

**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



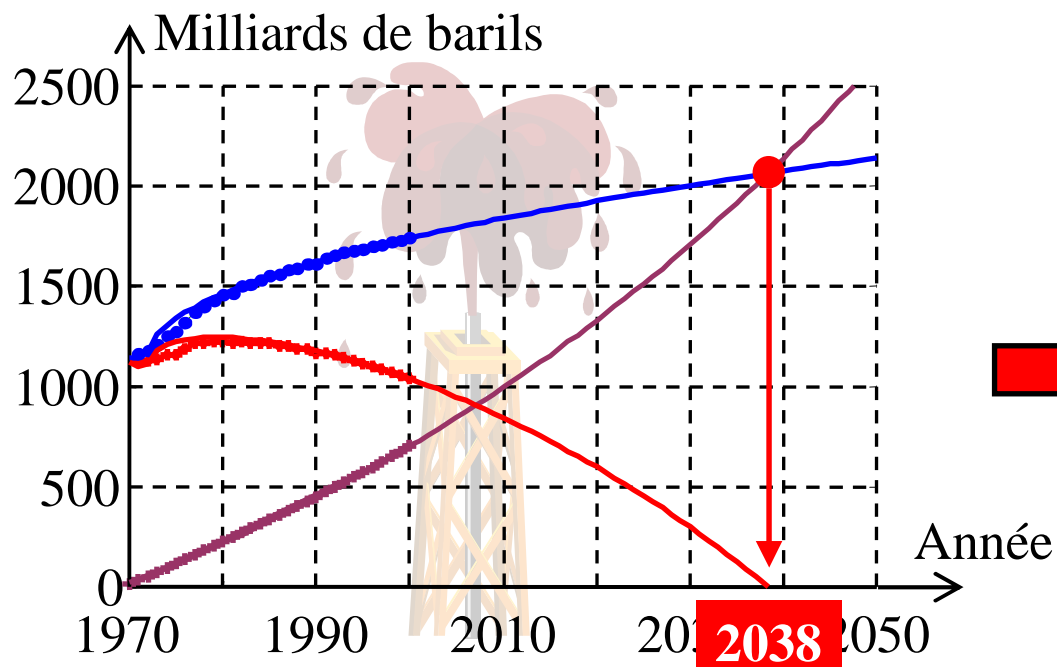
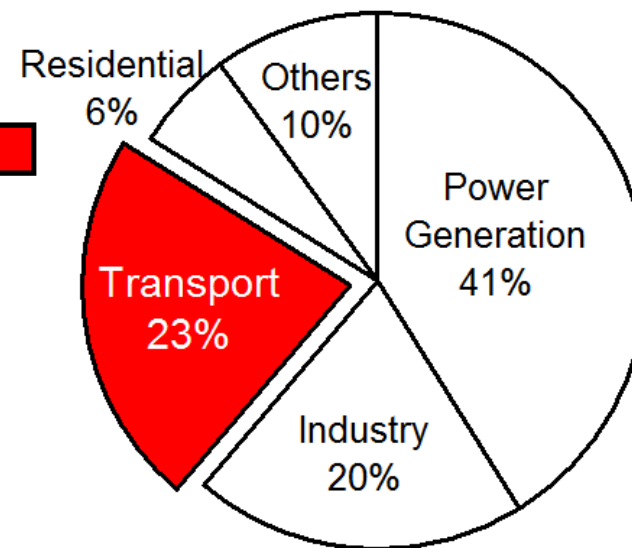
« Contexte sociétal »

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

...

Chacun a des avantages et inconvénients

*Véhicules Hybrides Electriques
(VHEs)*

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*

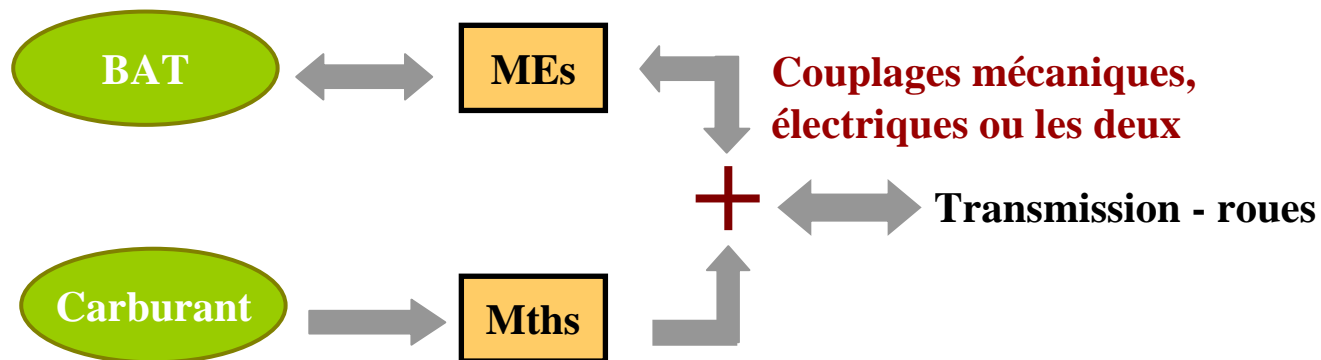
Émission de gaz polluants **Moins de pollution**

