



# Les Batteries pour les transports terrestres

## Etat de l'art et perspectives

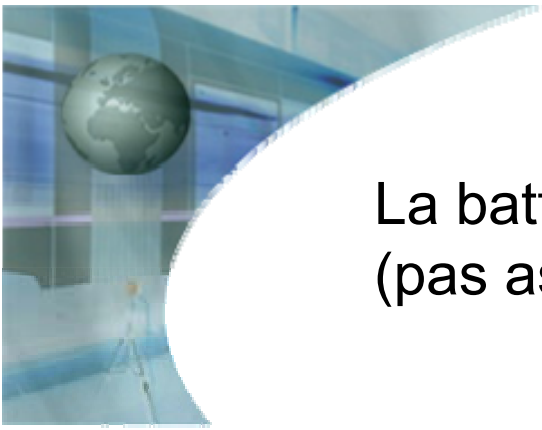


Institut national de recherche sur  
les transports et leur sécurité

**Laboratoire  
Transports et  
Environnement**

Serge PELISSIER

*Chargé de recherche*



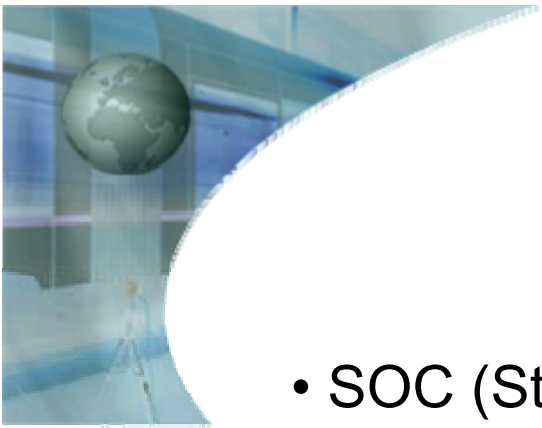
La batterie est le maillon faible du transport électrique  
(pas assez d'énergie, trop lourde, trop chère,....)

Les batteries que tout le monde utilise ou dont tout le monde parle

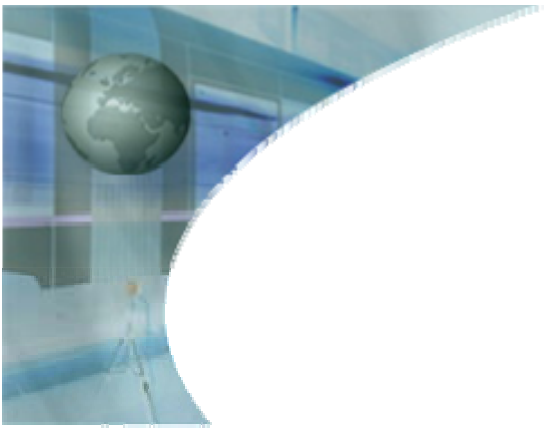
Les batteries dont tout le monde ne parle pas encore

Les batteries sauveront-elle le monde ?

# Dans la jungle des définitions ...



- SOC (State of Charge)  
rapport de la capacité actuelle en Ah à la capacité initiale  
 $SOC = 100 \%$  : batterie chargée
- DOD (Depth of Decharge) =  $1 - SOC$
- BMS : Battery Management system
- Régime de courant : 1C, 2C, C/2, etc...  
Valeur du courant de la batterie exprimée par rapport à la capacité.  
1C est le courant qui décharge la batterie en 1h, 2C est le double  
*Exemple pour une batterie de 8Ah :*  
 $1C = 8A$  ;  $2C = 16A$  ;  $C/2 = 4A$  (en charge ou en décharge)



## Dans la jungle des valeurs ...

### **Puissance maxi en W**

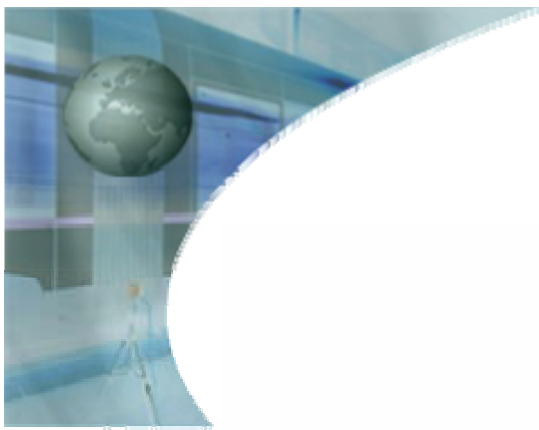
Il faut préciser à quel SOC, pendant quelle durée, à quelle température,...

### **Puissance massique en W/kg et Puissance volumique en W/litre**

Il faut préciser si l'on parle d'un élément ou du pack de N éléments avec son BMS, son convertisseur, sa ventilation,...

*Idem pour l'énergie massique (Wh/kg) et volumique (Wh/litre)*

# Les 3 principales forces en présence ...



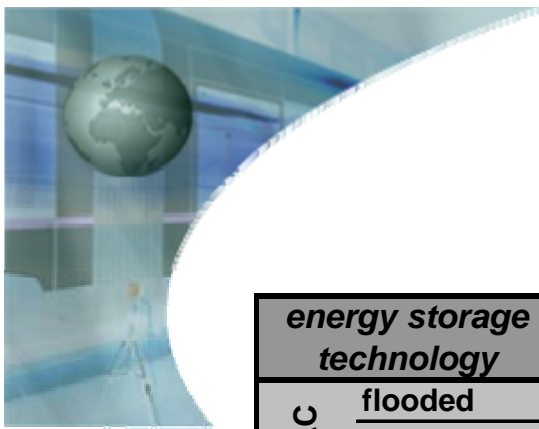
Key  
(relative to  
each other)

