



# Systèmes batteries embarqués : état de l'art, conditions de mise en œuvre et perspectives technico-économiques

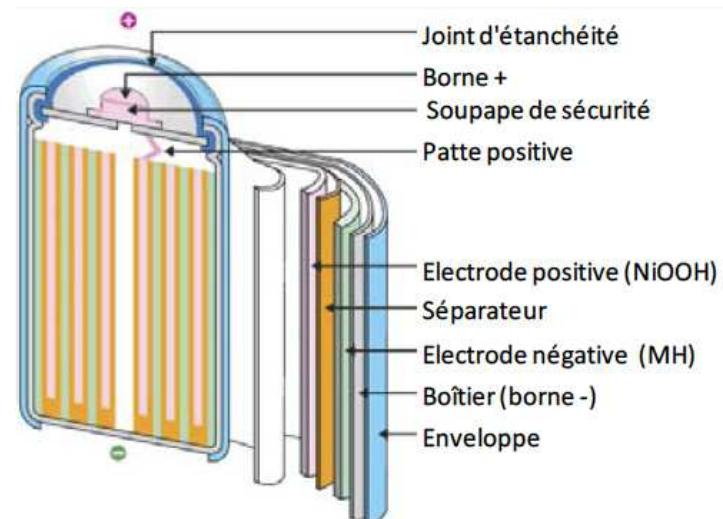
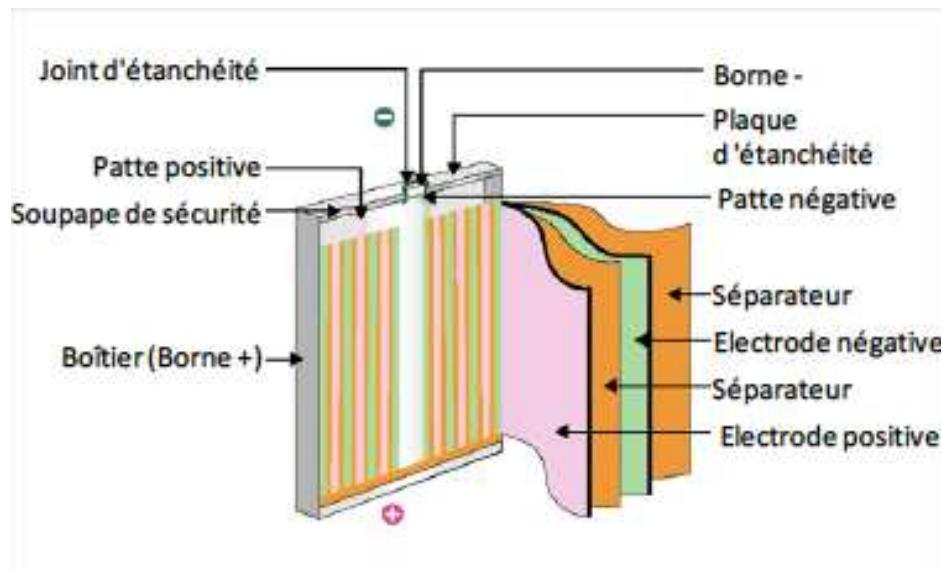
Amiens, 18 novembre 2010

François Barsacq  
[francois.barsacq@easlibatteries.com](mailto:francois.barsacq@easlibatteries.com)  
01 83 62 48 98 / 06 31 80 02 02

Sylvain Vernageau  
[Sylvain.vernageau@easlibatteries.com](mailto:Sylvain.vernageau@easlibatteries.com)  
01 83 62 48 97 / 06 63 37 06 06

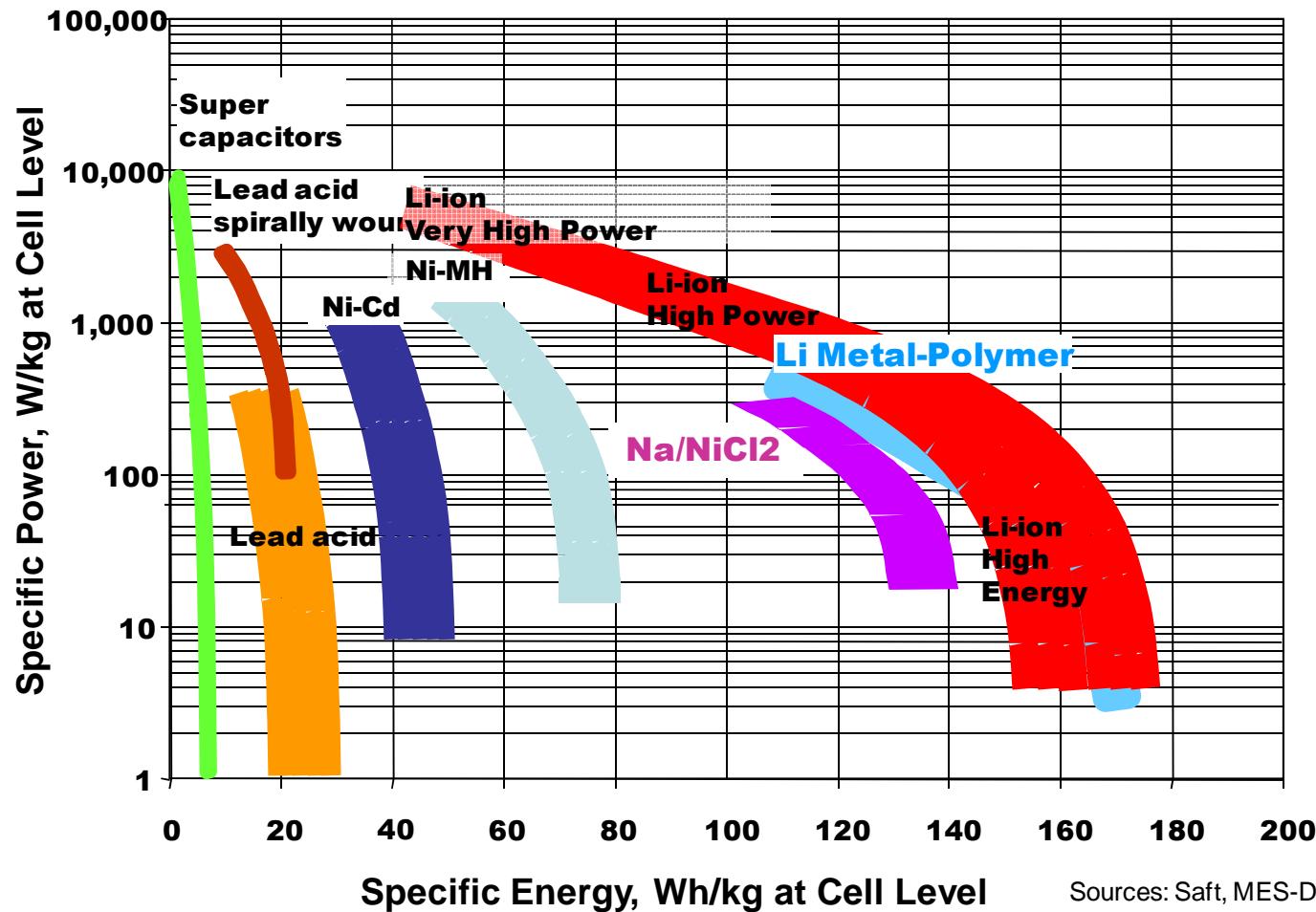
- A. Les différentes technologies de batterie
- B. Gestion des charges et décharges
- C. Processus de développement d'un système batterie
- D. Réglementations
- E. Perspectives de marché

- Une batterie est composée d'un ou plusieurs accumulateurs montés en série/parallèle. L'énergie y est stockée sous forme électrochimique et le courant électrique est généré par une réaction d'oxydoréduction.
- L'accumulateur est formé de deux électrodes, l'une positive (la cathode), l'autre négative (l'anode), baignant dans un électrolyte.
- L'anode, la cathode et l'électrolyte sont les trois éléments qui déterminent en fonction de leur composition le type de batterie.



Source : BAJ

- Les différents types de batterie peuvent être comparés selon de nombreux critères. Le graphique ci-dessous (« diagramme de Ragone ») compare les densités de puissance et d'énergie.