→ *Santé publique*

Economie de carburant et 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

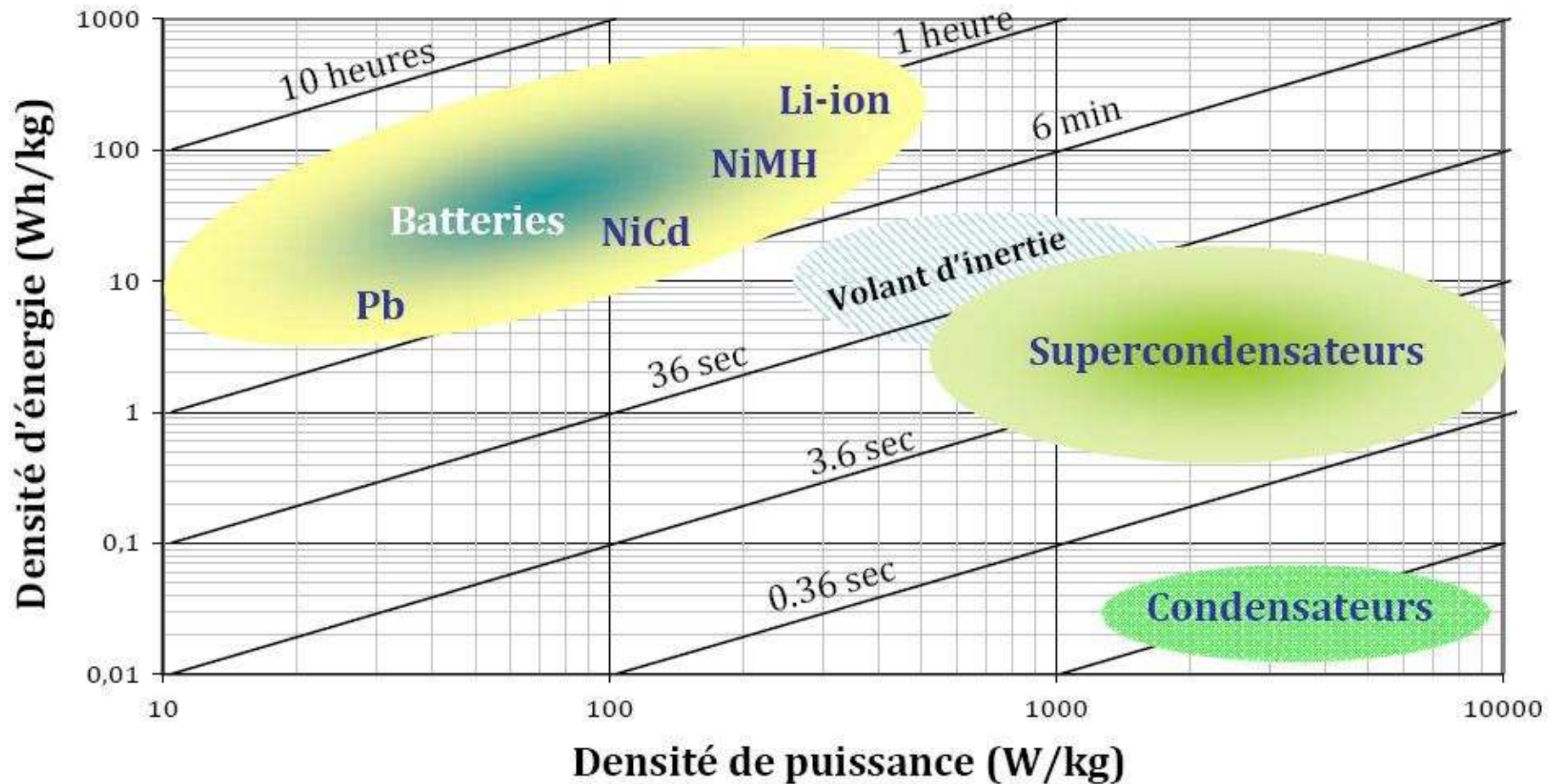
Densité énergétique volumique des carburants d'hydrocarbures :
- essence ou gasoil **≈ 10 000 Wh/litre**

