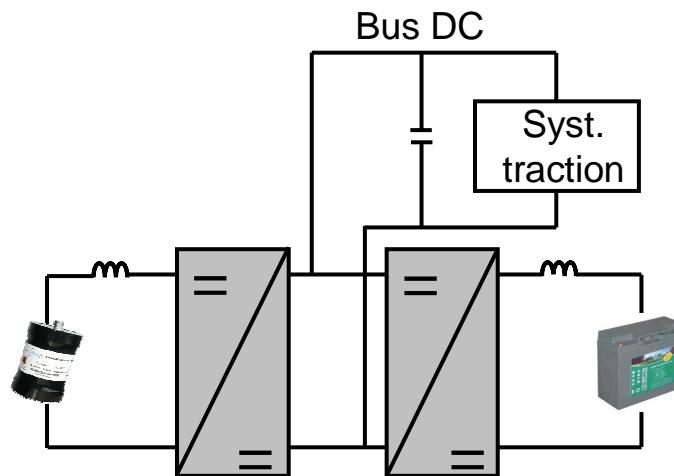
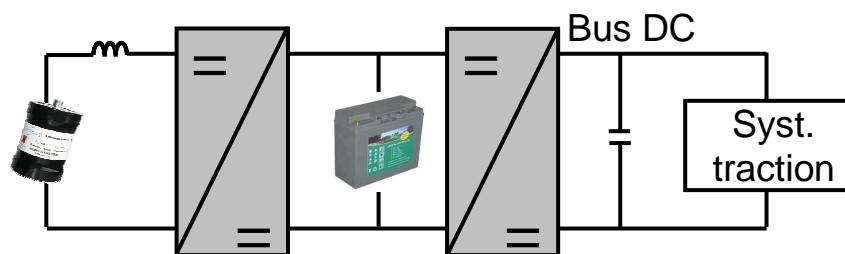
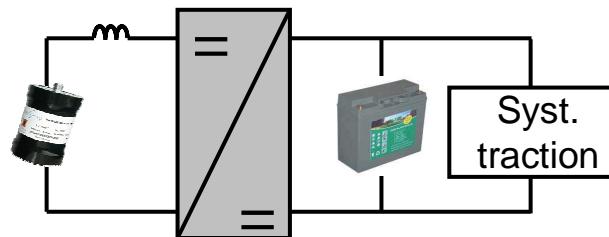
Lille
09/12/10

- Associations envisagées -

Associations passives



Associations actives



[LUKIC 06], [DESTRAZ 08], [LIU 09], [MILLER 10]

Lille
09/12/10

- Stratégies de gestion de l'énergie -

Batteries : forte densité d'E

P massique / cyclabilité faibles

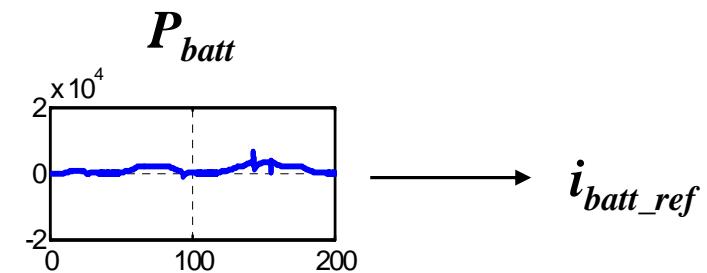
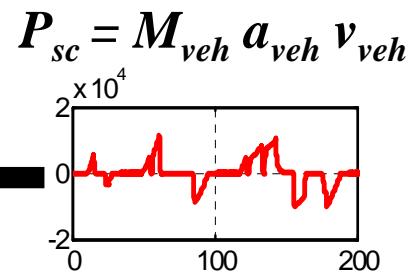
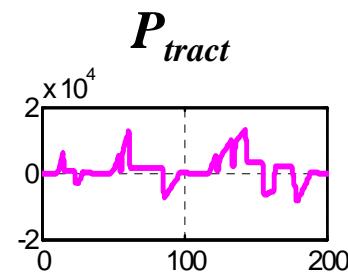
→ ***Fournir et absorber la puissance moyenne***

Scps : forte densité de P / cyclabilité importante

E massique faible

→ ***Fournir et absorber les pics de puissance***

Fonction de l'accélération



→ i_{sc_ref}

[CHAPOULI 99]

