

# LE STOCKAGE: APPLICATIONS, TECHNOLOGIES

MARION PERRIN



**CONFIDENTIAL CEA**

- 1. Les applications du stockage/Les technologies**
- 2. Choix de la technologie**
- 3. Focus sur le plomb**
- 4. Focus sur le lithium-ion**

## Mobilité Electrique



- VAE/E-scooter



- VEH/VE



- E-bus



- Engins de levage



- BEH/BE



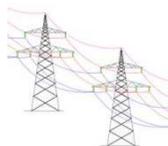
- Aéronautique



- (batteries SLI)



## Syst. Connectés au Réseau



- Sécurisation UPS
- Lissage de la production PV
- Report de la production PV
- Autoconsommation PV

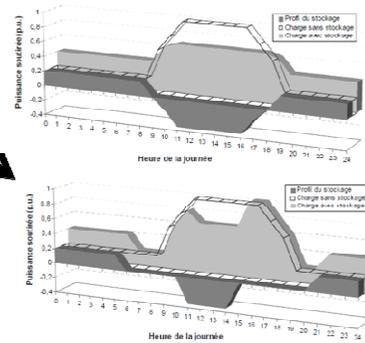


**Lithium (dont V2G)**  
**Redox**  
**Batteries Htes T°C**



## Service du stockage consommateur (> 10kW)

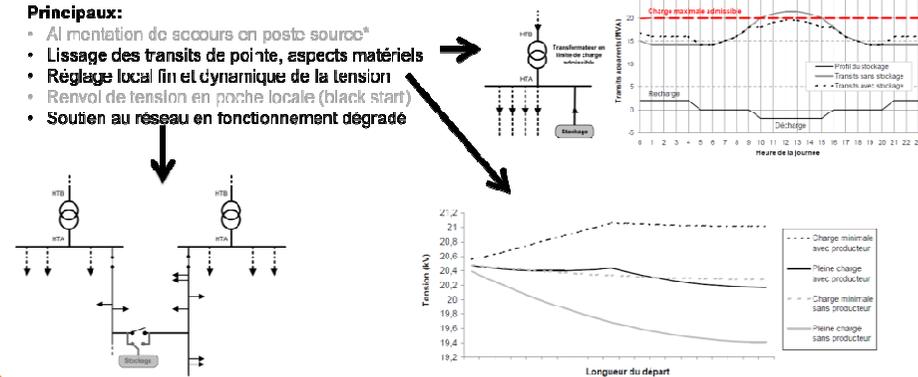
- Lissage de la pointe
- Continuité d'alimentation (UPS)
- Compensation de puissance réactive (remplacement bancs de condensateurs)
- Report de consommation (HP/HC)



## Service du stockage GRD (> 50 kW)

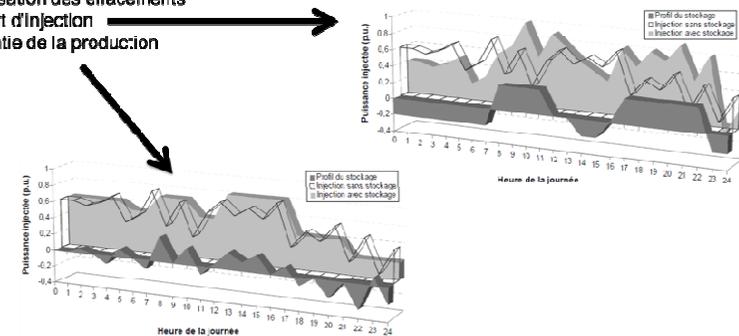
### Principaux:

- Alim. de secours en poste source\*
- Lissage des transits de pointe, aspects matériels
- Réglage local fin et dynamique de la tension
- Renvol de tension en poche locale (black start)
- Soutien au réseau en fonctionnement dégradé

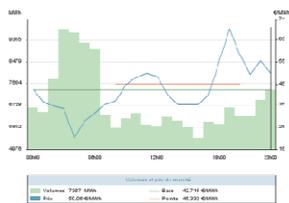


## Service du stockage EnR

- Contribution des EnR aux services système
- Limitation des perturbations induites en amont
- Valorisation des effacements
- Report d'injection
- Garantie de la production