« 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 | VOLANT | SUPERCAP |
|---|--|--|
| Haute énergie massique | Énergie massique moyenne | Faible énergie massique |
| Faible puissance massique | Puissance massique moyenne | Très forte puissance massique |
| Taux de décharge limité | Temps de recharge moyen 80-120s | Temps de recharge court <30s |
| Temps de recharge long >30mn | Récupération de l'énergie de freinage | Récupération de l'énergie de freinage |
| Pas de récupération de l'énergie de freinage | Durée de vie 30 ans | Durée de vie 20 ans ? |
| Durée de vie limitée 5/7 ans | Sécurité de fonctionnement à garantir | 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**

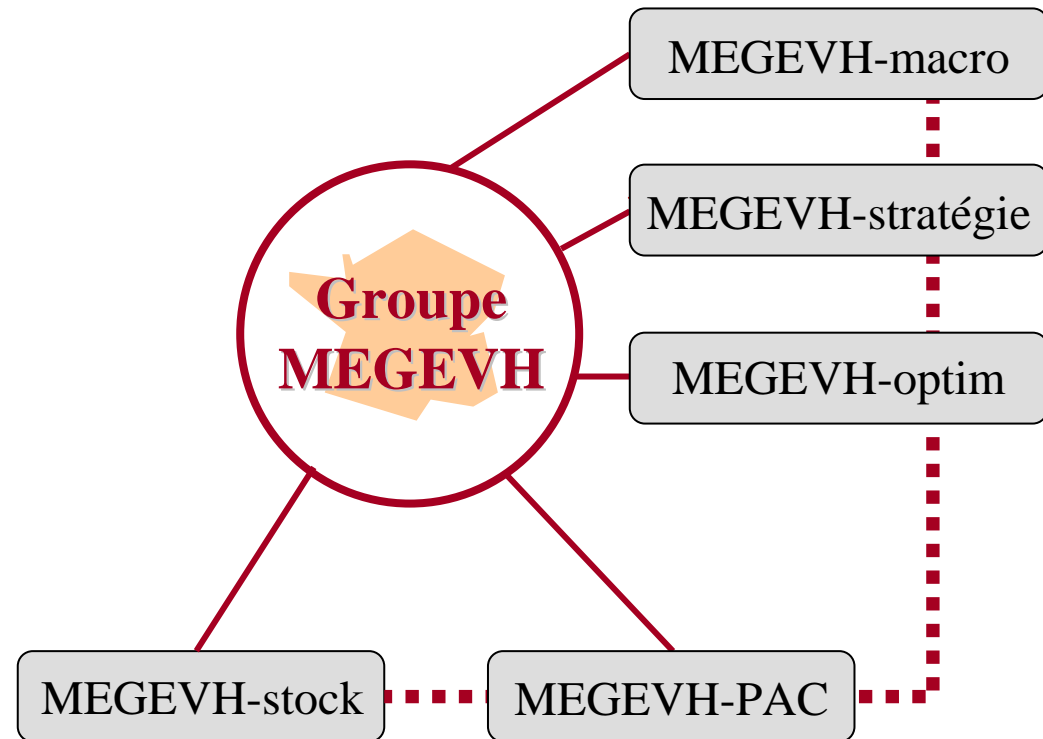
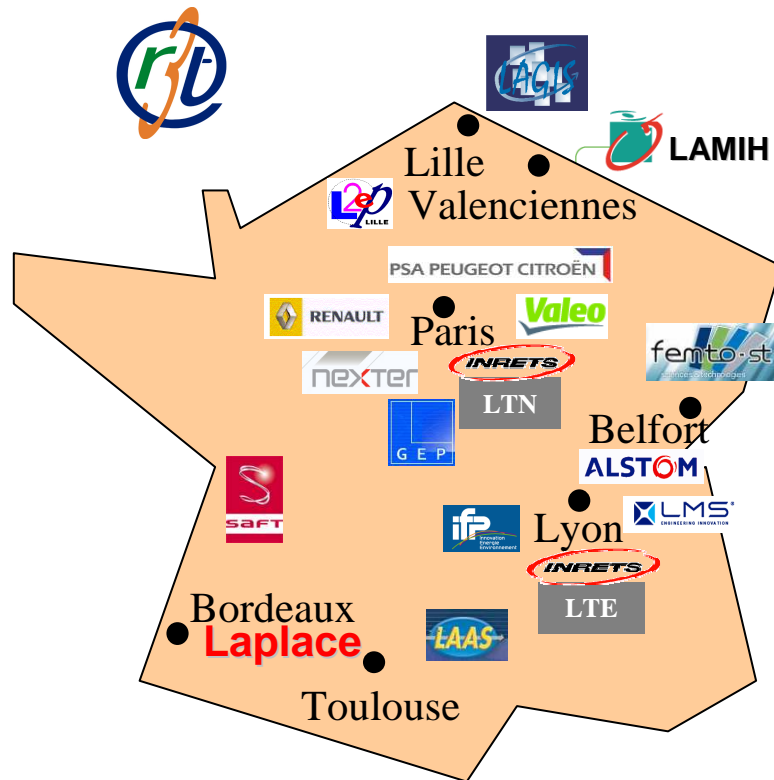