Lille
09/12/10

- Stratégies de gestion de l'énergie -

Batteries : forte densité d'E

P massique / cyclabilité faibles

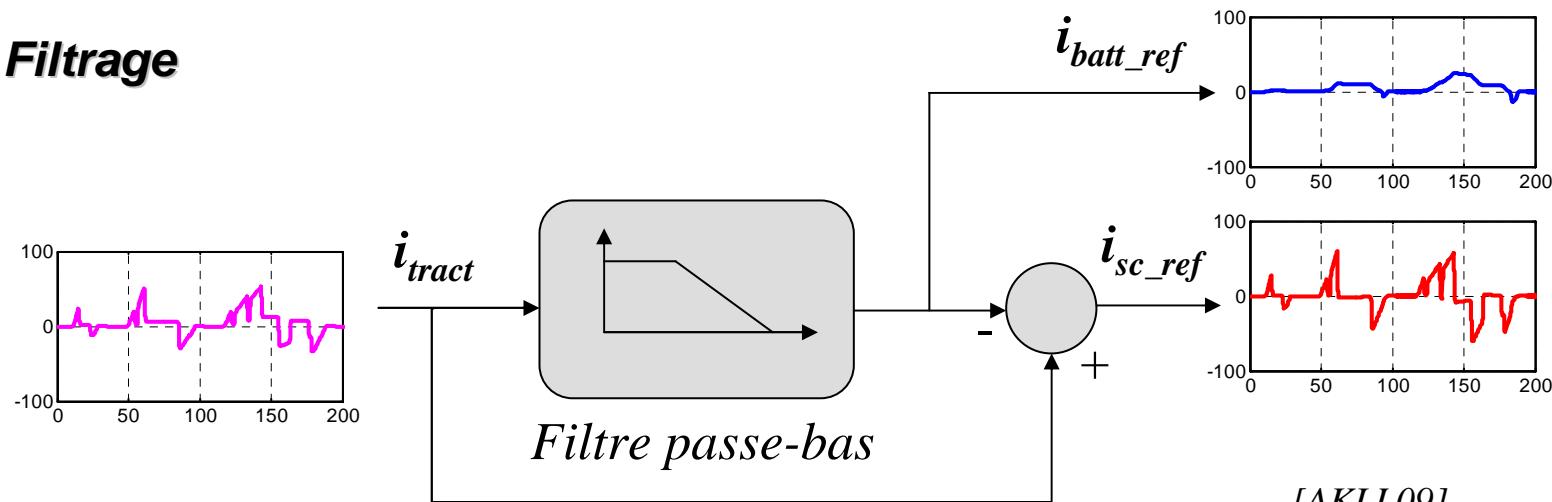
→ ***Fournir et absorber la puissance moyenne***

Scps : forte densité de P / cyclabilité importante

E massique faible

→ ***Fournir et absorber les pics de puissance***

Filtrage

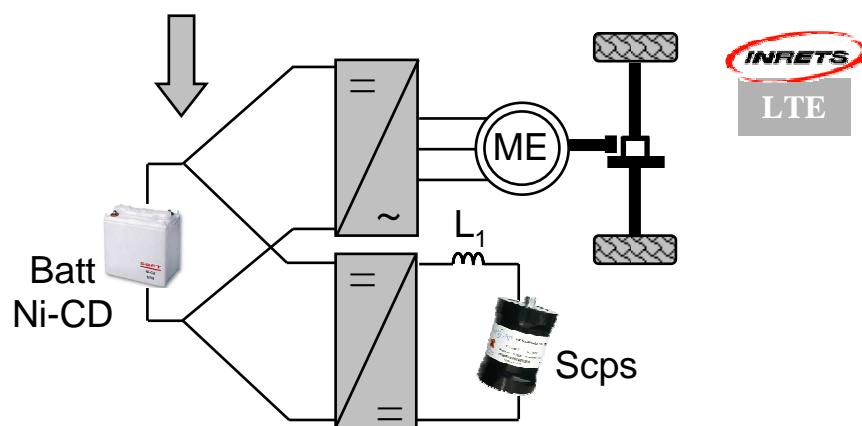
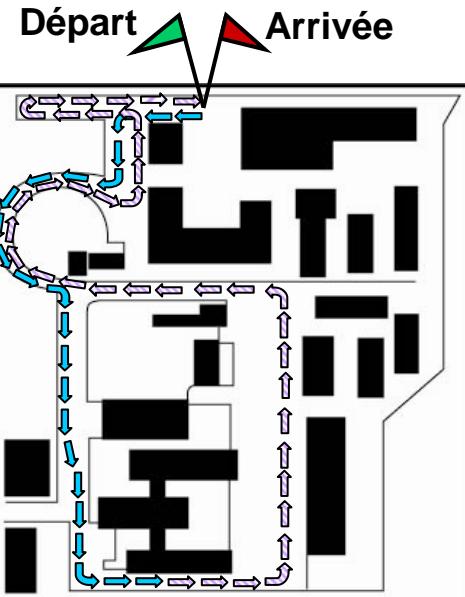