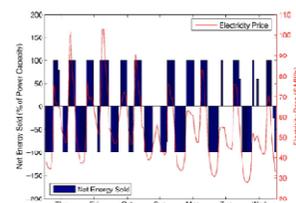


## Gestion du stockage en Arbitrage



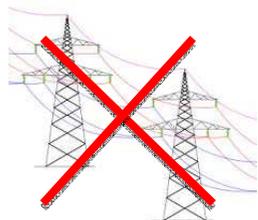
Prix Spot EPEX Intraday

Gains VS OPEX BESS



Pilotage BESS indexé sur prix SPOT

## Systèmes Autonomes

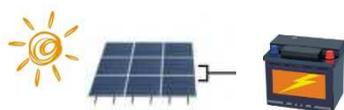


- Appareils nomades



**Lithium (NiMH)**

- Systèmes PV isolés



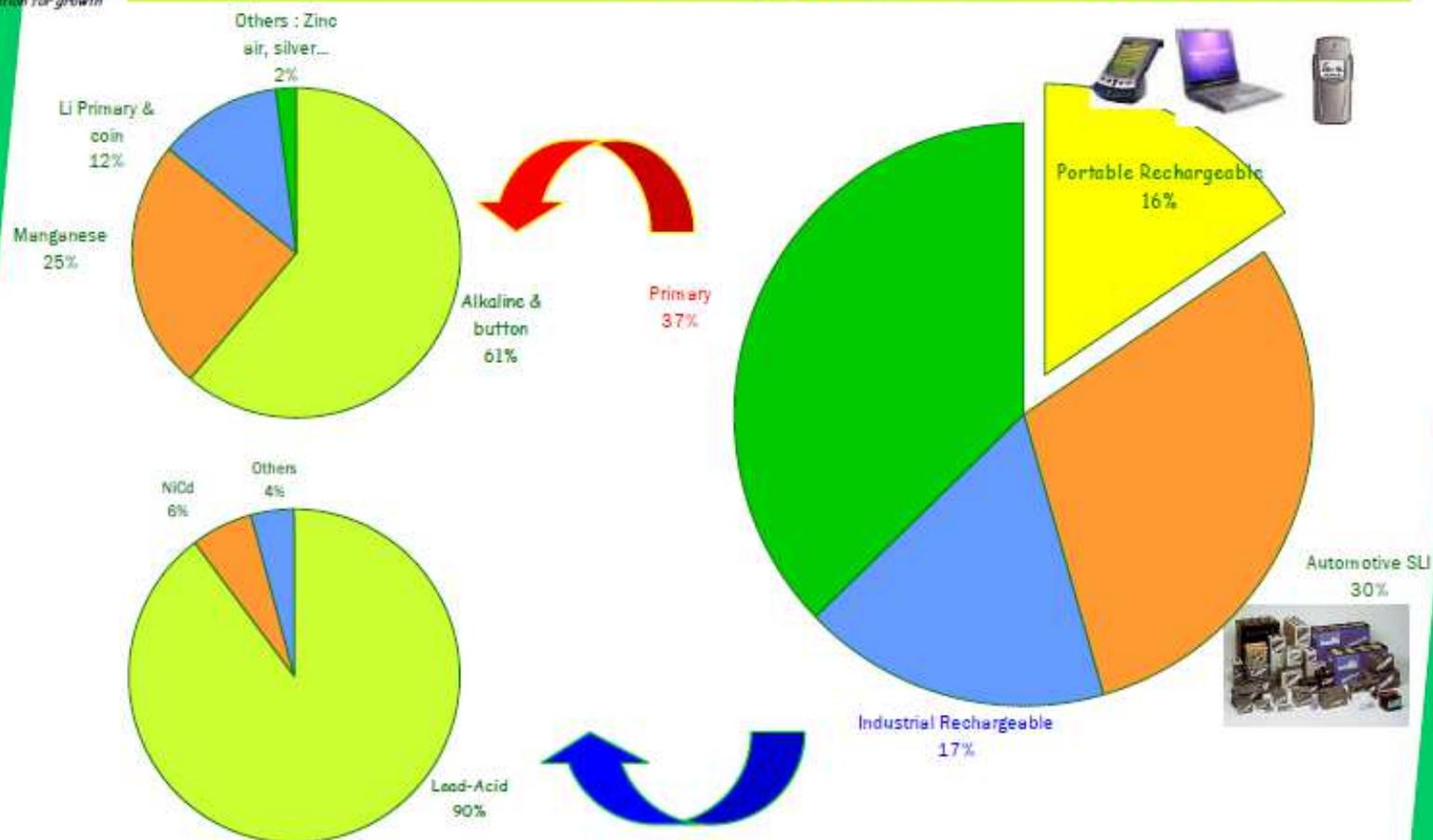
**Plomb (NiCd)**



AVICENNE  
Développement

Information for growth

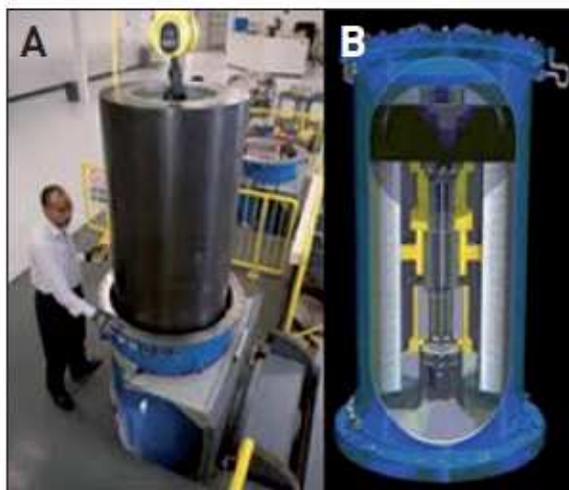
## 2003 - Battery market worldwide Roughly 30 Billion US \$



## •Batteries Li-ion:

- 11,7 Mrds€ en 2012 (64% consumer)
- 22 attendus en 2016 (Frost&Sullivan) ( 52% consumer)