LE STOCKAGE ELECTRIQUE MIXTE

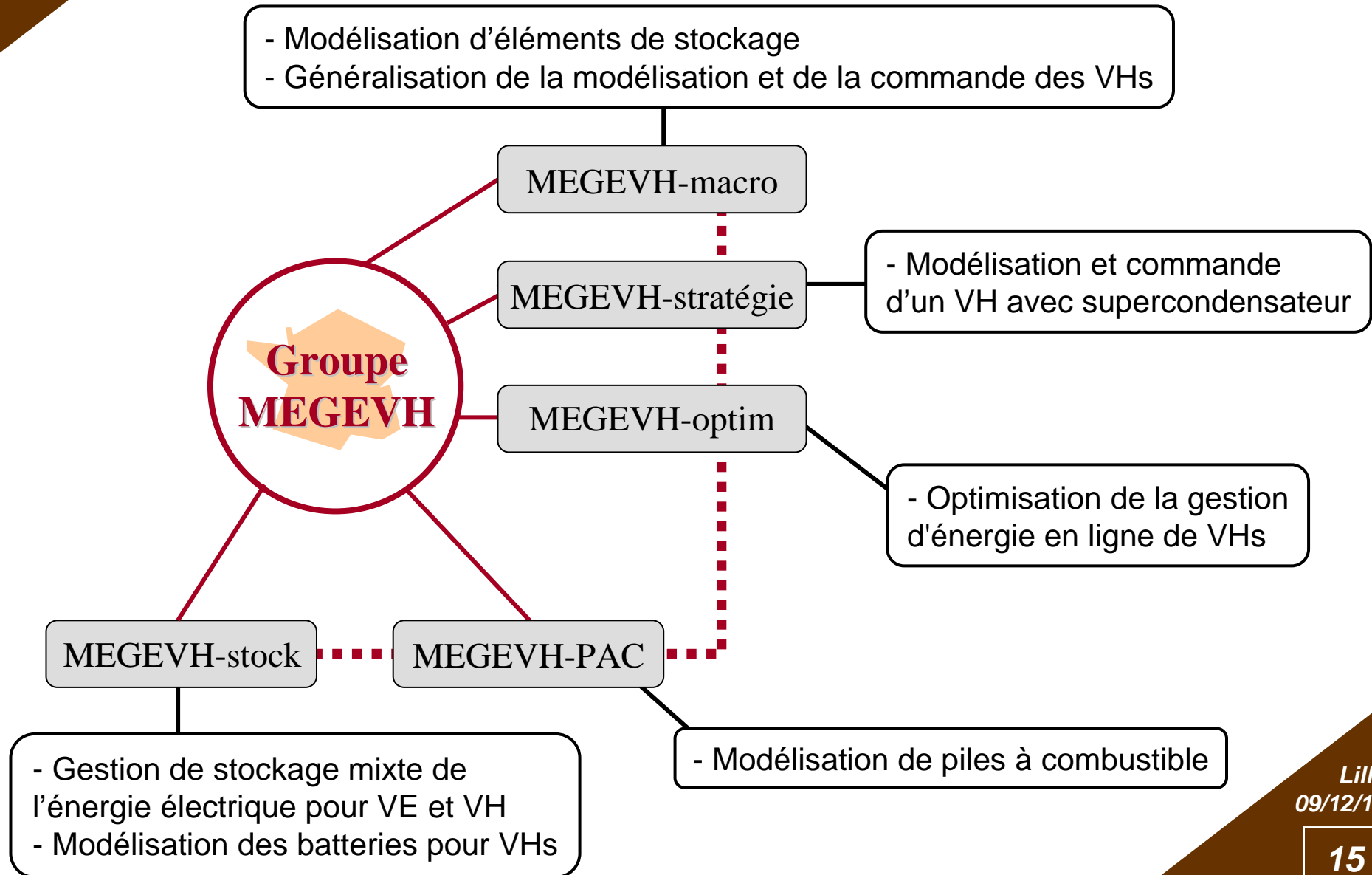


- MEGEVH -

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



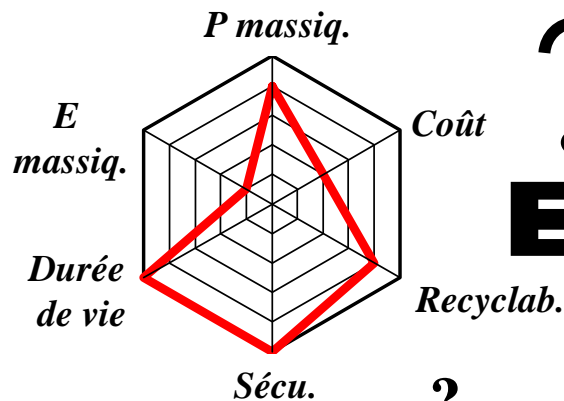
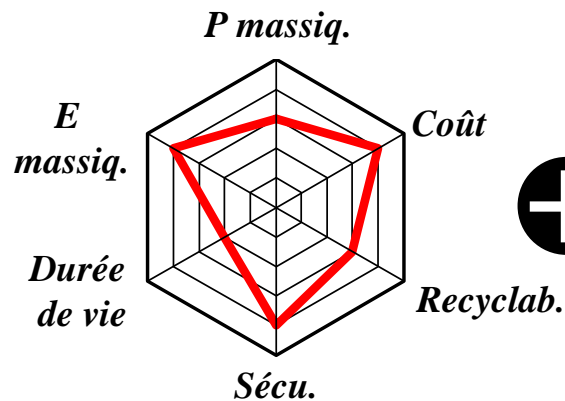
- MEGEVH -



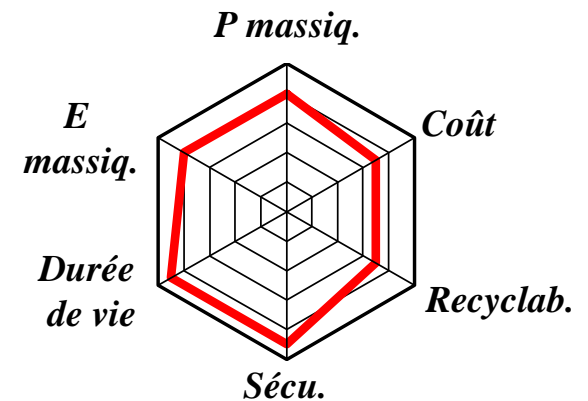