[AKLI 09]

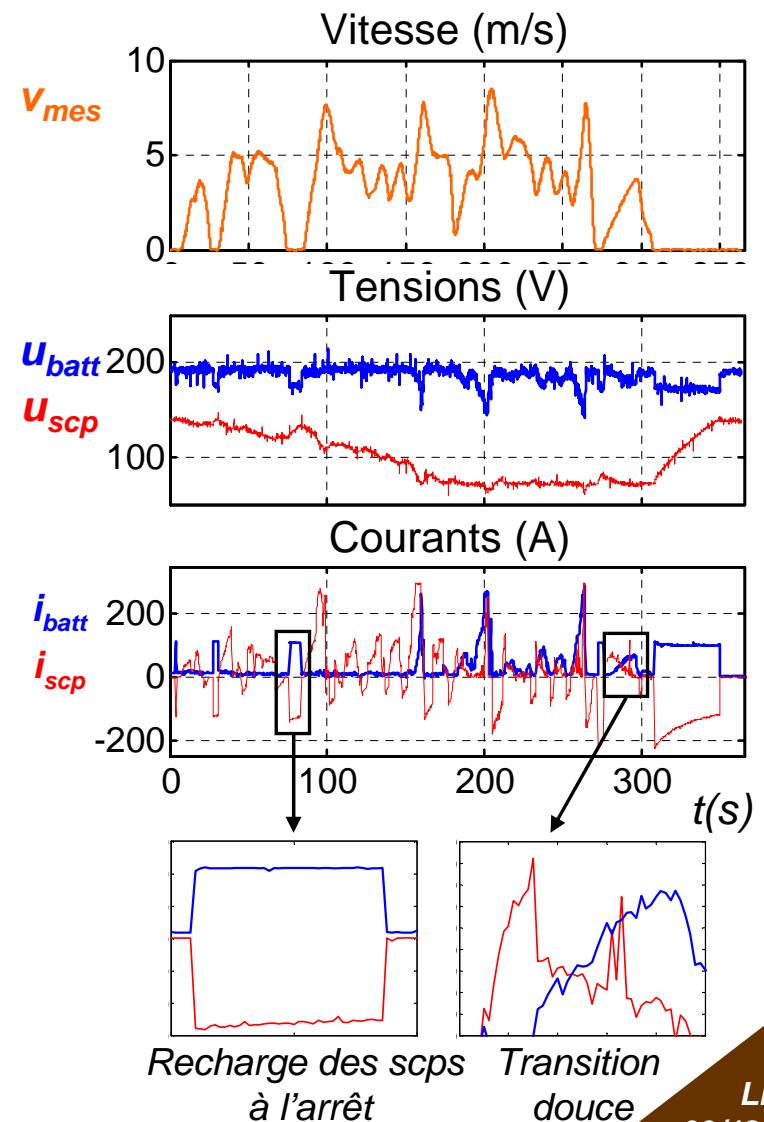
Lille
09/12/10

- Validation expérimentale sur véhicule réel -

Essais réalisés sur le site de l'INRETS-Bron



Microbus électrique mixte



Stratégie simple : « Tout ou rien »

20

Lille
09/12/10

Séminaire Stockage d'Énergie Électrique Embarquée

9 décembre
2010



EXEMPLE DE SYSTEMES EXISTANTS



« Tramway de Nice avec Caténaire et batteries Ni-MH (ALSTOM) »

Tramway de 30m Citadis 302



- Pas de caténaire sur deux places
 - Jean Médecin <=> Place Masséna: 435 m
 - Jean Jaurès <=> Garibaldi: 485 m
 - Soit 11% du circuit de 8660 m

Source : Marc Debruyne (ALSTOM), l'AGV et trains du futur, Journée du club EEA, Lille, mars 2009

« Prototype Microbus stop & start avec batteries et sconds »