0	0	2	2	2	2	2	3	3	4
Direct		Mécanique		Électrochimique			Thermique		Électrochimique
		Statique	Dynamique						
condensateur 	Supra-conducteur à anneau de stockage 	Pompage-turbinage : pompe alimentée par centrale électrique  Pression atmosphérique	Volant d'inertie 	Batterie basse Température 	Batterie haute Température 	Pile à combustible H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> 	Eau chaude 	Périphérique PCM  a) Vapeur d'eau (100 bars) b) LiF/NaF fondus	Moteur H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> 



- Temps de réponse
- Puissance disponible
- Ratio Puissance/Energie
- Profondeur de décharge
- Durée de vie
- Coût
- Maintenance prédictive/curative
- Impact environnemental



**Plomb avancé**



**NiMH/NiCd**



**Batteries Redox**



**Sodium-beta**



**Supercapacités**

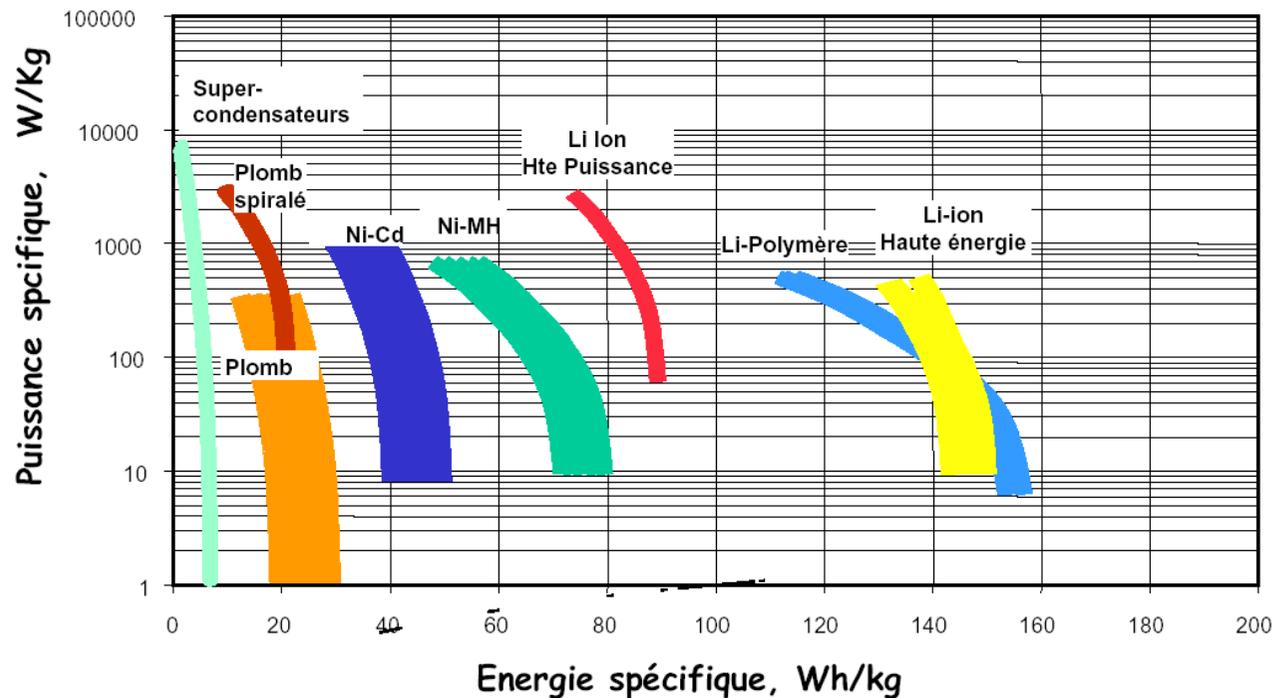


**Lithium-ion**

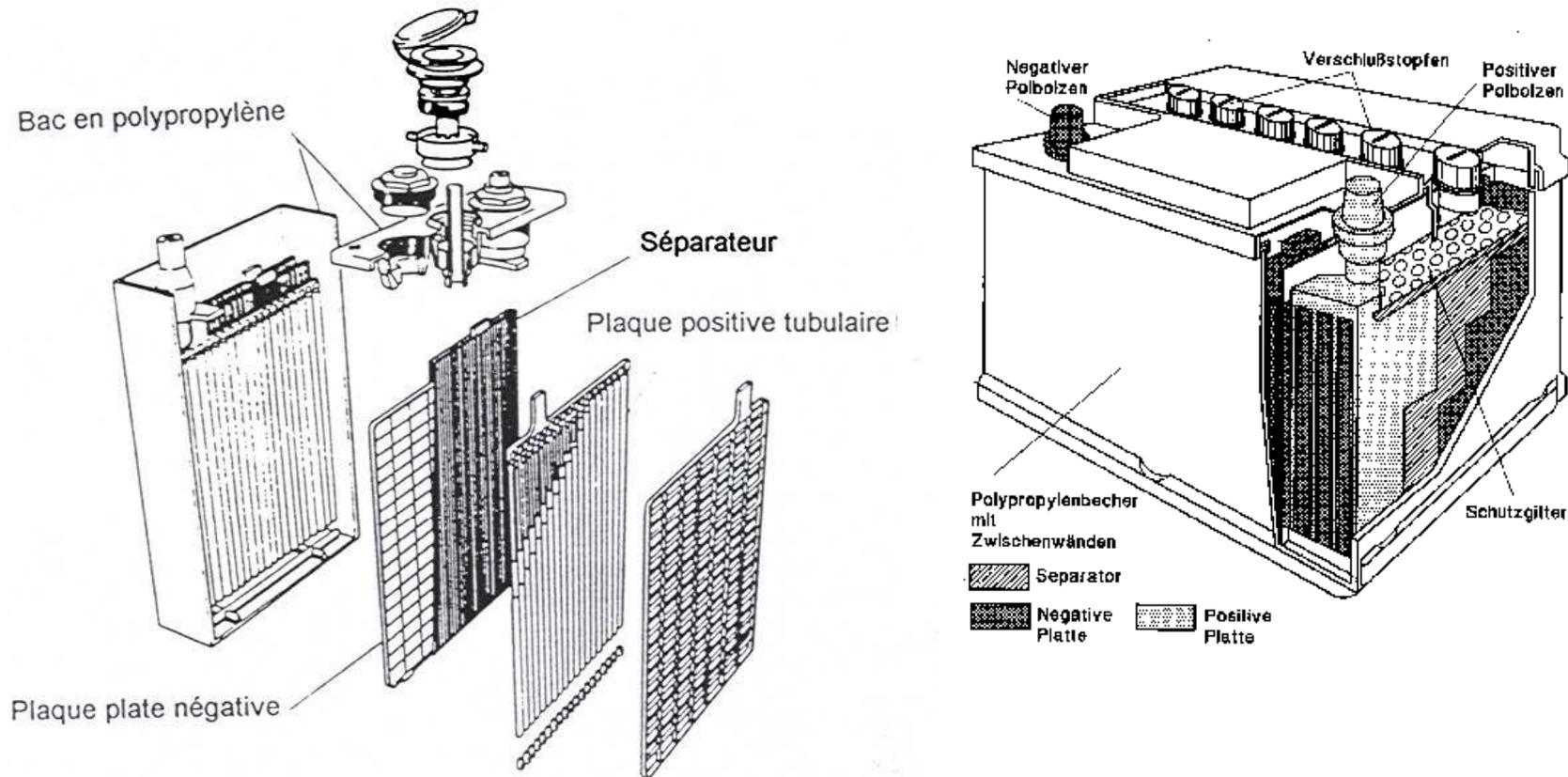
Diagramme de Ragone :

Outil de comparaison des performances énergétiques pour déterminer le choix du système de stockage selon l'application

Diagramme de Ragone: W/kg / Wh/kg

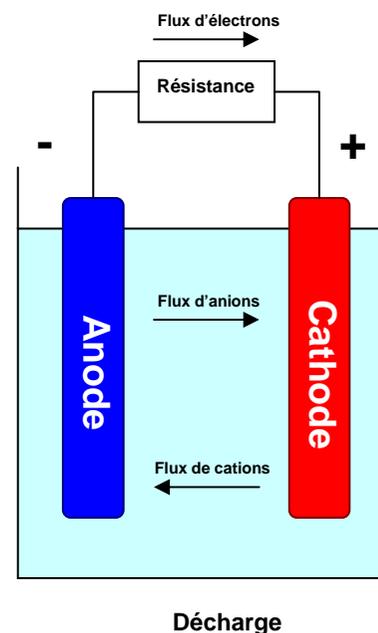
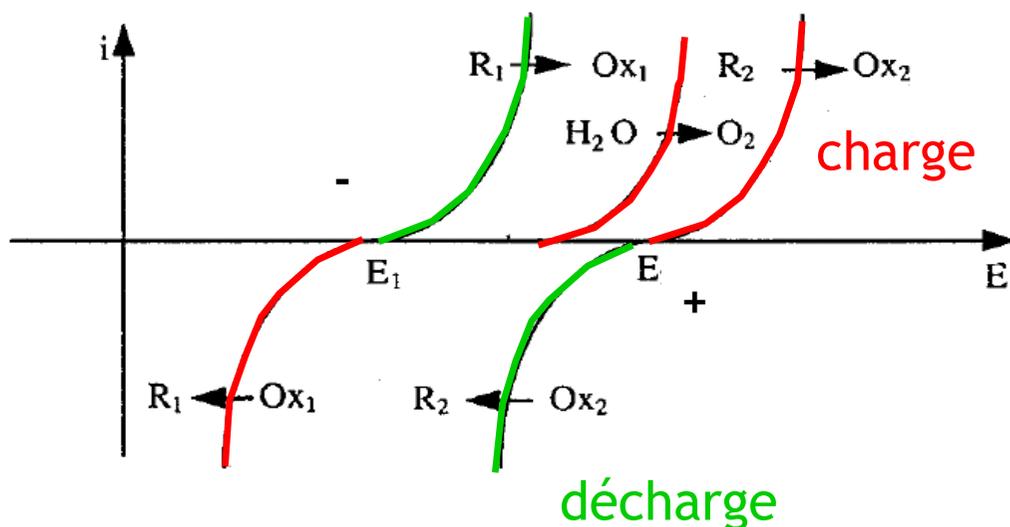


Il situe sur une échelle log-log la puissance (W/kg) et l'énergie spécifique (Wh/kg) du système de stockage.