Poor
Fair
Good

Attribute	Lead Acid	NiMH	Li-Ion
Weight (kg)	Poor	Fair	Good
Volume (lit)	Poor	Good	Good
Capacity/Energy (kWh)	Poor	Fair	Good
Discharge Power (kW)	Good	Fair	Good
Regen Power (kW)	Poor	Fair	Good
Cold-Temperature (kWh & kW)	Good	Fair	Poor
Shallow Cycle Life (number)	Fair	Good	Good
Deep Cycle Life (number)	Poor	Good	Fair
Calendar Life (years)	Poor	Fair	Fair
Cost (\$/kW or \$/kWh)	Good	Poor	Poor
Safety- Abuse Tolerance	Good	Good	Fair
Maturity - Technology	Good	Good	Fair
Maturity - Manufacturing	Good	Fair	Poor

Source NREL – DOE – USA : Batteries choice for PHEV

# Les chiffres ...



energy storage technology		characteristics						
		energy [Wh/kg]	energy [Wh/l]	power [W/kg]	number of cycles @ 80% DoD	efficiency [%]	temperature range [°C]	cost [€/kWh]
PbAC	flooded	25 - 40	60 - 100	140 - 350	200 - 1500	70 - 75	20 - 40	100 - 190
	VRLA	30 - 40	80 - 100	140 - 300	300 - 1000	80 - 85	20 - 40	100 - 190
	compressed	40 - 50	100	140 - 250	800 - 1500	70 - 85	20 - 40	35 - 50
alkaline	NiCd							
	power	25 - 40	130	500	800 - 1500	70 - 75	-40 - 50	400 - 1000
	energy	40 - 50	130	120 - 350	800 - 1500	70 - 75	-40 - 50	400 - 1000
	NiZn	60 - 80	200 - 300	500 - 1000	200 - 1000	60 - 65	0 - 40	500 - 800
NiMH	power	40 - 55	80 - 200	500 - 1400	500 - 2000	70 - 80	0 - 45	700 - 1500
	energy	60 - 80	200 - 350	200 - 600	500 - 2000	70 - 80	0 - 45	700 - 1500
lithium based	Lilon							
	power	70 - 130	150 - 450	600 - 3000	800 - 1500	85 - 90	-20 - 60	500 - 1500
	energy	110 - 220	150 - 450	200 - 600	800 - 1500	85 - 90	-20 - 60	500 - 1500
	LiPolymer	100 - 180	100	300 - 500	300 - 1000	90 - 95	-110	300 - 500
ultracap	power	3 - 5	3 - 10	2000 - 10000	500k - 1M	95 - 100	-20 - 90	1700 - 2300
	energy	12 - 20	3 - 6	2000 - 10000	500k - 1M	95 - 100	-20 - 90	1700 - 2300
flywheel	power	1.8 - 3.7	7 - 17	100 - 1000	10k - 50k	90 - 95	-20 - 50	200 - 660 [€/kW]
	life	1 - 10	3.7 - 5.7	100 - 1000	10k - 100k	90 - 95	-20 - 50	300 - 400 [€/kW]

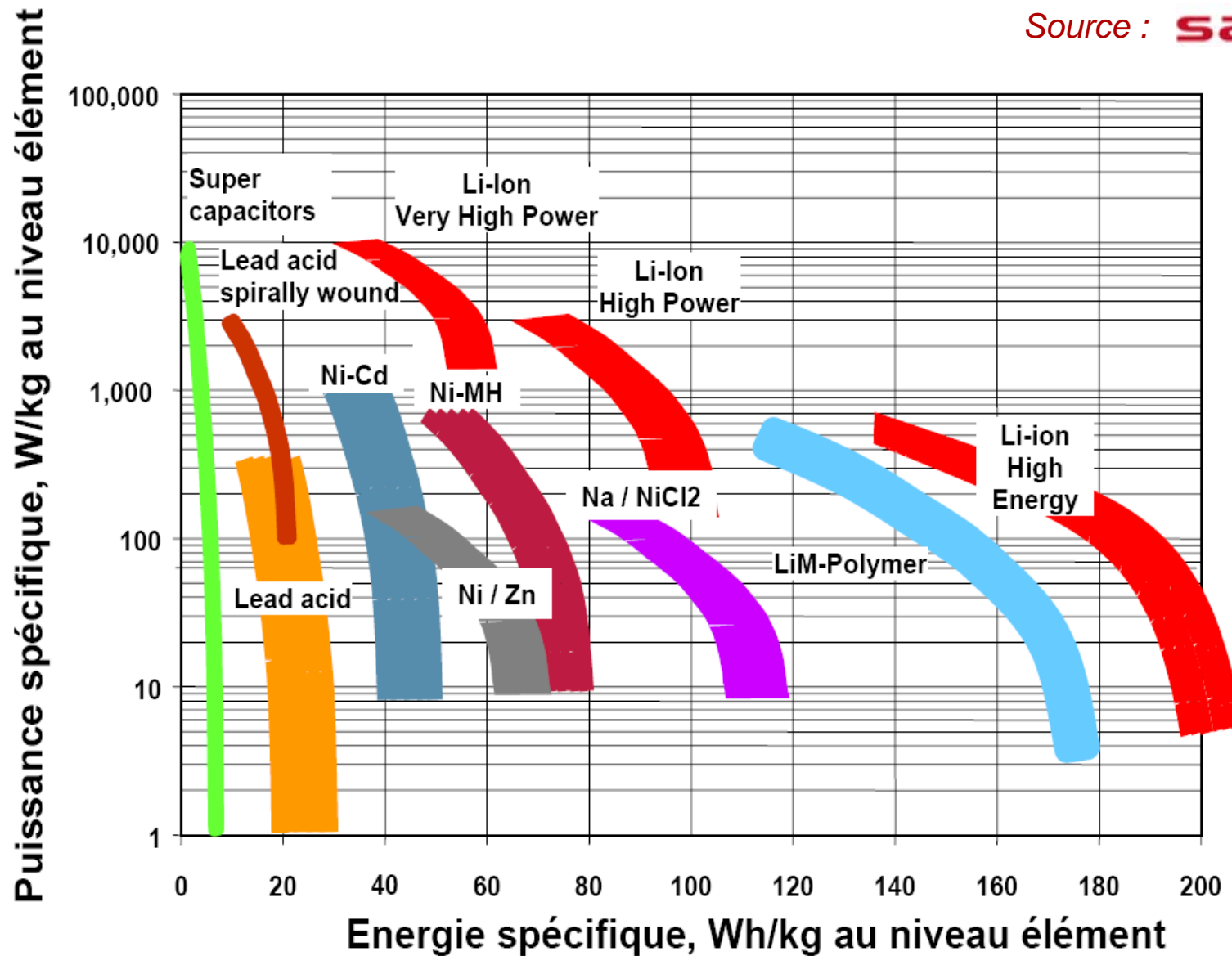
**Lithium polymère = Lithium métal polymère**