- Intérêt du stockage mixte de l'énergie électrique -



**VE avec batteries et
supercond.**

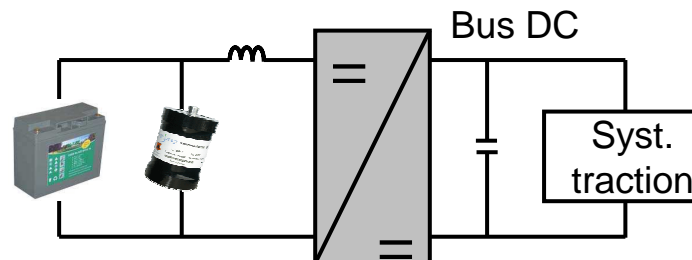


**=> Bon compromis sur l'ensemble
des critères considérés**

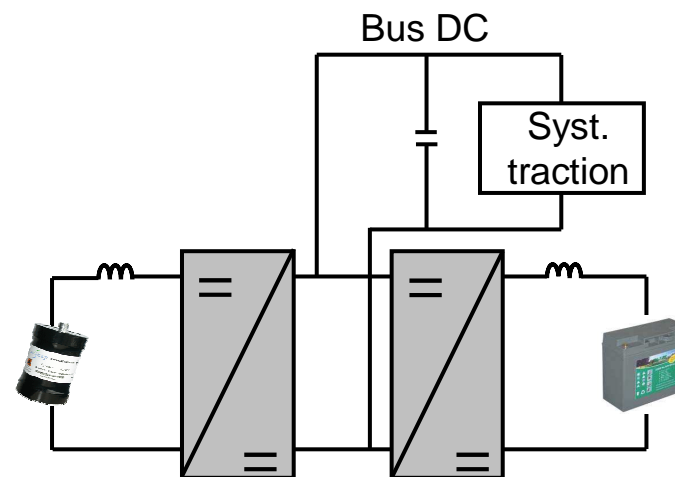
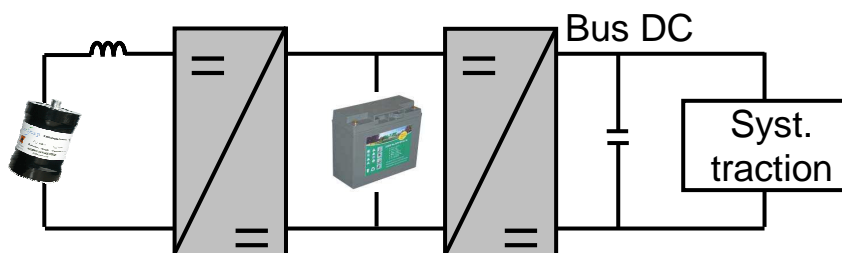
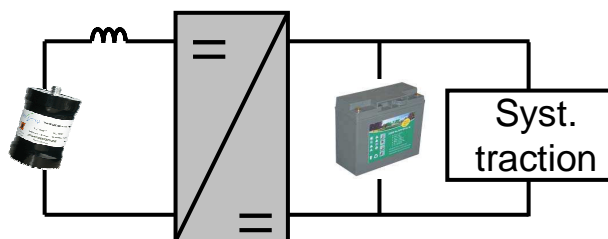