Tension nominale élémentaire: 2V

## ◆ Générateurs électrochimiques



### Décharge:

- $\text{Red}_1 \rightarrow \text{Ox}_1 + e^-$  (anode)
- $\text{Ox}_2 + e^- \rightarrow \text{Red}_2$  (cathode)

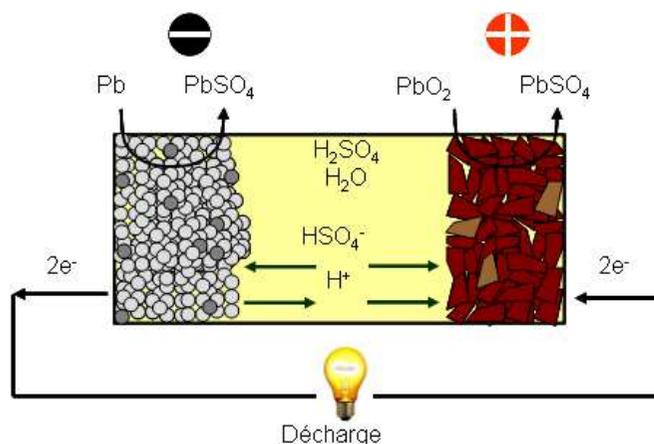
## ◆ Energie chimique $\Leftrightarrow$ Energie électrique

En décharge, nous observons :

- à l'électrode positive une réduction du dioxyde de plomb  $\text{PbO}_2$  qui se transforme en sulfate de plomb :



- à l'électrode négative une oxydation du plomb qui se transforme aussi en sulfate de plomb



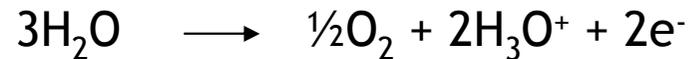
Lors de la recharge nous observons les réactions électrochimiques inverses :

- à l'*électrode positive* le dioxyde de plomb se reforme
- à l'*électrode négative* le plomb spongieux se reforme
- pendant la **recharge** l'acide sulfurique est recréé, la **densité de l'électrolyte augmente**.

Electrolyte aqueux induit des réactions secondaires incontournables :

➔ **Electrolyse de l'eau en fin de charge**

- Génération d'oxygène à l'électrode positive

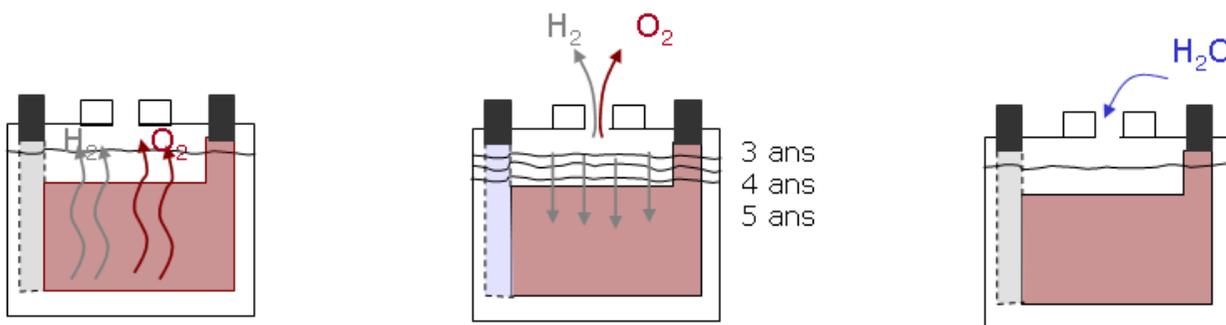


- Génération d'hydrogène à l'électrode négative



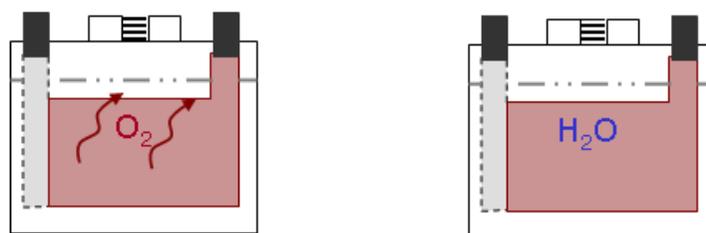
## Concept ouvert :

- Perte d'eau : remise à niveau de l'électrolyte
- Maintenance régulière



## Concept étanche :

- Cycle de recombinaison de l'oxygène



Diffusion de l'oxygène produit sur l'électrode positive vers l'électrode négative

- Réduction de l'oxygène
- Pas de perte d'eau

- Batteries ouvertes

- Batteries étanches:

- ◆ électrolyte gélifié

- ◆ électrolyte absorbé (AGM)