Source EDF - 2006

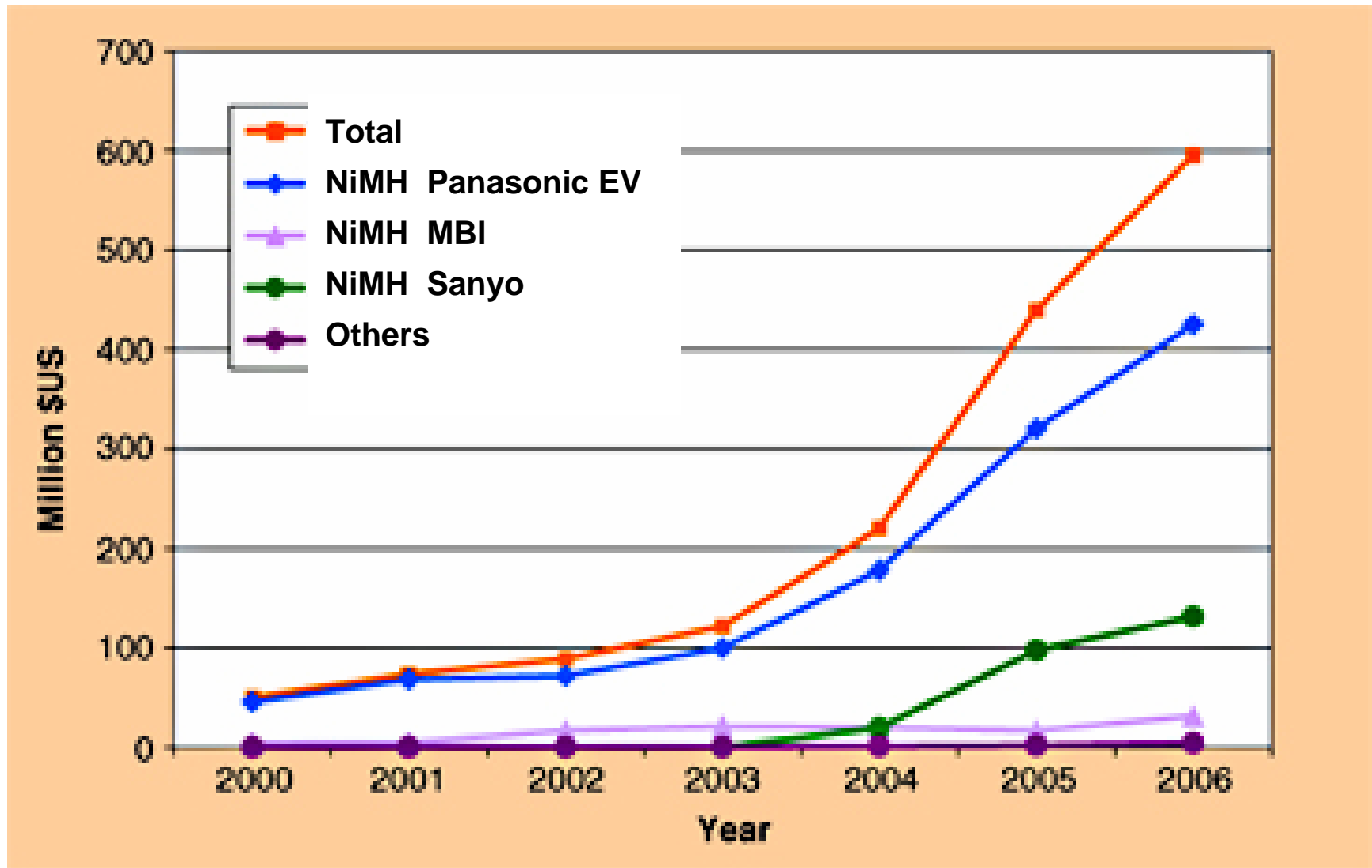
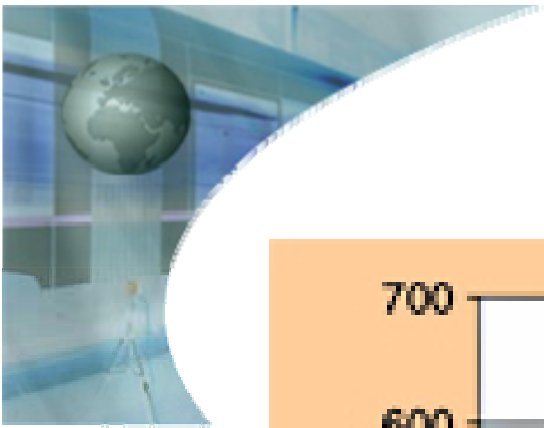