- Associations envisagées -

Associations passives



Associations actives



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

- Stratégies de gestion de l'énergie -

Batteries : forte densité d'E

P massique / cyclabilité faibles

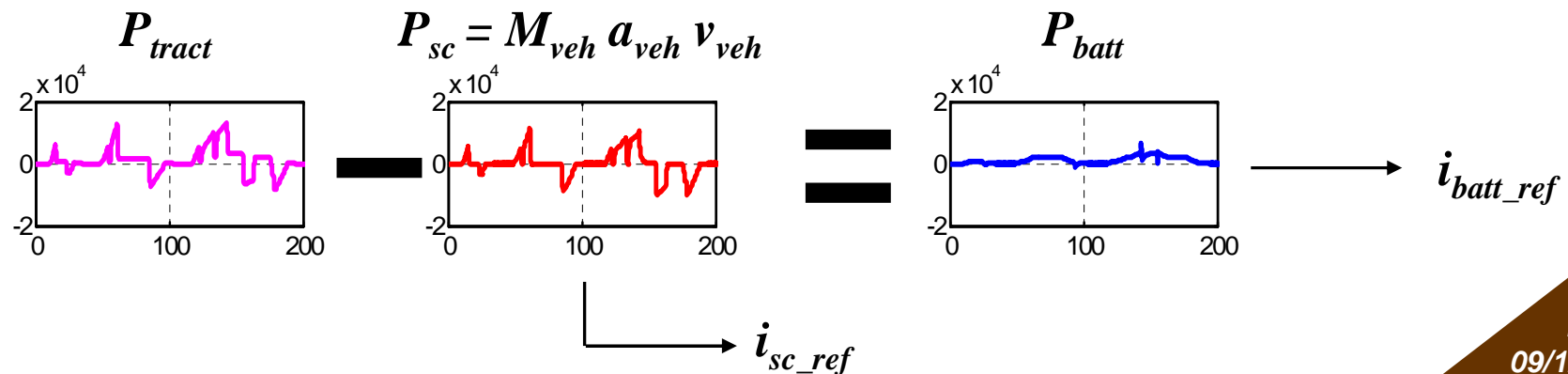
→ *Fournir et absorber la puissance moyenne*

Scps : forte densité de P / cyclabilité importante

E massique faible

→ *Fournir et absorber les pics de puissance*

Fonction de l'accélération



[CHAPOULI 99]

- Stratégies de gestion de l'énergie -

Batteries : forte densité d'E

P massique / cyclabilité faibles

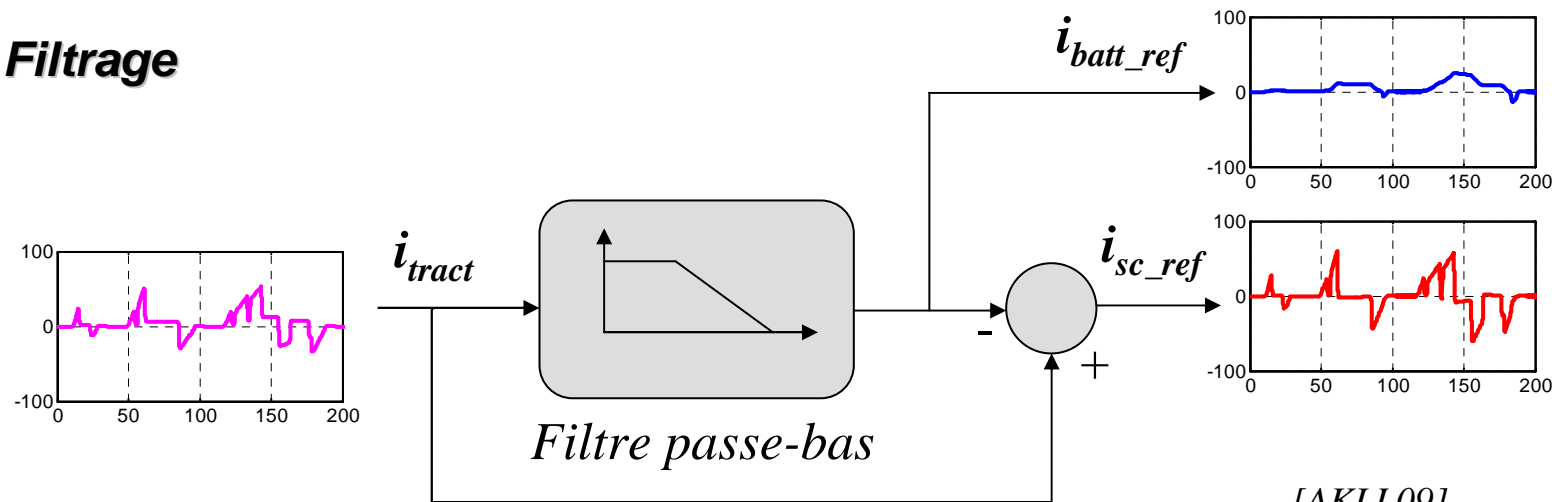
→ *Fournir et absorber la puissance moyenne*