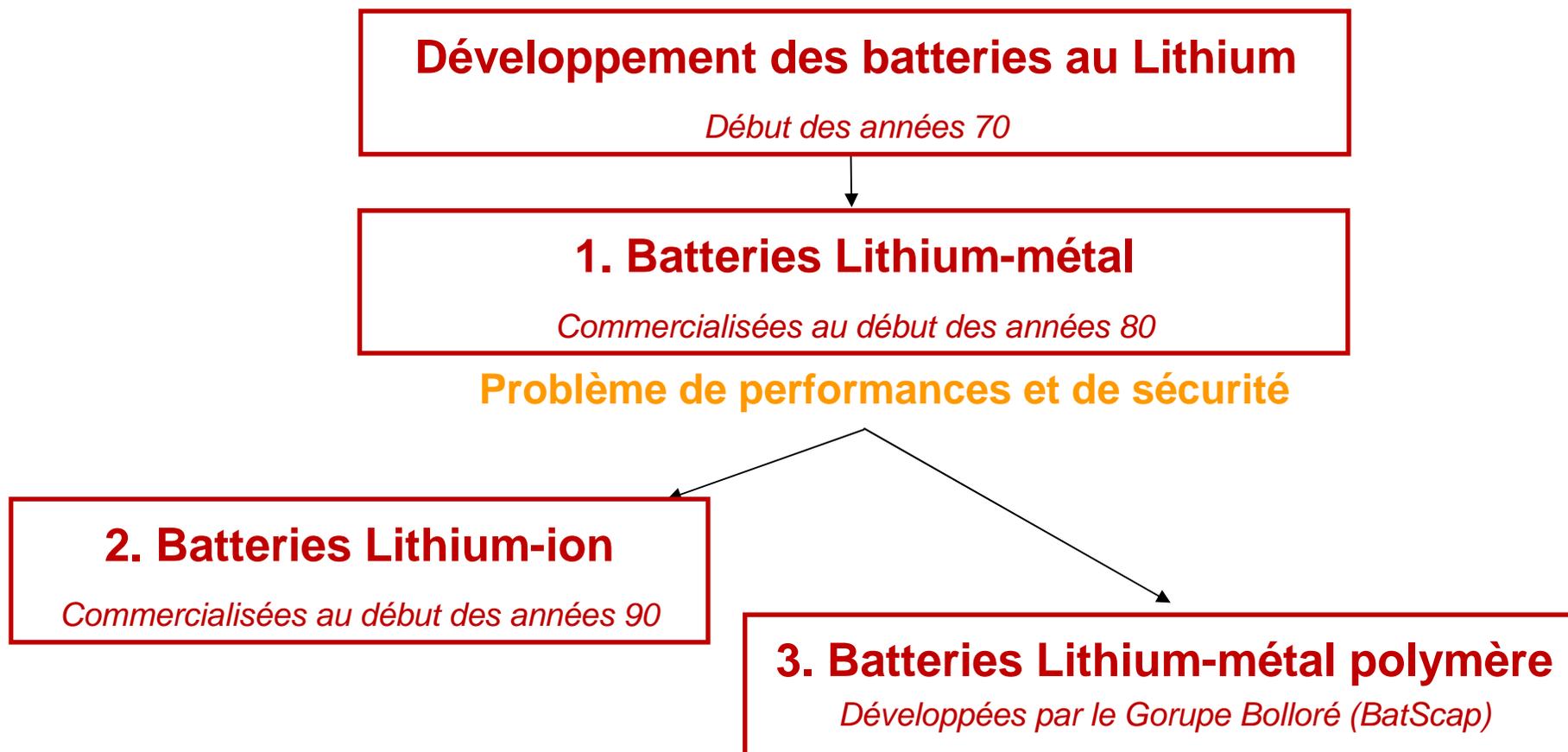
### Plaques planes :

- démarrage (SLI)
- type taxi et camion
- solaire
- stationnaire

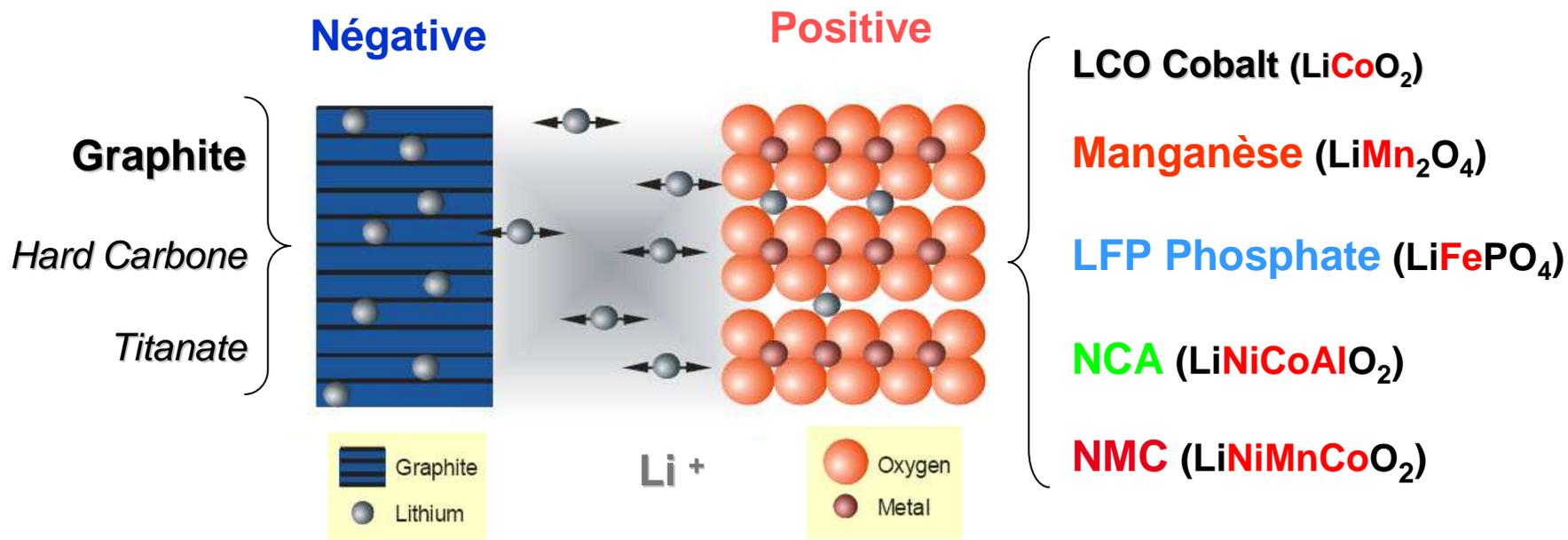
### Plaques tubulaires:

- traction
- stationnaire
- solaire

- Historique



- Batteries Lithium-ion



*Li-ion picture: courtesy of Prof. M. Winter*

- 2 types de vieillissement...

- ...en usage, mais aussi au repos !

Vieillissement en cyclage  
(= *mode roulage*)

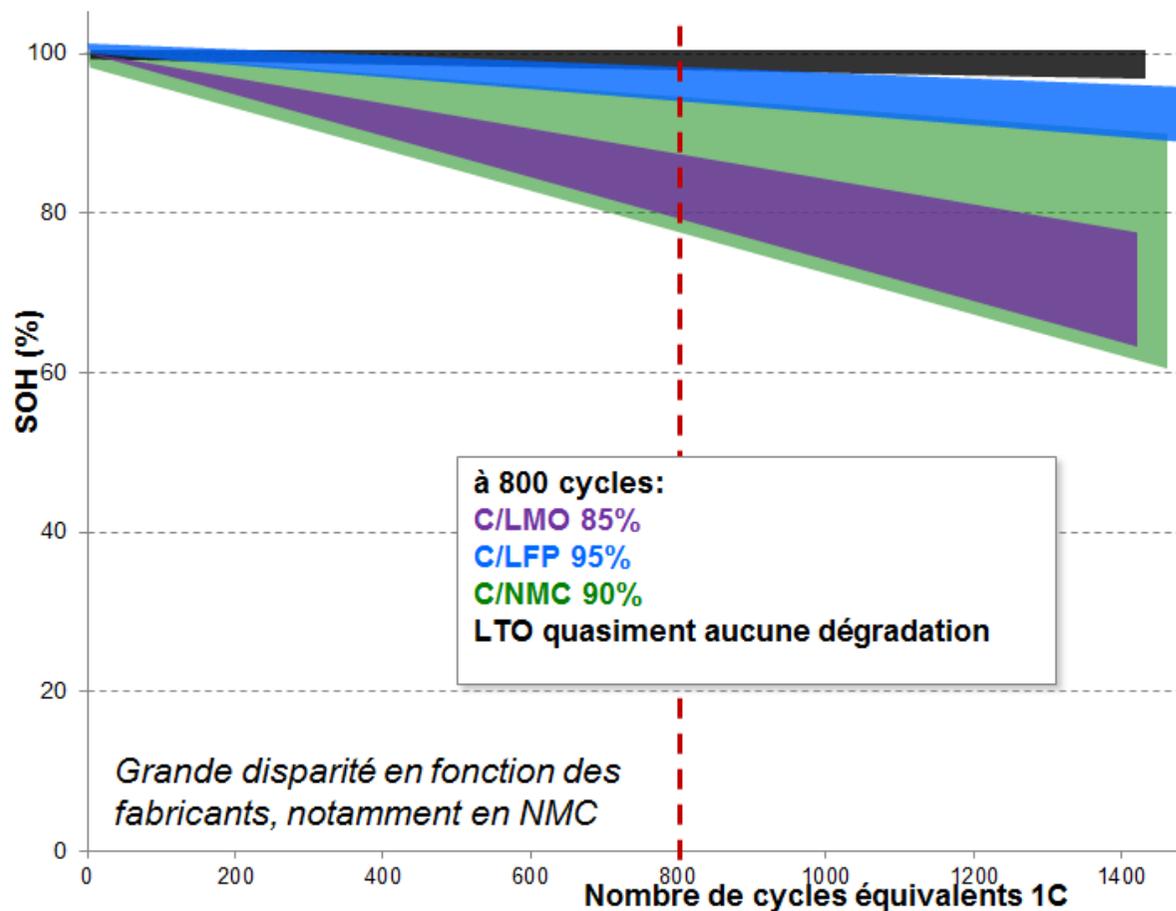


Vieillissement au repos  
(= *mode parking*)