## Comparaison des accumulateurs : puissance vs énergie

Source : SAFT



# Une suprématie actuelle du NiMH...

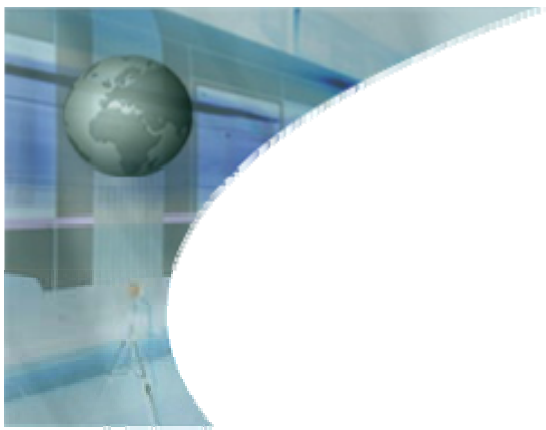


Le marché des batteries pour HEV aux USA

Source EERE



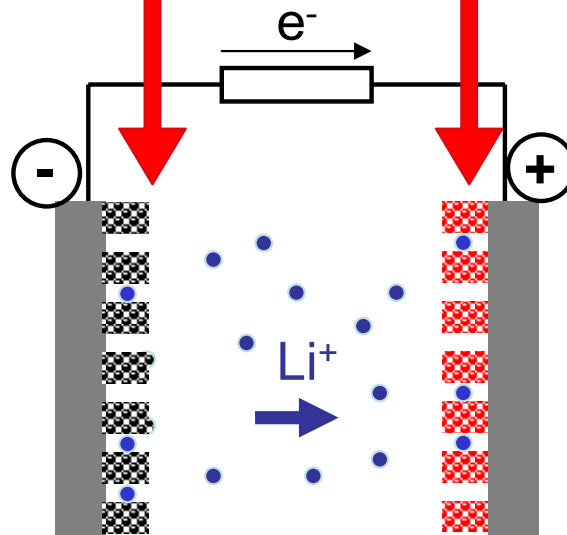
# Les atouts du Lithium-ion...



Matériaux de l'anode  
Graphite lithié ( $\text{LiC}_6$ )  
ou  
Titanate ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ )

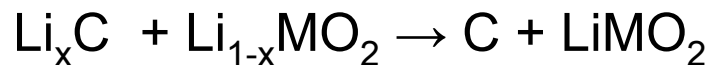
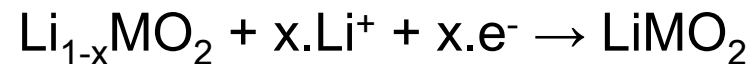
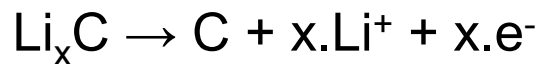
Anode  
graphite lithié

La nano-structuration  
des matériaux



Matériaux de la cathode  
Oxydes de Lithium +  
Cobalt, Manganèse, Nickel,  
Fer-Phosphate, Vanadium,...

Cathode  
 $\text{Li M O}_2$   
(Oxyde de Lithium)



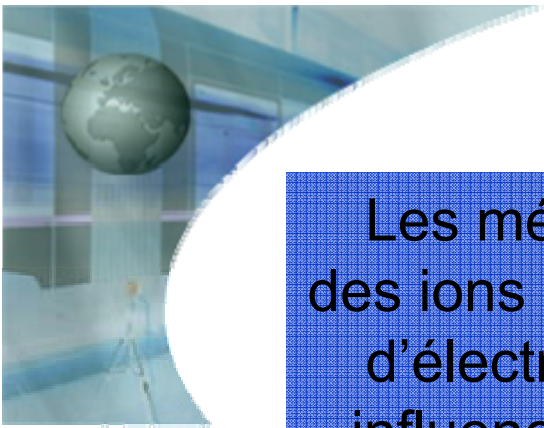
( Décharge de la batterie )