Sources: Saft, MES-DEA

Quelques définitions avant de comparer les grands familles de batteries

- **Cyclage - Cycle life** : Nombre de cycles de charge et décharge
- **Durée de vie calendaire - Calendar life** : Durée de vie sur étagère sans réalisation de cycle
- **PDD – DOD - Profondeur de décharge** : Energie déchargée lors d'un cycle (en %)
- **EDC – SOC - Etat de charge** : ratio entre capacité chargée et capacité totale (en %)
- **Capacité - Capacity** : Quantité maximum d'énergie stockée dans la batterie (en Ah ou Wh)
- **Autodécharge - Self Discharge** : Perte de capacité de la batterie lors de son stockage (en %)
- **Efficacité de Charge – Charge Efficiency** : Ratio Ah déchargée / Ah chargée
- **Densité d'énergie massique - Specific Energy** : Energie par unité de masse Wh/kg
- **Densité d'énergie volumique - Energy Density** : Energie par unité de volume Wh/l
- **Densité de puissance massique - Specific Power** : Puissance par unité de masse W/kg
- **Densité de puissance volumique - Power Density** : Energie par unité de volume W/l

## Tableau de comparaison des technologies (ordres de grandeur)

	Plomb	Nickel-Cadmium	Nickel-Métal Hydure	Lithium-ion
Tension cellule	2,0 V	1,2 V	1,2 V	3,2 V (LFP) / 3,6 à 3,7 V (oxydes métalliques)
Energie Spécifique	25-50 Wh/kg	30-60 Wh/kg	50-90 Wh/kg	100-230 Wh/kg
Cycles	200-500	1500-2000	1000	500-2000
Domaine de Température	0°C à 50°C	-30°C à 50°C	-20°C à 50°C	-20°C à 50°C
Autodécharge	~5% /mois	~15% /mois	~25% /mois	~2% /mois
Durée de vie calendaire	5 ans	10 ans	5-10 ans	5-15 ans
Prix kWh (Pb base 100)	100	300	350	300 à 500
Temps de charge standard	8 hrs	5 hrs	3-5 hrs	3 hrs

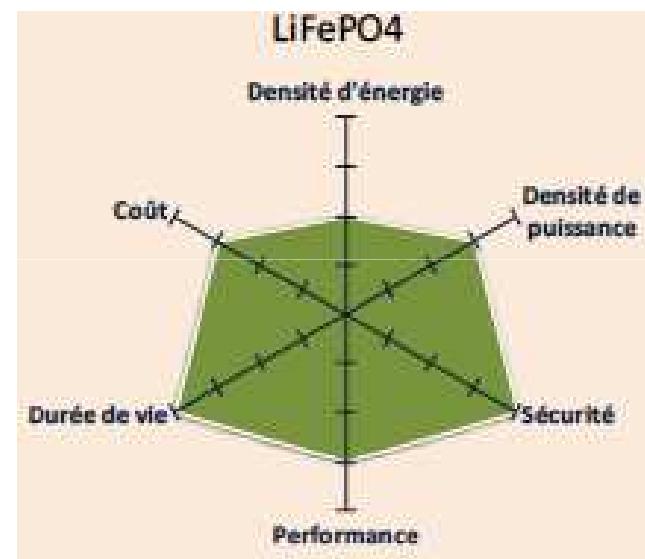
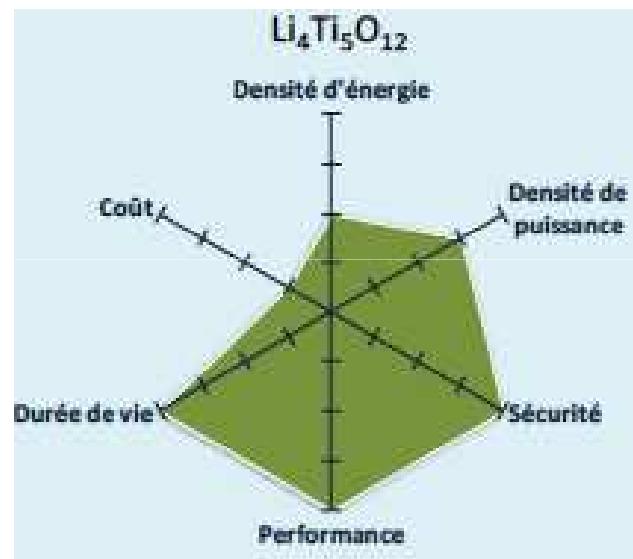
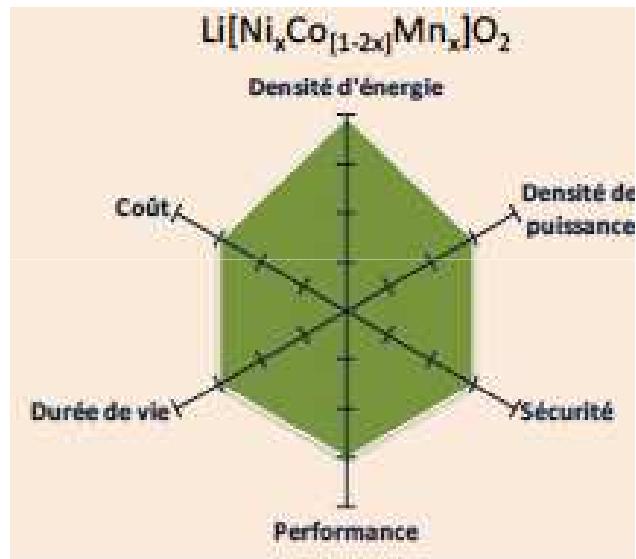
La technologie Lithium-ion se compose de 2 grandes familles **d'électrode positive** :

- **Les oxydes de métal lithiés**
  - **Lithium Cobalt**  
Excellent densité d'énergie **mais** coût élevé et risque d'emballement thermique
  - **Lithium Manganèse**  
Stabilité thermique, plus économique que le Cobalt **mais** énergie spécifique plus faible
  - **Lithium Nickel (NCA pour Nickel Cobalt Aluminium)**  
Excellent durée de vie et densité d'énergie/puissance **mais** coût élevé et risque d'emballement thermique
  - **Lithium NMC (pour Nickel Manganèse Cobalt)**  
Compromis énergie, coût et sécurité
- **Le Lithium Phosphate de Fer (LFP, LiFePO<sub>4</sub>) :**  
Excellent stabilité thermique et densité de puissance, bonne durée de vie **mais** faible densité d'énergie

**L'électrode négative** est dans la majorité des cas composée de graphite, parfois remplacé par du **titanate de lithium Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>**, qui procure :

- Un très bon comportement à haute température : cellule autoclavable
- Une très bonne durée de vie en cyclage
- Une meilleure stabilité thermique qu'avec des anodes en Graphite
- **Mais** densité d'énergie médiocre

## Synthèse des Avantages / Inconvénients des NMC, Titanate et LFP



D'autres technologies sont disponibles pour des applications de véhicules électriques : Zebra, proposée par ZF Sonic et Lithium Métal Polymère (LMP) développée par Batscap (groupe Bolloré). Ces 2 technologies sont des « batteries chaudes ».

## ZEBRA:

Energie spécifique (120 Wh/Kg) et durée de vie élevée

Uniquement disponible en batterie de 21,2KWh

Température de fonctionnement : 270-350°C



## LMP:

Technologie réservée pour l'instant aux véhicules du groupe Bolloré et de ses partenaires (Gruau)

Fonctionne à haute température (80°C)

Sels de Lithium dissous dans le polymère (oxyde de polyéthylène)

D'autres technologies sont en cours de développement ou d'évaluation pour des applications stationnaires de grande taille. Par exemple, NaS (Sodium Soufre) de NGK, Japon ou Redox Flow (Vanadium, bromure de Zinc, PSB).