**80 à 95 %  
du temps  
d'utilisation  
d'un véhicule !**

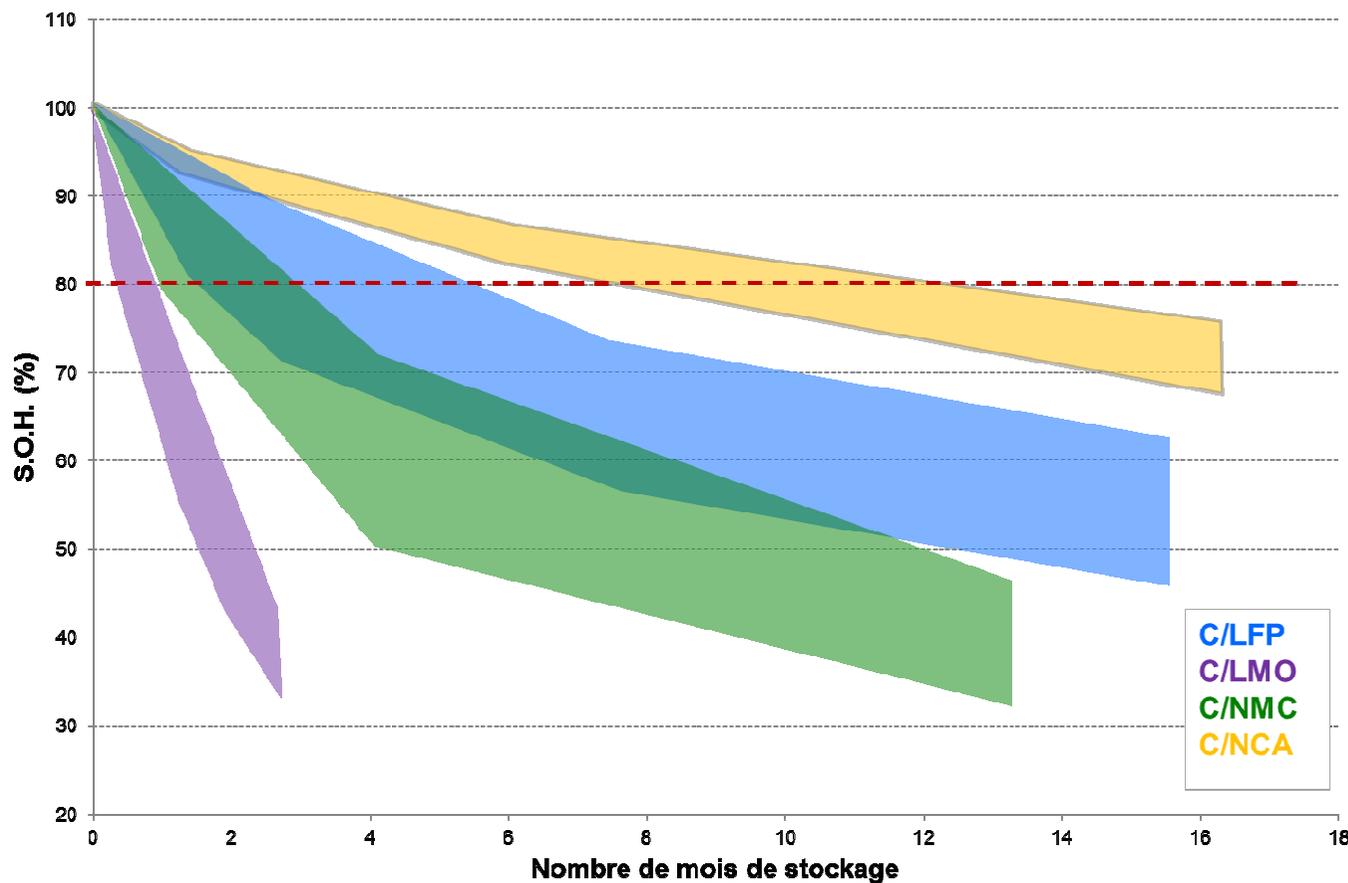


- Performances en vieillissement en cyclage



Résultats de cyclage à 25°C

## ● Performances en vieillissement calendaire



Résultats de calendrier à  $T=60^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{SOC}=100$

## **EN CONCLUSION**

- **Le marché du stockage est en pleine expansion**
- **De nombreuses technologies émergent avec des caractéristiques propres**
- **Le choix de la technologie et la gestion sont des « verrous »**

**Applications**

**Véhicules  
électriques**



**Stockage  
connecté réseau**



**Systèmes  
autonomes**



**Activités**

## 1. Caractérisation / développement de batteries

*(benchmarking, identification, standardisation, nouvelles technologies, capteurs innovants)*

## 2. Modélisation des batteries

*(outils de simulation, outils de dimensionnement)*

## 3. Gestion des batteries

*(BMS, indicateurs d'état, algorithmes de charge/décharge)*

## 4. Intégration des batteries aux réseaux

*(dimensionnement, indicateurs spécifiques, energy management system EMS)*

Merci de votre attention

Marion.perrin@cea.fr