# Les matériaux d'aujourd'hui et de demain ...

Name	Description	Electrodes: Positive (Negative)	Companies	Automotive Status	Power	Energy	Safety	Life	Cost
LCO	Lithium cobalt oxide	LiCoO <sub>2</sub> (Graphite)	Various consumer applications (not automotive)	Limited auto applications (due to safety)	Good <sup>4</sup>	Good <sup>4</sup>	Low <sup>2,4</sup> , Mod. <sup>3</sup>	Low <sup>2,4</sup>	Poor <sup>2,3</sup>
NCA	Lithium nickel, cobalt and aluminum	Li(Ni <sub>0.85</sub> Co <sub>0.1</sub> Al <sub>0.05</sub> )O <sub>2</sub> (Graphite)	JCI-Saft <sup>3</sup> GAIA <sup>3</sup> Matsuhita <sup>3</sup> Toyota <sup>6</sup>	Pilot <sup>1</sup>	Good <sup>1,3</sup>	Good <sup>1,3</sup>	Mod. <sup>1</sup>	Good <sup>1</sup>	Mod. <sup>1,3</sup>
LFP	Lithium iron phosphate	LiFePO <sub>4</sub> (Graphite)	A123 <sup>3</sup> Valence <sup>5</sup> GAIA	Pilot <sup>1</sup>	Good <sup>1</sup>	Mod. <sup>2,6</sup>	Mod. <sup>1,2,4</sup>	Good <sup>1,4</sup>	Mod. <sup>1</sup> , Good <sup>2,3</sup>
NCM	Lithium nickel, cobalt and manganese	Li(Ni <sub>1/3</sub> Co <sub>1/3</sub> Mn <sub>1/3</sub> )O <sub>2</sub> (Graphite)	Litel (Mitsubishi) <sup>3</sup> Kokam <sup>3</sup> NEC Lamillion <sup>3</sup>	Pilot <sup>3</sup>	Mod. <sup>3</sup>	Mod. <sup>3</sup> , Good <sup>7</sup>	Mod. <sup>3</sup>	Poor <sup>3</sup>	Mod. <sup>3</sup>
LMS	Lithium manganese spinel	LiMnO <sub>2</sub> or LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> )	GS Yuasa <sup>3</sup> Litel (Mitsubishi) <sup>3</sup> NEC Lamillion <sup>3</sup> EnerDel	Devel. <sup>1</sup>	Mod. <sup>2</sup>	Poor <sup>1,2,3</sup>	Excel. <sup>1</sup> , Good <sup>2</sup>	Excel. <sup>1</sup> Mod. <sup>6</sup>	Mod. <sup>2</sup>
LTO	Lithium titanium	LiMnO <sub>2</sub> (LiTiO <sub>2</sub> )	Altairnano <sup>3</sup> EnerDel	Devel. <sup>3</sup>	Poor <sup>3</sup> , Mod. <sup>7</sup>	Poor <sup>3</sup>	Good <sup>3</sup>	Good <sup>3</sup>	Poor <sup>3</sup>
MNS	Manganese titanium	LiMn <sub>1.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> O <sub>4</sub> (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> )		Research <sup>1</sup>	Good <sup>1</sup>	Mod. <sup>1</sup>	Excel. <sup>1</sup>	Unkwn.	Mod. <sup>1</sup>
MN	Manganese titanium	Li <sub>1.2</sub> Mn <sub>0.6</sub> Ni <sub>0.2</sub> O <sub>2</sub> (Graphite)		Research <sup>1</sup>	Excel. <sup>1</sup>	Excel. <sup>1</sup>	Excel. <sup>1</sup>	Unkwn.	Mod. <sup>1</sup>

Source : Institute of Transportation Studies University of California Davis, CA – rapport UCD-ITS-RR-08-14 , may 2008