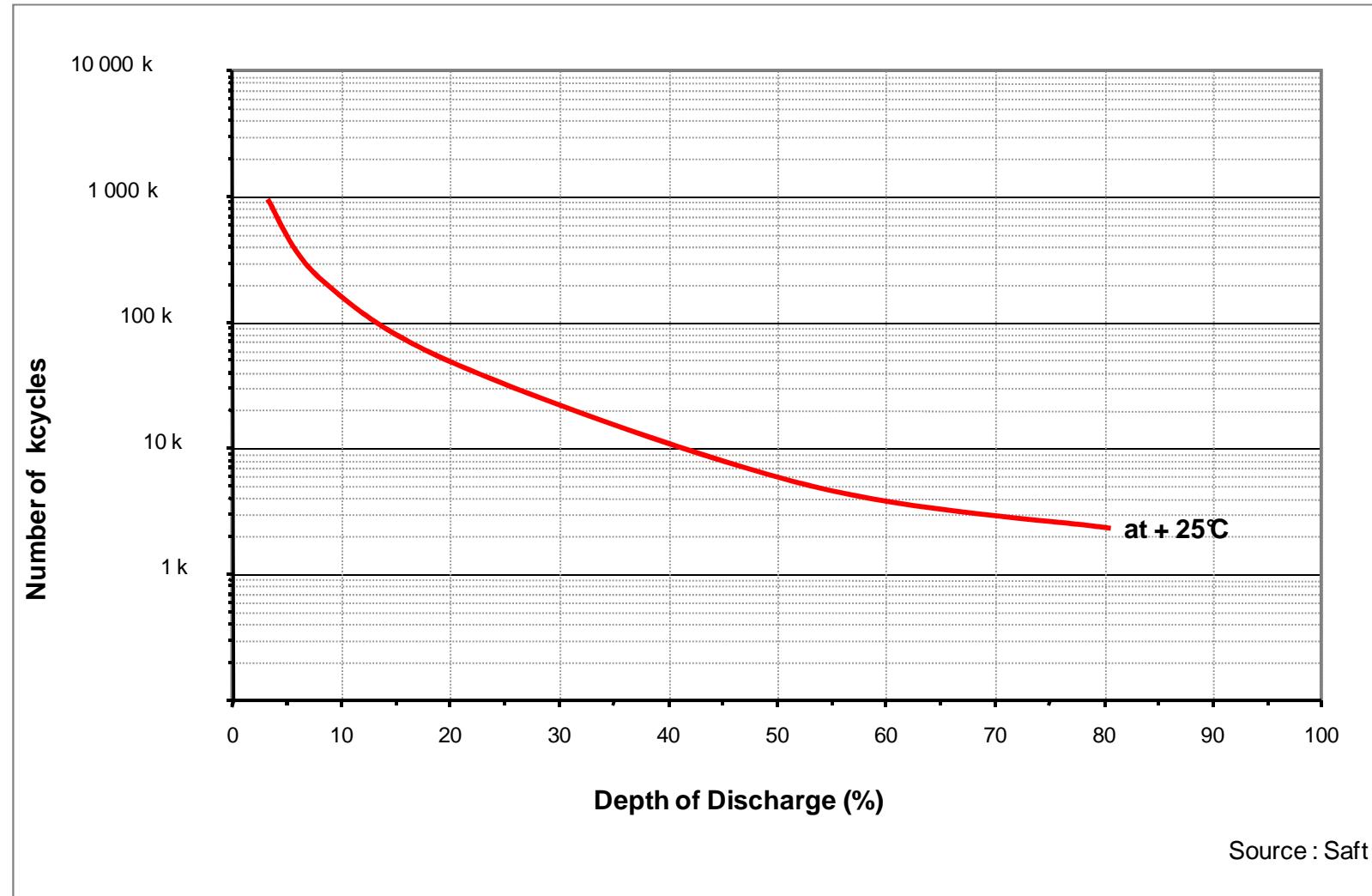
# Gestion de la charge et de la décharge des batteries

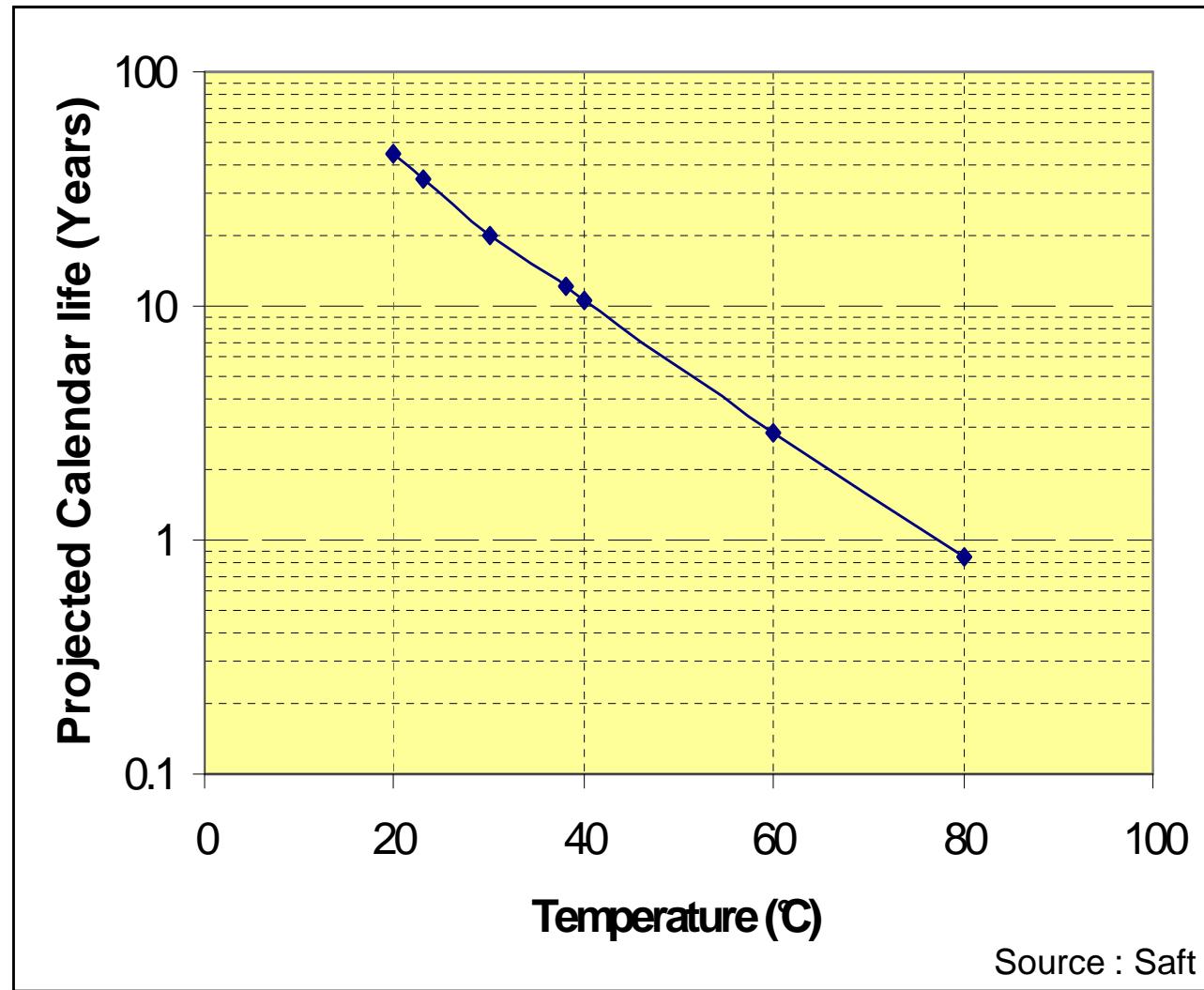
Les utilisations abusives des batteries peuvent avoir des effets irréversibles, et même sécuritaires. Chacune des technologies a ses exigences de fonctionnement qui lui sont propres (conditions de fin de charge, de fin de décharge, etc.).

- ❖ **Ni-MH**
  - Surcharge : Diminution des performances liées à la perte d'électrolyte par ouverture de la soupape de sécurité  
Augmentation de la température de la cellule : La réaction est exothermique
  - Surdécharge : Inversion de polarité qui conduit à l'ouverture de la soupape et perte gazeuse
  
- ❖ **Li-ion**
  - Surcharge : Perte de la capacité  
Impacte la durée de vie
  - Surdécharge : Risques d'emballement thermique  
Peut provoquer des micros court circuits internes  
Perte de capacité

La température de fonctionnement a également beaucoup d'importance. Elle impacte la durée de vie et peut avoir des conséquences sécuritaires dans le cas du Li-ion (emballement thermique)

**=> Les charges doivent être effectuées selon des protocoles définis.** Des systèmes assurant la fin de charge et de décharge doivent être mis en place.