Début en 2006, projet Veolia / RATP / Valeo / INRETS / Gruau

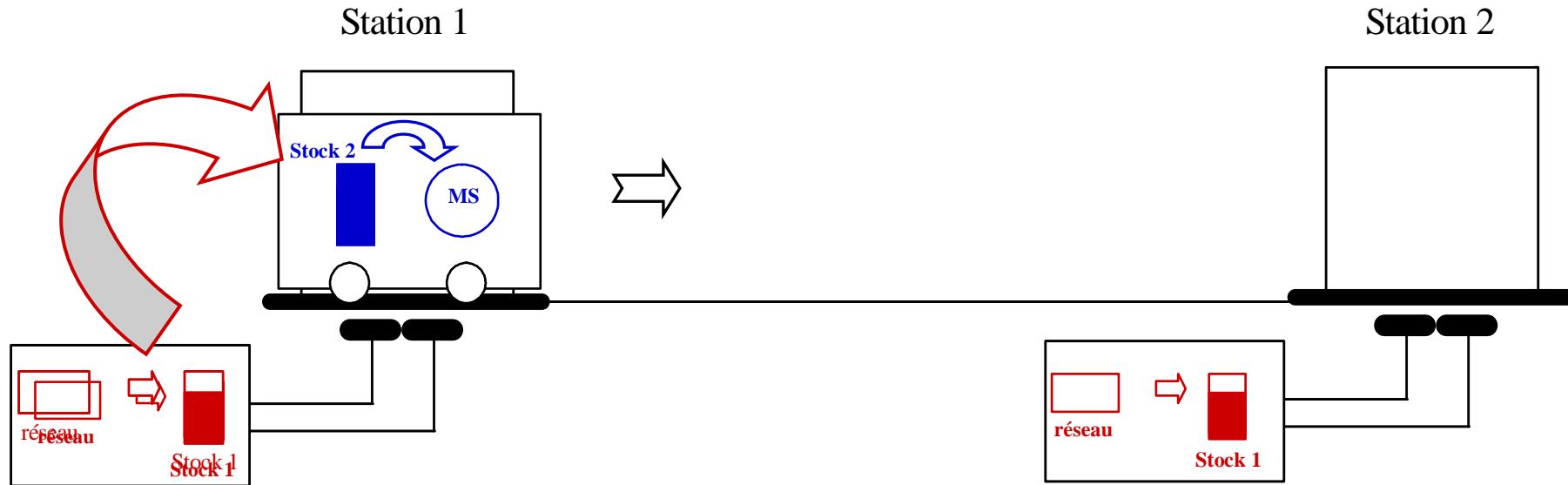
Système stop & start (micro-hybrid) et supercondensateur :

- diminution de la taille de la batterie
- coupure du moteur à l'arrêt
- redémarrage silencieux par l'alterno-démarreur
- fonction freinage récupératif
- hybridation simple à mettre en place
- relativement peu coûteuse et efficace
- accueil passagers sans bruit
- plus de pollution ni consommation à l'arrêt



Source : <http://www.lemicrobusgrau.com/>

« Exemple : le biberonnage »



Projet NeoVal de Siemens Transportation Systems
en partenariat avec Lohr Industries



« Exemple : la Bolloré Bluecar »



Machine électrique : 50 kW

Batterie : Lithium Métal Polymère / 100 Wh/litre

Autonomie : 250 km

Vitesse maximale : 130 km/h

Accélération : 6,3 s de 0 à 60 km/h



Séminaire Stockage d'Énergie Électrique Embarquée

9 décembre
2010



CHALLENGES A RELEVER



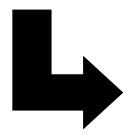
« Challenges à Relever »

Critères importants :

- ✓ la masse
- ✓ le coût
- ✓ le volume
- ✓ la recharge
- ✓ l'autonomie
- ✓ la durée de vie
- ✓ la sécurité environnement et recyclage

Choix des stockeurs énergétiques :

- la densité énergétique
- la densité de puissance

 **Aucun stockeur énergétique ne permet de répondre (aujourd'hui) à toutes ces exigences**

Solution envisagée :

- ✓ compromis : utilisation seule d'un type de stockeur énergétique
 - durée de vie / autonomie
- ✓ le couplage mixte : ex. batterie / supercondensateur
 - coût des convertisseurs

Une autre solution ?

L'ultra-batterie au plomb : couplage (au niveau matériau) d'une batterie au plomb et d'un supercondensateur sans aucun convertisseur supplémentaire

Source : A. Cooper et al. / Journal of Power Sources 188 (2009) 642–649