# Les nanotechnologies et le Lithium-ion ...

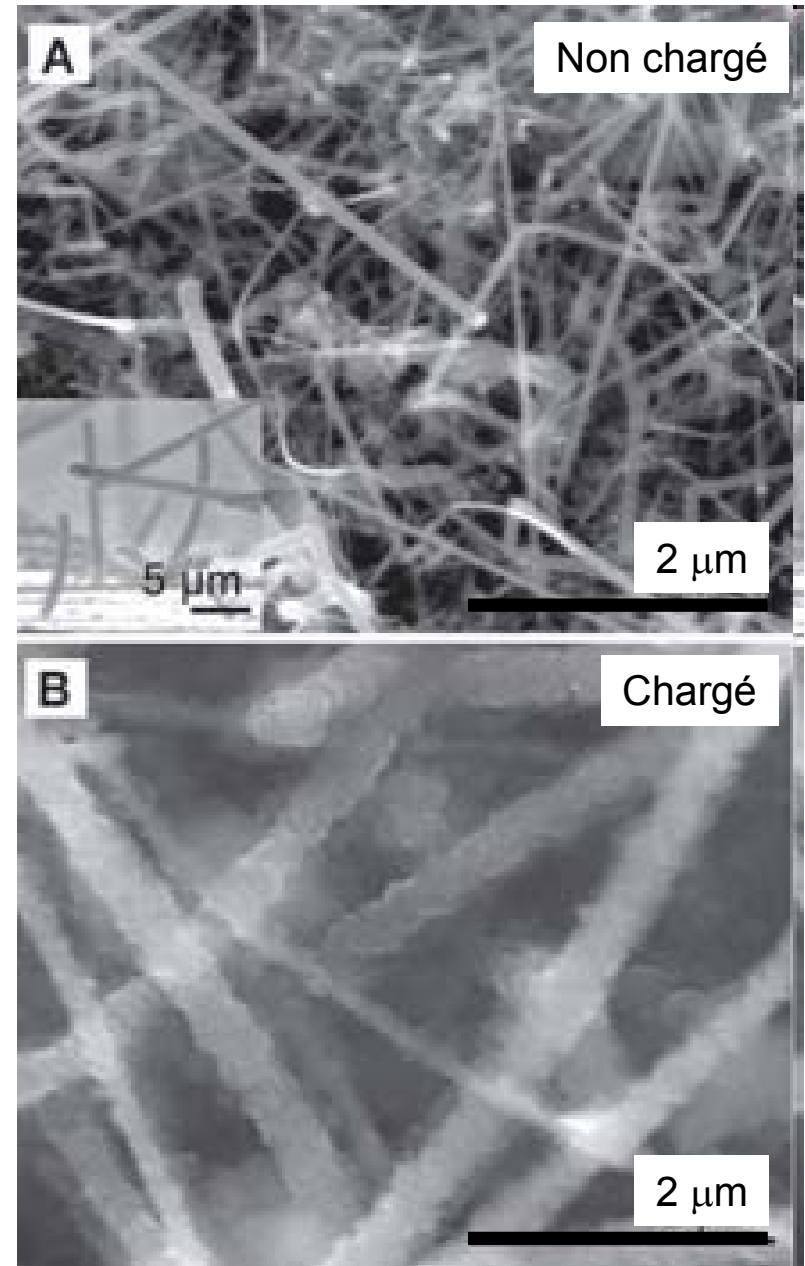


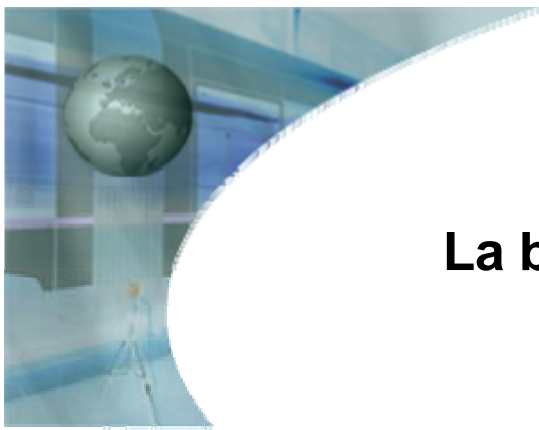
Les mécanismes d'insertion des ions  $\text{Li}^+$  dans les matériaux d'électrodes sont fortement influencés par la structure de ces matériaux

Des matériaux nanostructurés peuvent accepter 10 fois plus d'ions  $\text{Li}^+$  que des matériaux conventionnels

- Gain en capacité énergétique
- Réduction des contraintes
- Gain en durée de vie

*Altairnano annonce une batterie qui durera plus longtemps que le véhicule...*





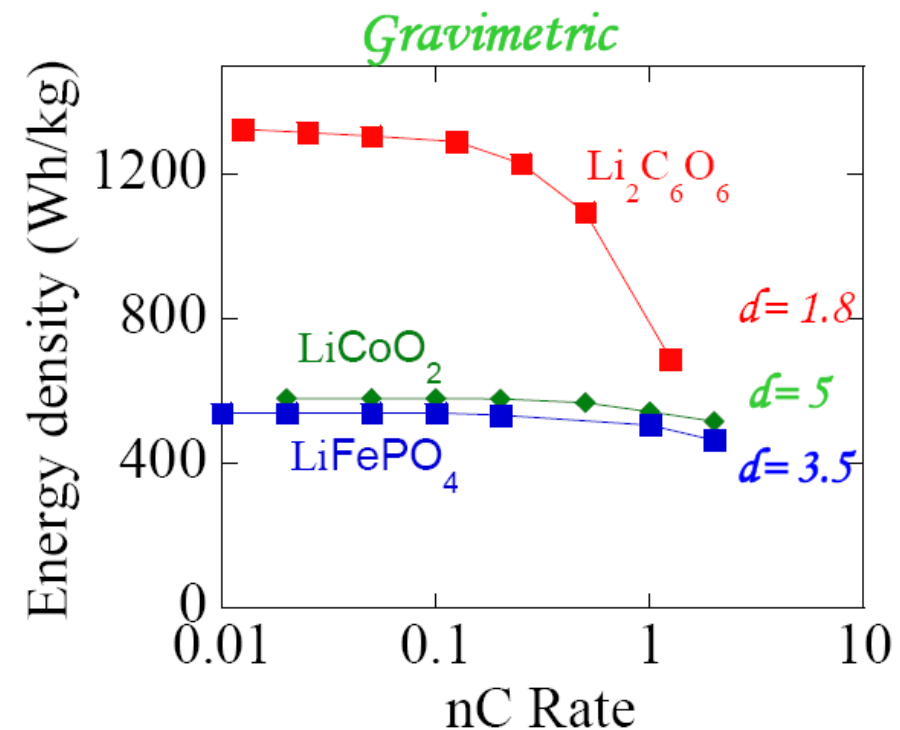
# Pour aller encore plus loin avec du Lithium ...

## La batterie Lithium-air :

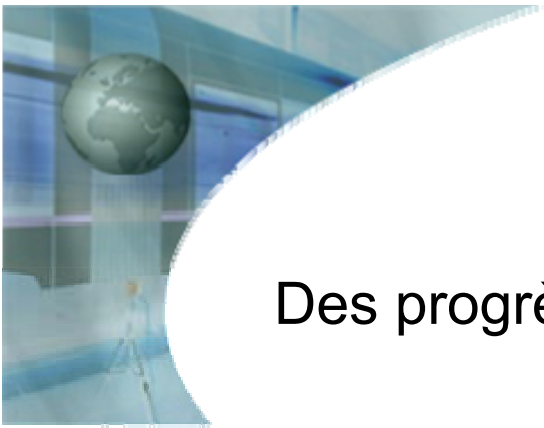
- Très forte densité énergétique théorique (comparable à celle de l'essence)
- Nombreux problèmes à résoudre (stabilité, charge,...)

## La batterie Lithium organique :

Une cathode en  $\text{Li}_2\text{C}_6\text{O}_6$  présente de bonne caractéristique en énergie massique, mais des faiblesses en puissance.  
Fort intérêt « environnemental ».