Scps : forte densité de P / cyclabilité importante

E massique faible

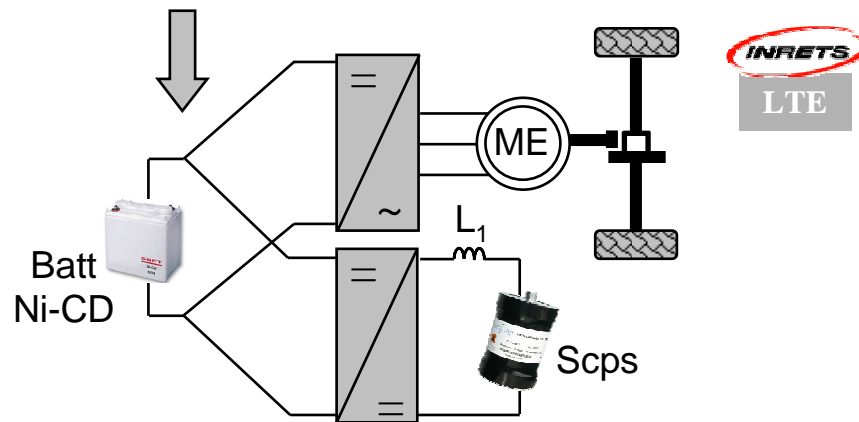
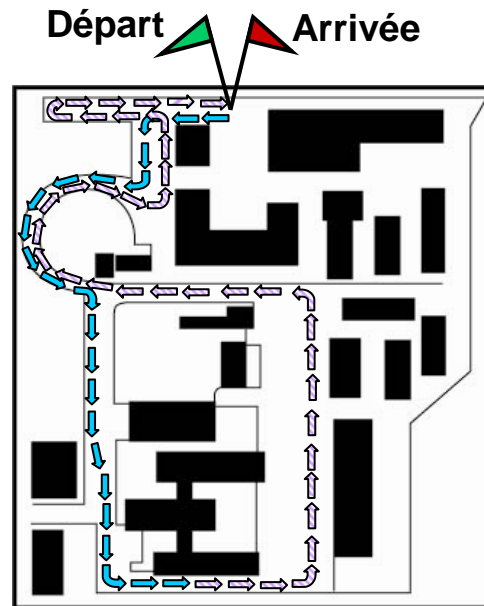
→ *Fournir et absorber les pics de puissance*