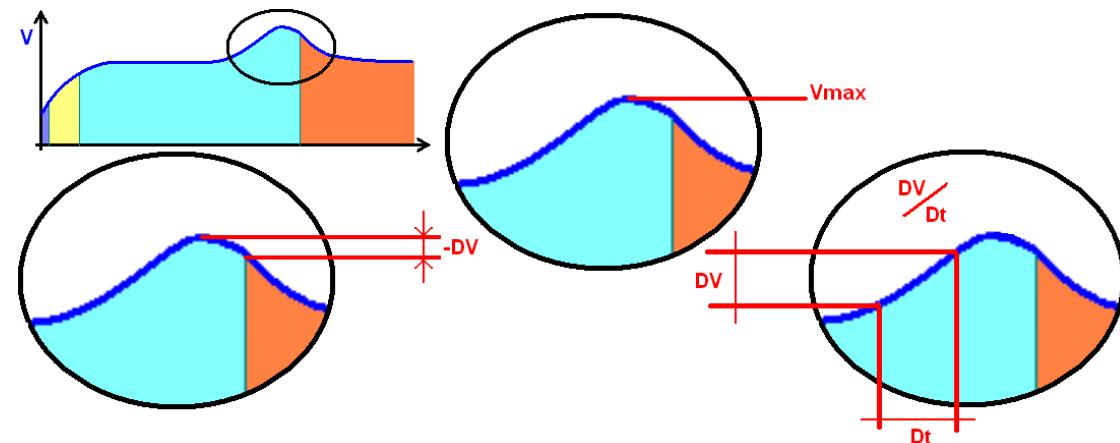
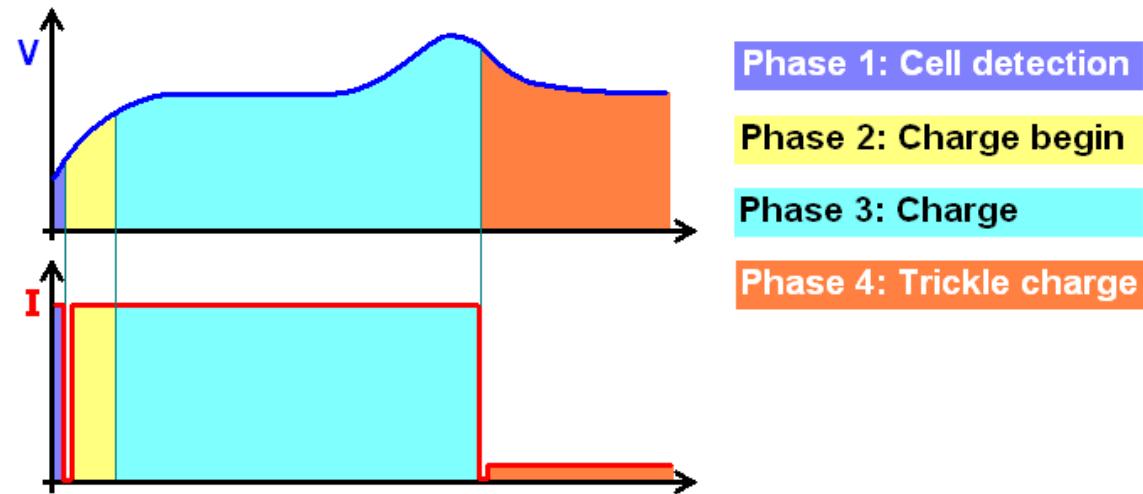


## Profil de charge du Ni-MH :

La charge s'effectue à courant constant. La fin de charge peut être déterminée de 4 manières:

- $V_{max}$
- $-DV$
- $DV/Dt$
- $DT\%Dt$

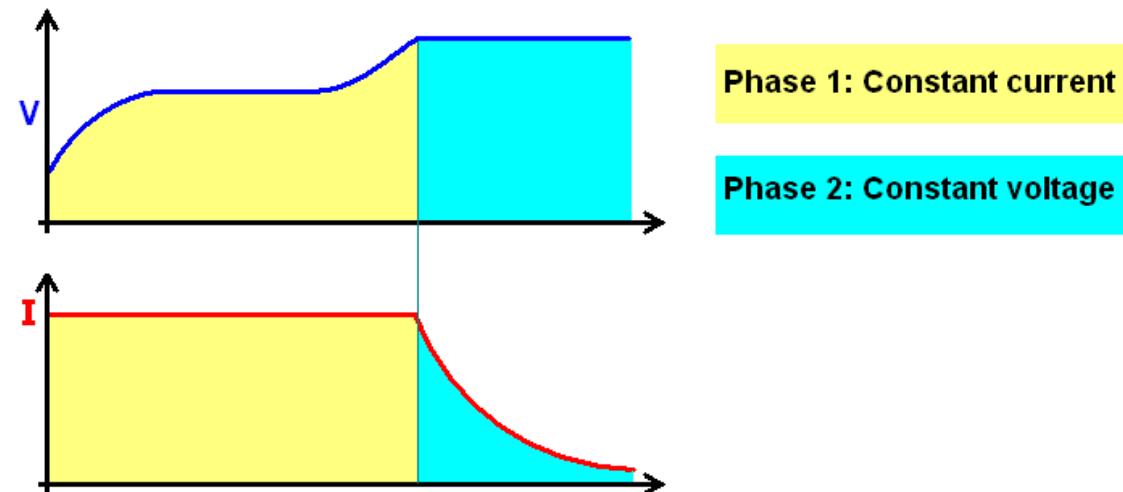
Une sécurité sous forme de temporisation est généralement ajoutée.



## Profil de charge du lithium:

La charge s'effectue en 2 phases:

- 1 phase à courant constant
- 1 phase à tension constante



Une batterie Lithium comporte plusieurs niveaux de protection permettant de protéger la batterie contre des courants et des températures élevés. Certaines de ces protections sont intégrées dans la cellule:

- CID Circuit Interrupt Device

(Ouverture du circuit électrique en cas de surpression)

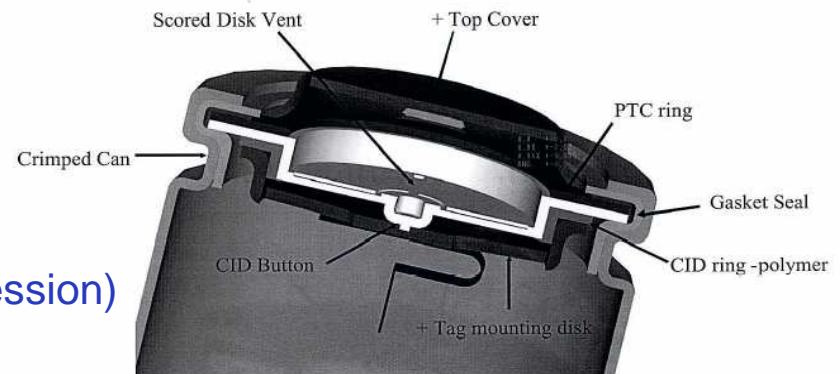
- Soupape de sécurité

(Soudé sur le CID, ouverture ultime en cas de forte surpression)