Source : JM TARASCON - Li-ion Batteries: Recent advances and future trends -2008

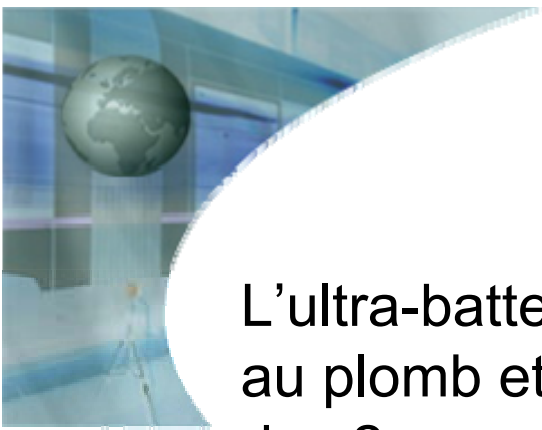


## Pour en finir avec le Lithium ...

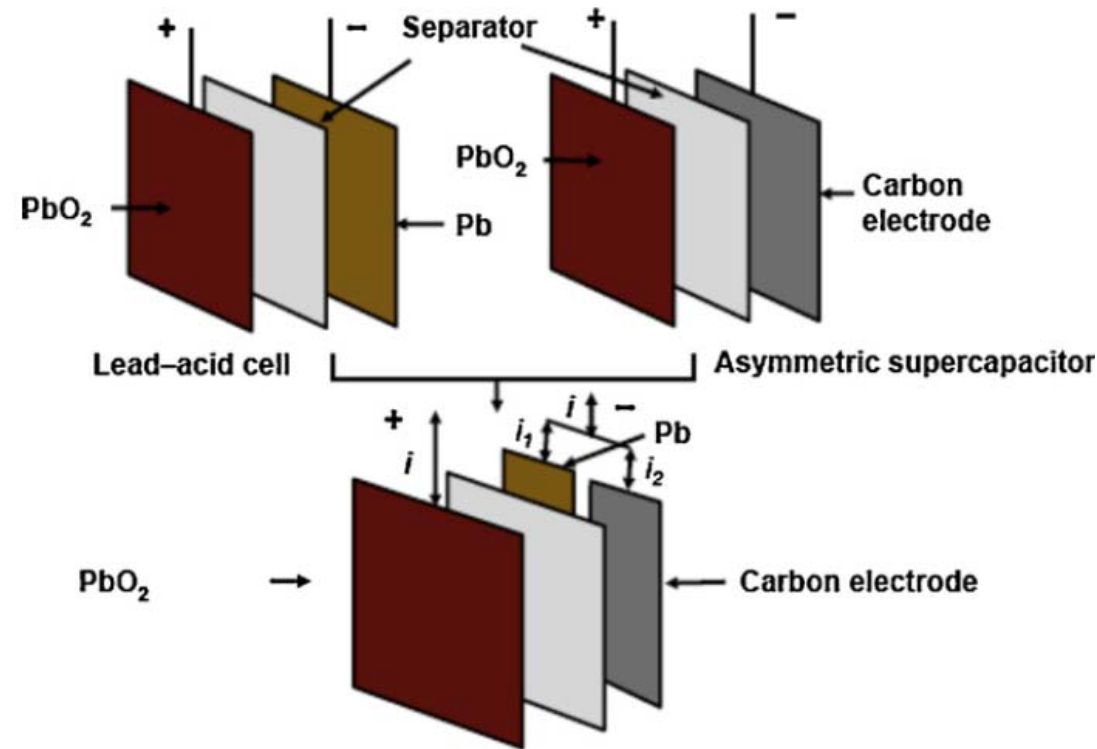
Des progrès indispensables à faire :

- La maîtrise de la durée de vie
- Le prix ( 700-1000\$/kWh – objectif 150-300\$/kWh )
- La sécurité

Au-delà des annonces, l'attente continue ; actuellement, aucun constructeur ne propose de véhicule grand public équipé en Lithium (la Volt de GM est affichée à 150 000\$ ...).



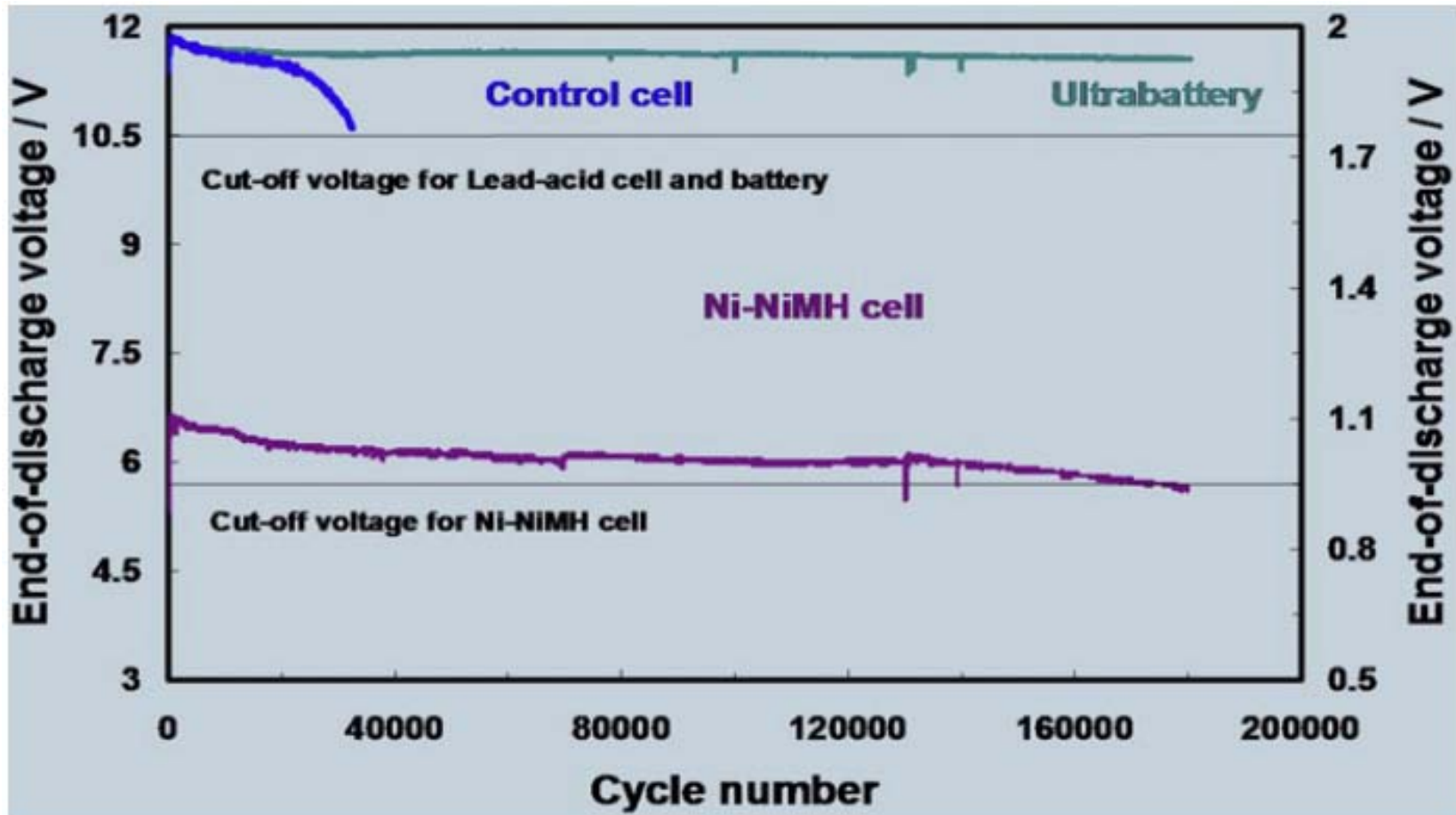
L'ultra-batterie au plomb ... ou le mariage (réussi ?) d'une batterie au plomb et d'un supercondensateur pour capitaliser les avantages des 2 composants sans aucun convertisseur supplémentaire.