Filtrage

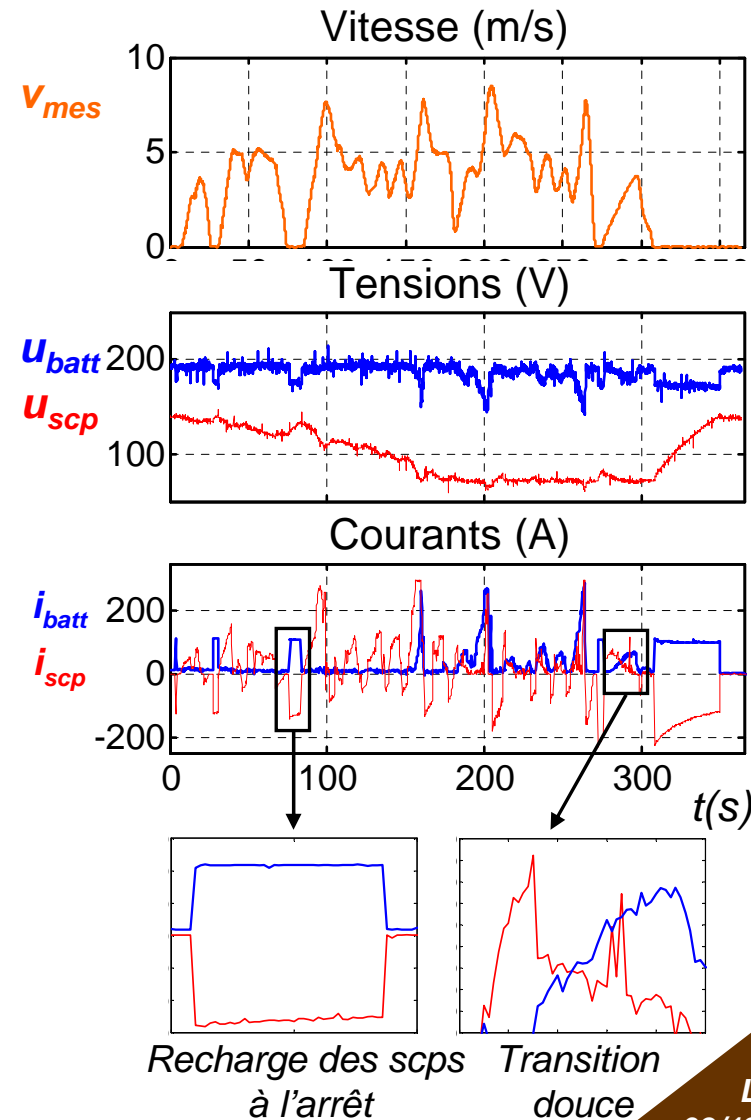


- Validation expérimentale sur véhicule réel -

Essais réalisés sur le site de l'INRETS-Bron



Microbus électrique mixte



Stratégie simple : « Tout ou rien »

Lille
09/12/10

20

**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

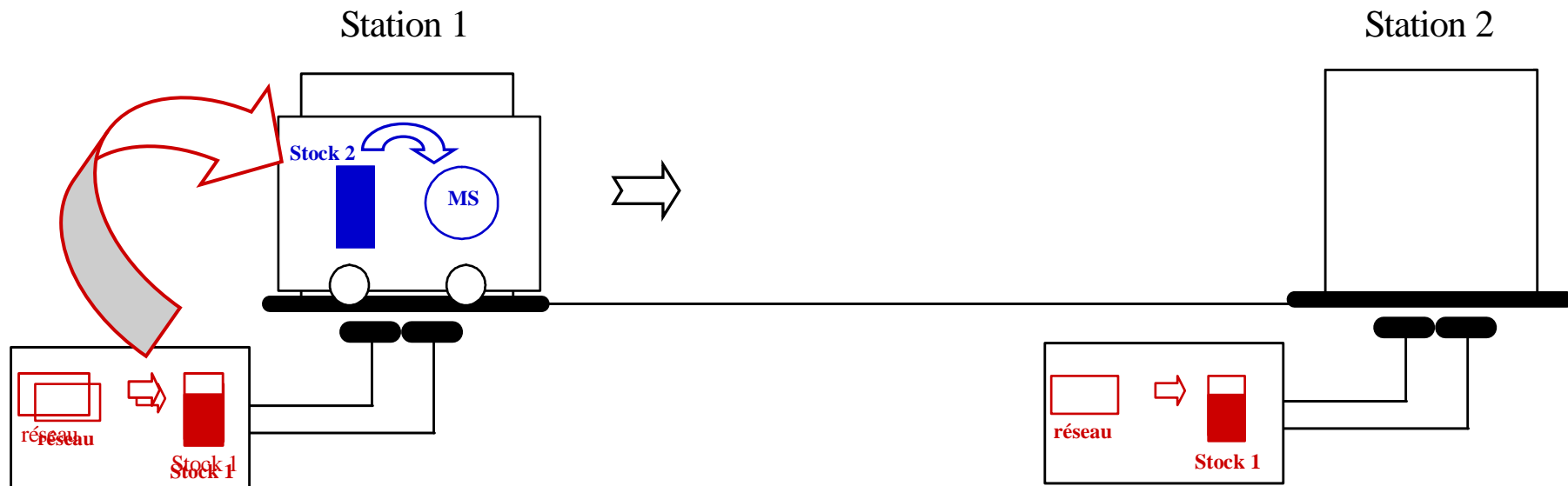
Système stop & start (micro-hybrid) et supercondensateur :

- ☐ diminution de la taille de la batterie
- ☐ coupure du moteur à l'arrêt
- ☐ redémarrage silencieux par l'alternateur-démarrreur
- ☐ 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.lemicrobusgruau.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 volume
- ✓ l'autonomie
- ✓ la sécurité environnement et recyclage
- ✓ le coût
- ✓ la recharge
- ✓ la durée de vie

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