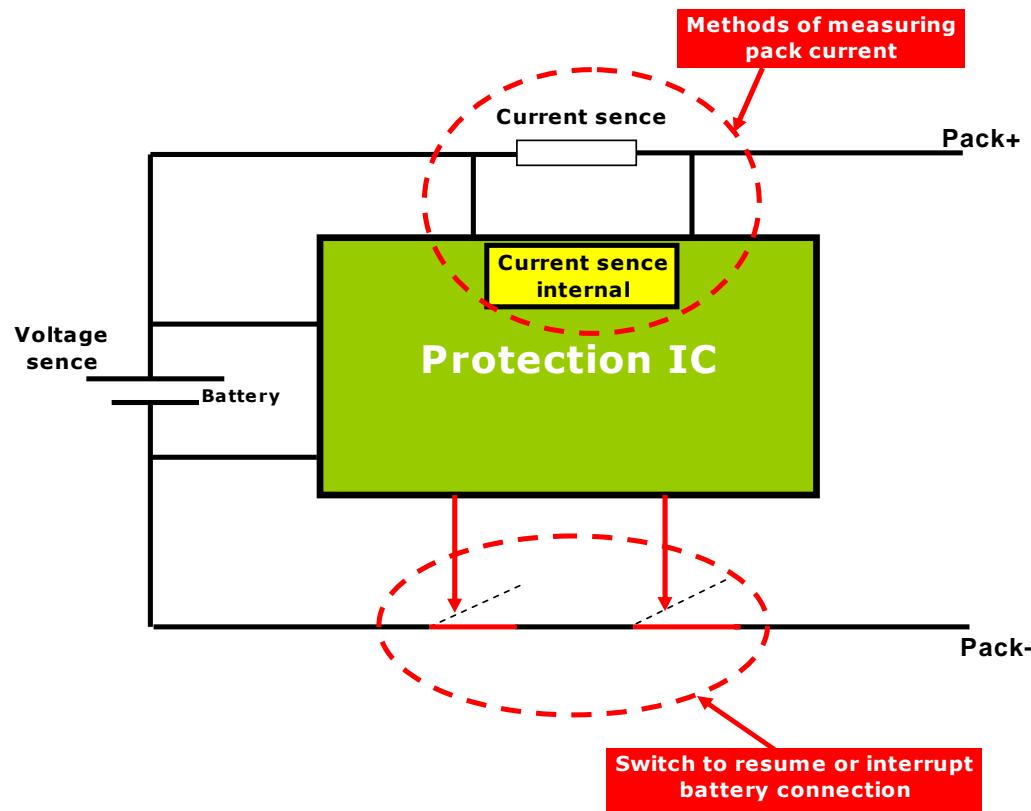
- PTC

(Ouvre le circuit électrique en cas de courant et/ou de température élevée)

- Séparateur Shut-down



Les batteries Lithium sont toujours équipées de circuit électronique de protection et de gestion (**BMS : Battery Management System**). Ces circuits surveillent les tensions, les courants et les températures et commandent l'ouverture du circuit électrique en cas de valeur hors gabarit.



Ces BMS peuvent intégrer d'autres fonctions comme:

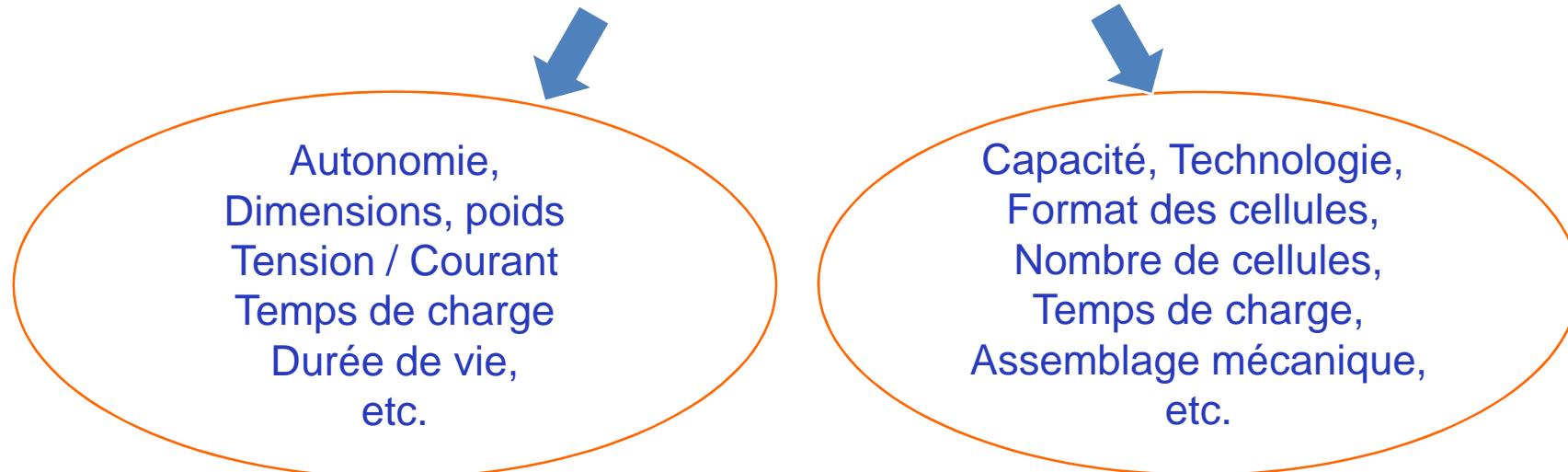
- Estimation de l'état de charge (par mesure de Coulombs)
- Equilibrage des cellules
- Chargeur
- Enregistrement des utilisations pouvant endommager la batterie (durée de stockage trop longue, température, etc.)
- Communication avec l'application

# Processus de développement d'un système batterie

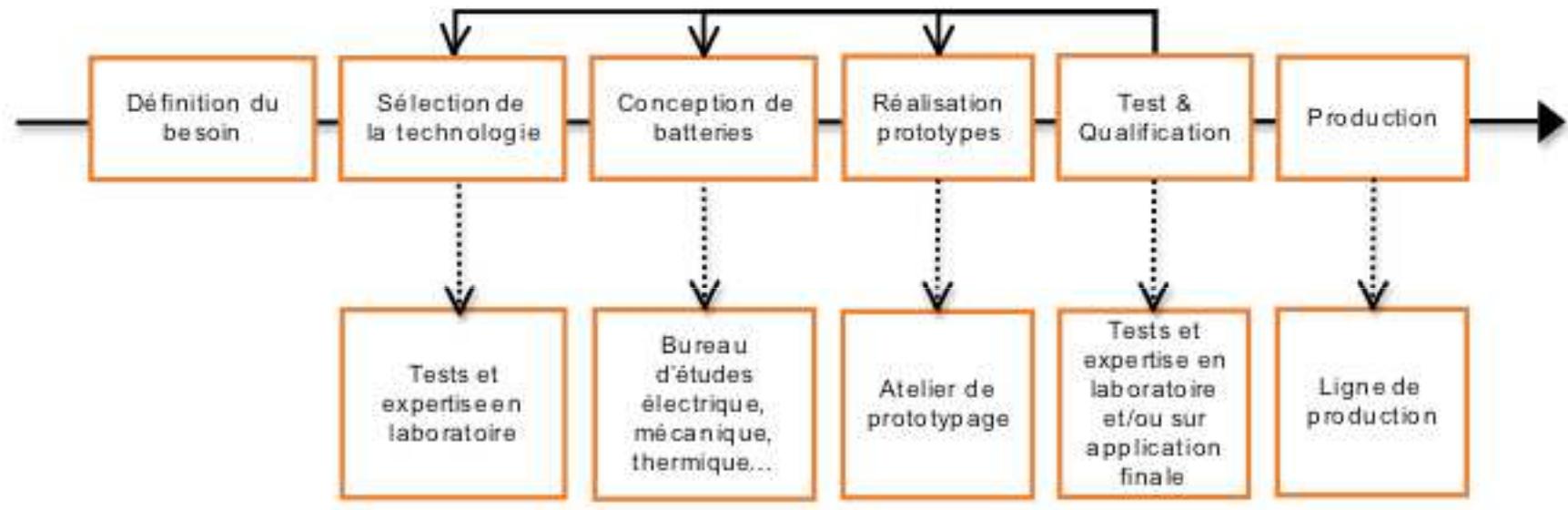
Une batterie Li-ion est rarement disponible sur étagère, elle demande toujours une phase de développement, tout au moins d'adaptation.

Le développement d'un système batterie nécessite une approche pluridisciplinaire et couvre les domaines suivants : Mécanique, Electrique, Electronique, Thermique.

Avant tout, il faut traduire le besoin de l'application en données techniques.



Les grandes étapes d'un projet depuis la définition d'un cahier des charges jusqu'à la mise en production.



Les délais varient en fonction de la complexité de la batterie et du type d'application, mais le processus complet prend en moyenne six mois, depuis la formalisation du cahier des charges fonctionnel jusqu'à la première expédition de produits finis de série.