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

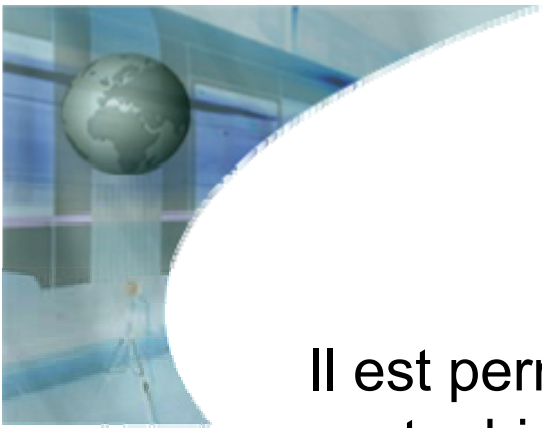
Et ça marche !...

Des tests sur un HEV ont permis de réaliser 100 000 miles et de prouver une durée de vie aussi longue que NiMH



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



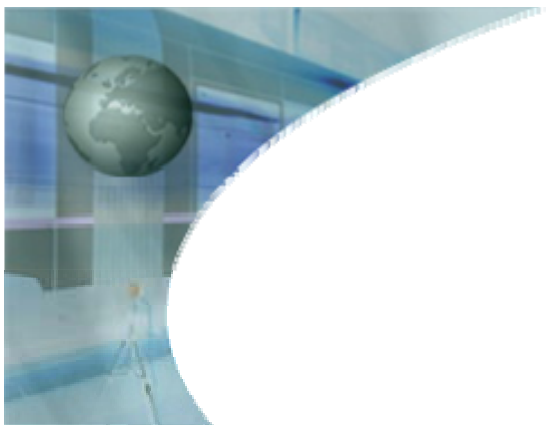


Il est permis de penser (de croire ?) que des produits industriels vont « bientôt » pouvoir être diffusés « massivement ».

Les perspectives de recherche en électrochimie et en nano-matériaux permettent d'entrevoir des solutions pour des batteries au Lithium encore plus performantes.

L'hybridation des composants de stockage semble être incontournable (batterie + supercondensateurs ou plusieurs batteries de technologies différentes, ...).



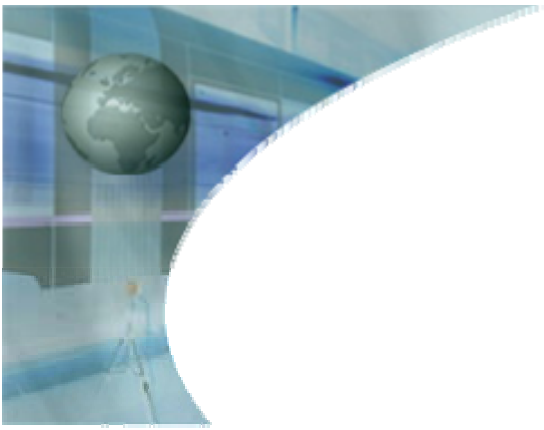


Un bilan environnemental global (dust to dust) des filières de batteries doit être réalisé.

Controverse sur les ressources de lithium et les capacités de production (impacts sur l'environnement et sur le prix des matériaux)

Des études montrent que même la technologie la plus « propre » imaginable ne permet d'atteindre que la moitié des objectifs français de diminution en émission de CO<sub>2</sub> (le fameux facteur 4)...

(Y. Crozet, LET-ENERDATA, Perspectives 2050 pour le PREDIT)



**Ne pas attendre la batterie miraculeuse !**

**D'ailleurs, combien de temps peut-on encore attendre avant de faire quelque chose ?**

**Merci de votre attention**