# Réglementation Transports et recyclage

Les batteries Lithium ion sont assimilées à des matières dangereuses. Leur transport, quelque soit le mode retenu, est réglementé par l'UN/DOT 38.3. Un certificat de conformité doit être obtenu en présentant des échantillons à un laboratoire de tests.

D'autres réglementations régissent le transport des batteries Lithium. Celles-ci peuvent être plus contraignantes notamment sur le territoire des Etats-Unis et pour le transport aérien. Cependant, toutes ces normes évoluent et ont tendance à s'harmoniser.

Les tests effectués couvrent les points suivants : Simulation d'altitude, chocs thermiques, vibration, chocs, court circuits, impacts, surcharge, décharge profonde.

Ces tests ne doivent en aucun cas faire apparaître des défaillances ayant des effets sécuritaires (feu, température excessive, etc.)

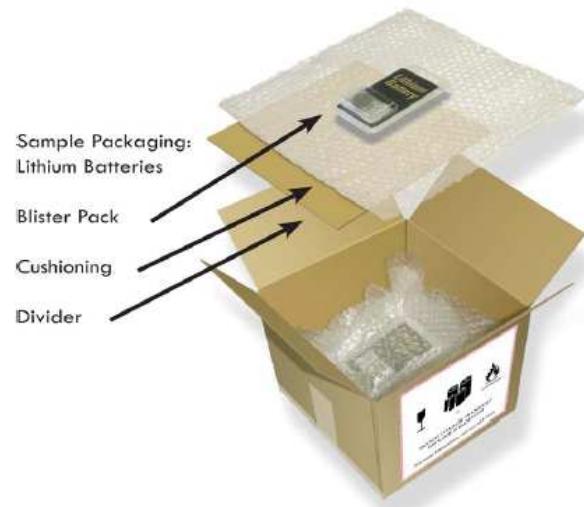


L'UN38.3 impose également l'utilisation d'emballages spécifiques pour les batteries.

Ces emballages doivent indiquer la présence de matière dangereuse et comporter les documents de certification.

Les batteries de plus de 100Wh sont identifiées comme étant de Classe 9.

Dans ce cas, la réglementation est plus stricte et limite la quantité de batteries emballées dans le même colis.



La limitation des ressources planétaires, et l'impact environnemental des composants des batteries lithium (métaux lourds, solvants, sels conducteurs et lithium) introduisent la nécessité de recycler.

La Directive européenne « Piles et Batteries » 2006/66/CE oblige les vendeurs de batterie à enlever ou à faire enlever, puis à traiter ou à faire traiter, les batteries.

Les deux principaux procédés de recyclage sont la pyrométallurgie et l'hydrométallurgie. Ces procédés peuvent être successifs afin d'obtenir un meilleur rendement :

Etape 1 : Pyrométallurgie, les batteries sont introduites dans un four  
Les métaux fondent et forment un alliage (Ni, Co, Cu, Fe).  
Ca, Al et Li sont récupérés et réinjectés dans l'industrie de l'acier et du ciment

Etape 2 : Hydrométallurgie, l'alliage obtenu précédemment est traité  
Cu et Fe sont extraits par une solution de  $H_2SO_4$   
Ni et Co sont séparés par un solvant  
 $NiSO_4$  et  $Co_3O_4$  sont obtenus après oxydation et extraction des impuretés

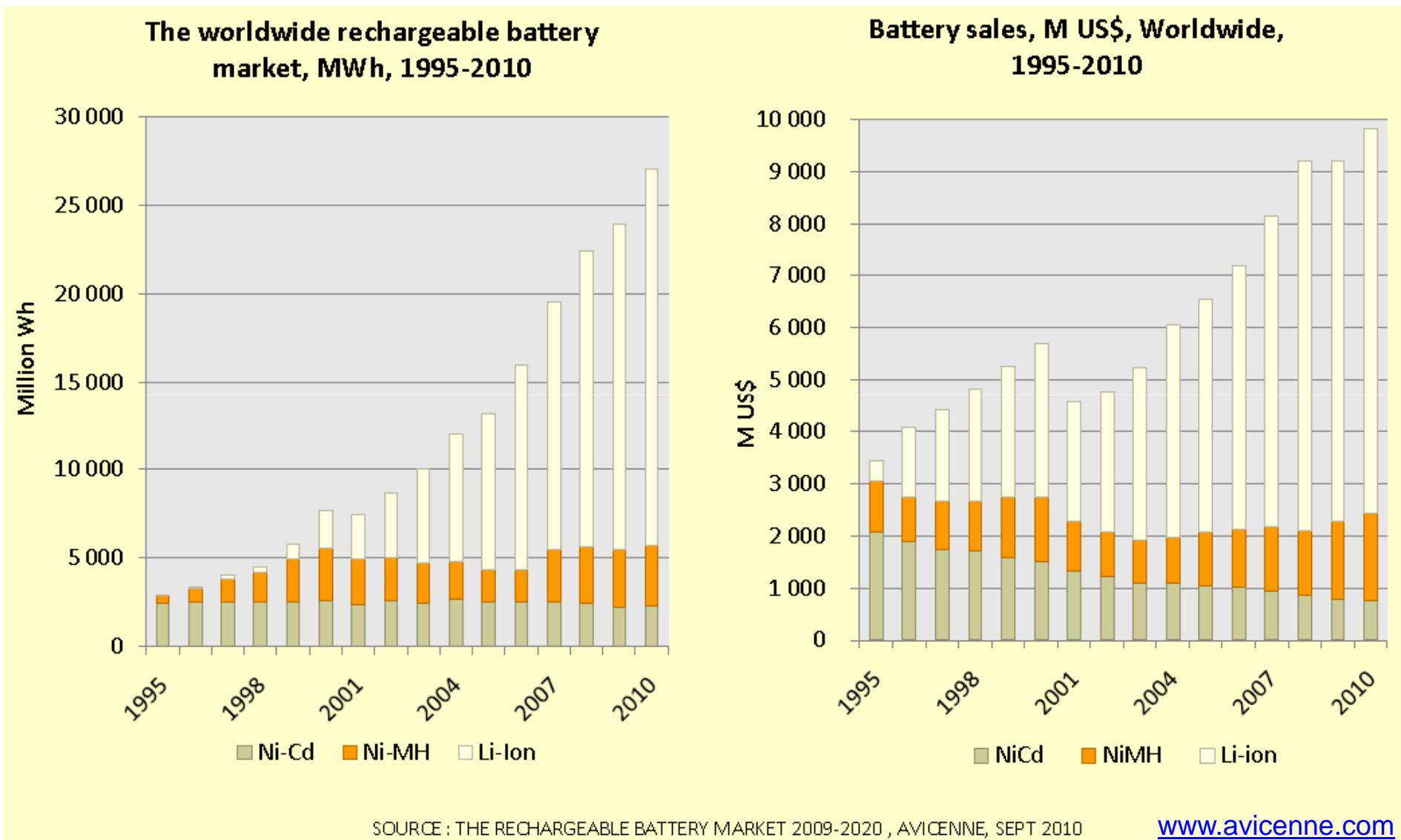


Etape 3 : Production de matériaux pour l'industrie de la batterie

$\text{Co}_3\text{O}_4$  réagit avec le sel métallique pour donner du  $\text{LiCoO}_2$  pur, ou des matériaux pour cathode mixte (NMC, NCA)

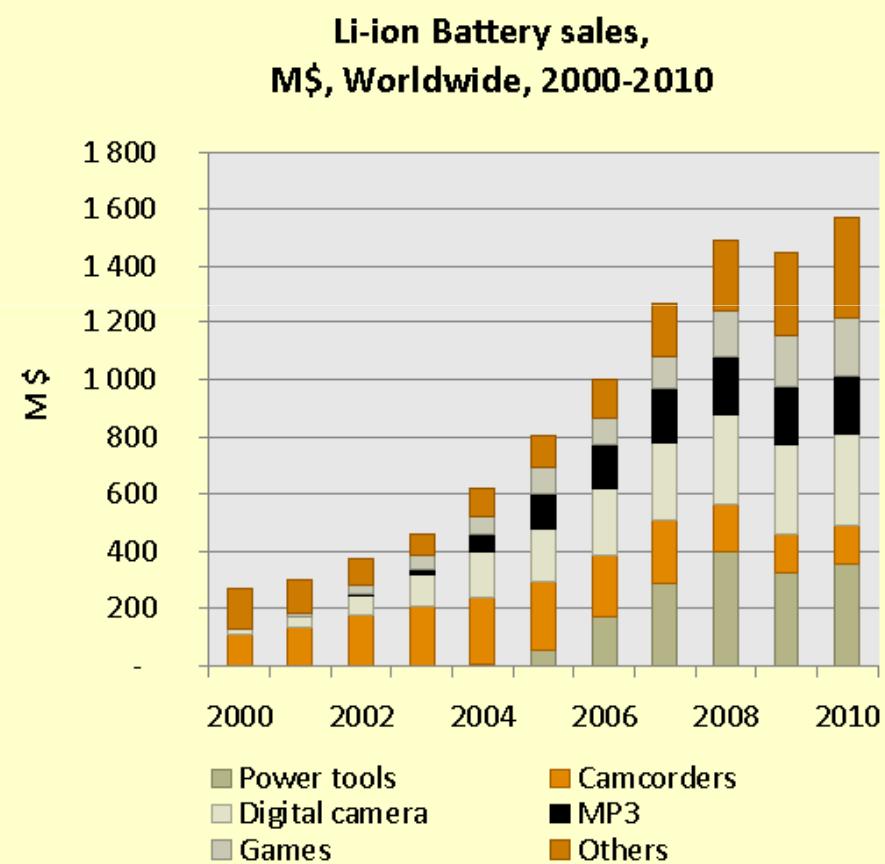
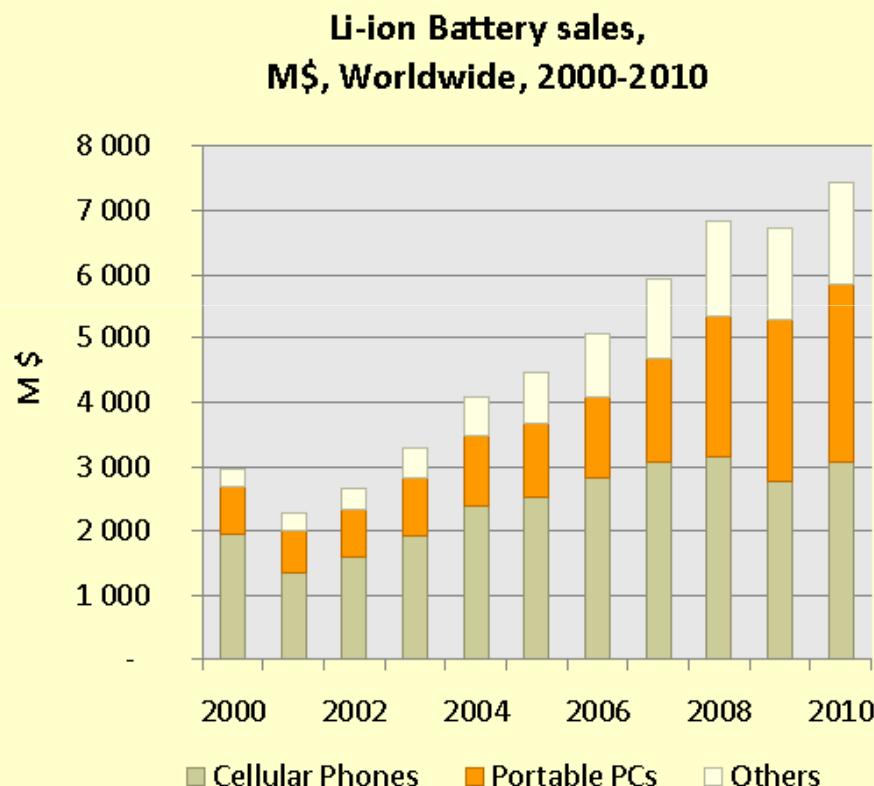


# Perspectives de marché



**3 200 M Li-ion cells – 21 000 MWh  
7 400 M\$**

CAGR 2004/2009:  
+19% per year in volume  
+10% per year in value

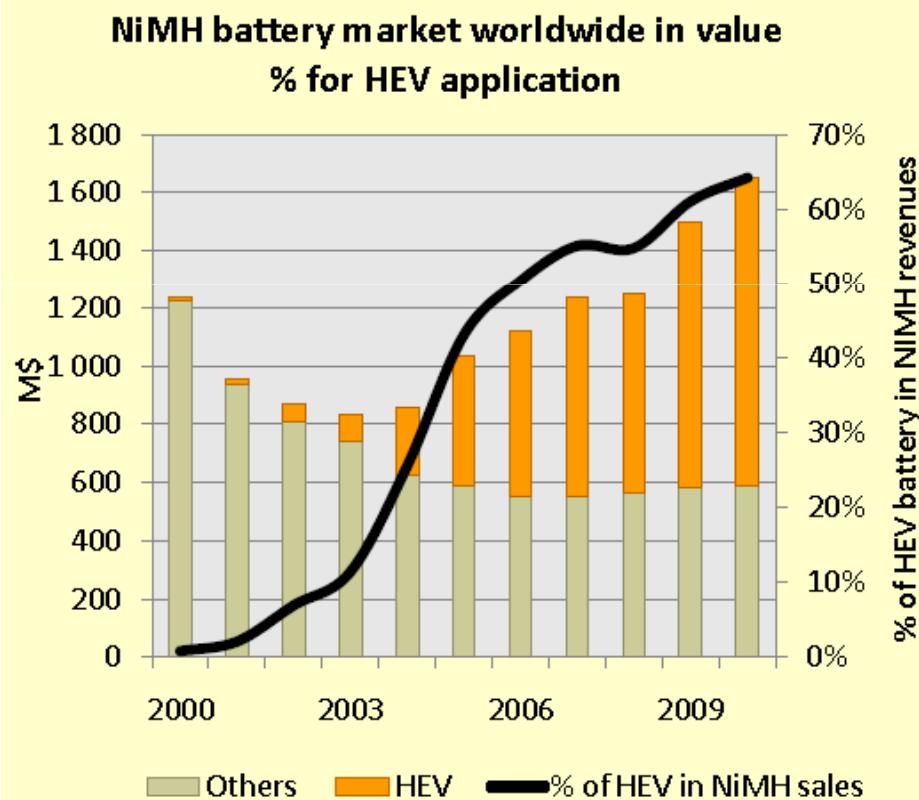


SOURCE : THE RECHARGEABLE BATTERY MARKET 2009-2020 , AVICENNE, SEPT 2010

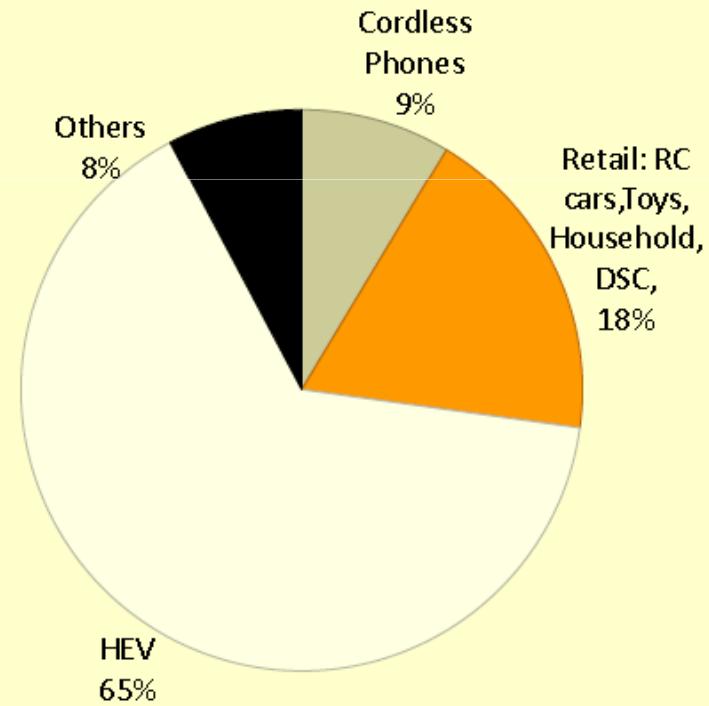
[www.avicenne.com](http://www.avicenne.com)

1 200 M NiMH cells – 3 500 MWh  
1.65 B\$

CAGR 2005/2010  
+14% per year in Volume  
+10% per year in value

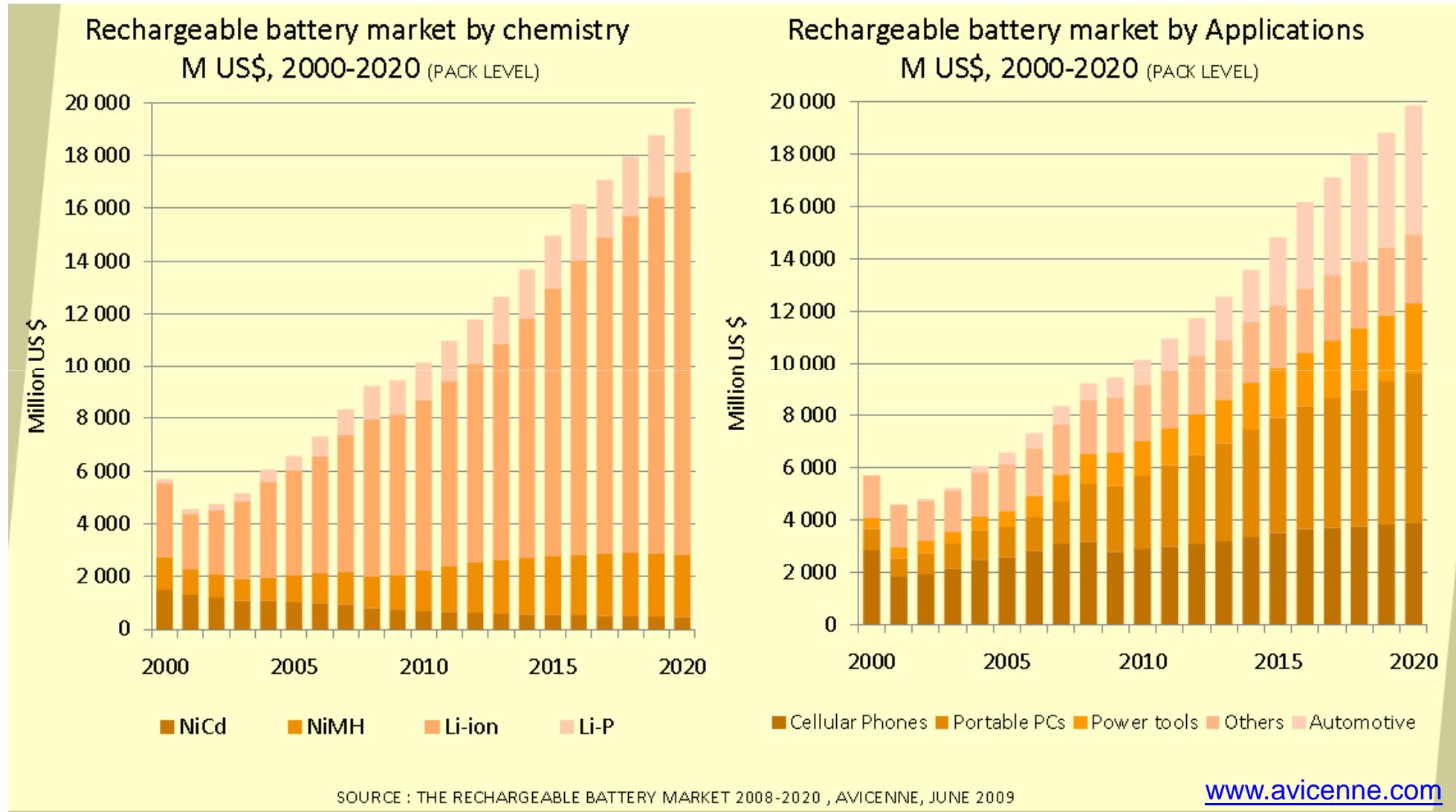


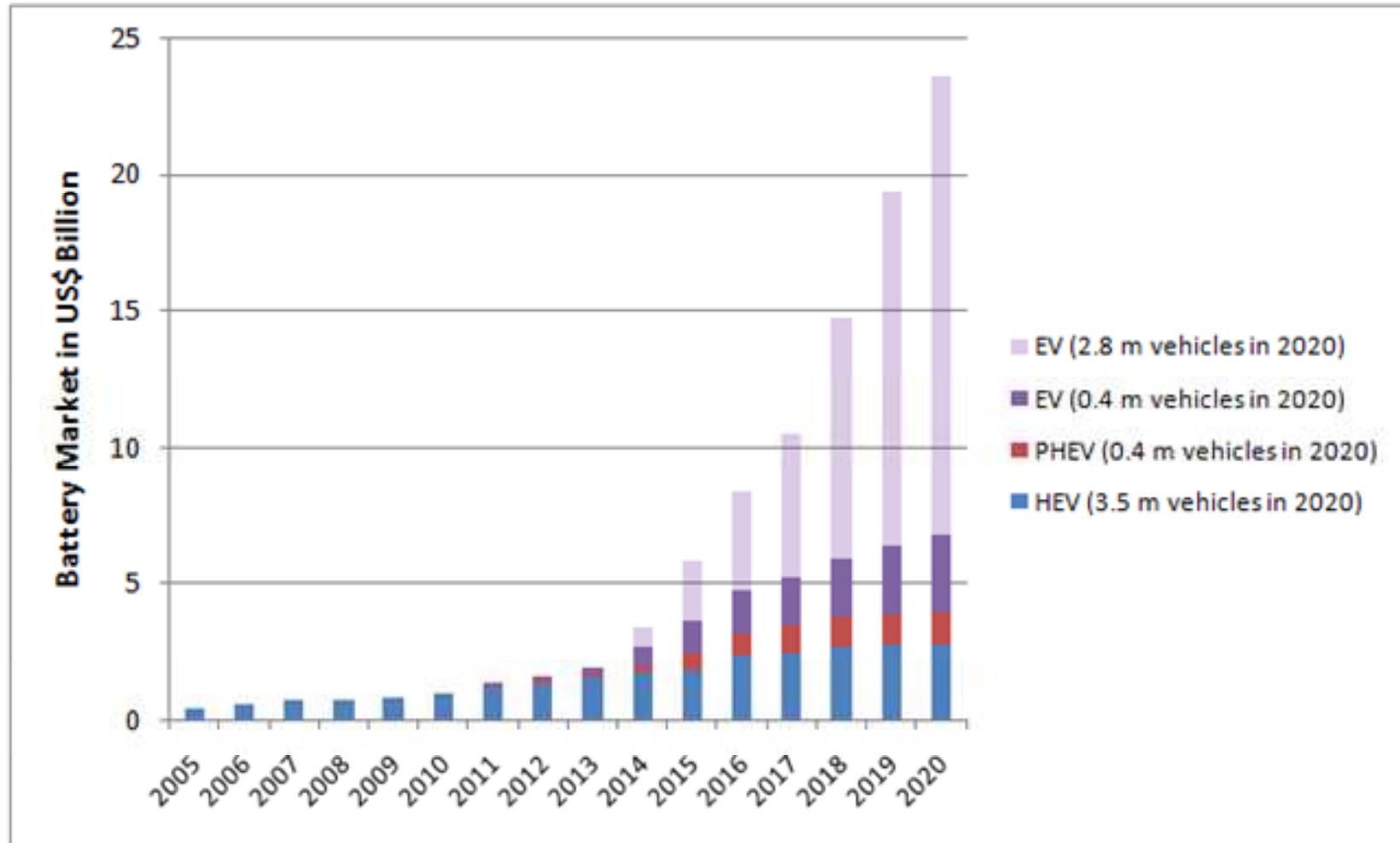
**NiMH battery by applications, worldwide, % in value, 2010**



SOURCE : THE RECHARGEABLE BATTERY MARKET 2009-2020 , AVICENNE, SEPT 2010

[www.avicenne.com](http://www.avicenne.com)





# Merci !