



# Systèmes batteries embarqués

Etat de l'art, conditions de mise en œuvre  
et perspectives de marché



Electronic Days, Orly, 23 mai 2012

François Barsacq & Dominique Martin

[francois.barsacq@easylibatteries.com](mailto:francois.barsacq@easylibatteries.com)

02 46 65 01 11 / 06 31 80 02 02

- 1. Les technologies de batteries avancées**
- 2. Gestion de la charge / décharge**
- 3. Gestion de la sécurité**
- 4. Recommandations de mise en œuvre**
- 5. Perspectives de marché**
- 6. Conclusions**

- easyLi conçoit et fabrique en France des systèmes batteries Lithium-ion pour applications professionnelles
- Multi-technologies, multi-formats, multi-fabricants de cellules
- Entreprise innovante des pôles de compétitivité  et  **S2E2**  
SMART ELECTRICITY CLUSTER
- Deux gammes de produits de 200 Wh à 20 kWh / 12 V à 48 V



## 1. Les technologies de batteries avancées

## 2. Gestion de la charge / décharge

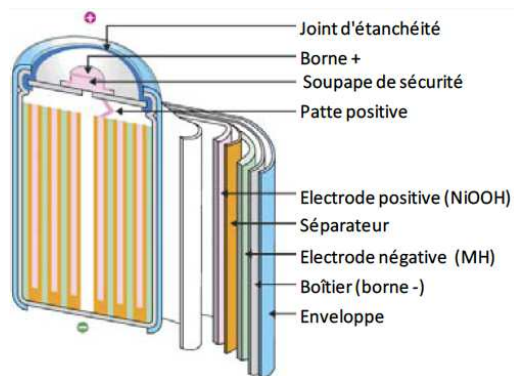
## 3. Gestion de la sécurité

## 4. Recommandations de mise en œuvre

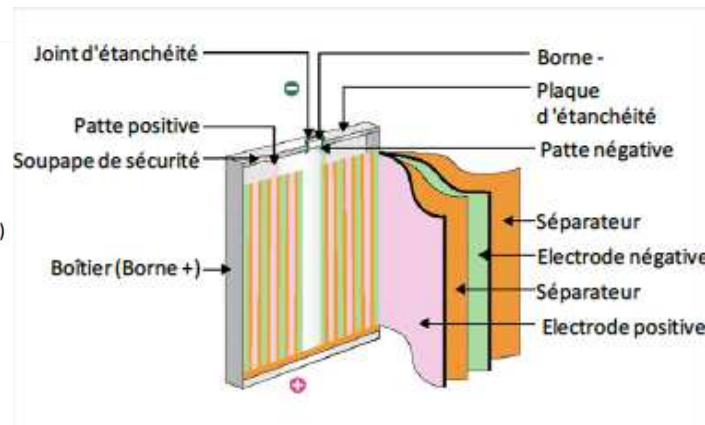
## 5. Perspectives de marché

## 6. Conclusions

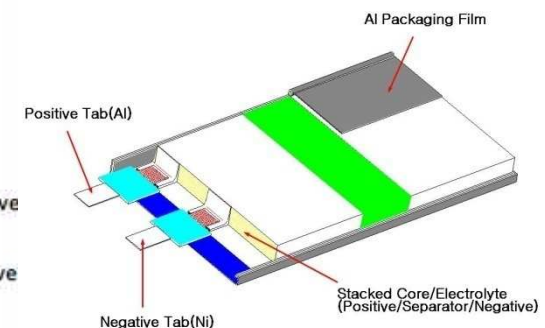
- **Deux électrodes** : positive / cathode, négative / anode
- Isolées électriquement par un **séparateur**
- Mais connectées par un **électrolyte** conducteur ionique
- Insérées dans une boîtier métallique ou plastique
- Capacités disponibles de quelques Wh à plusieurs centaines de Wh
- **Batterie** : Assemblage de cellules en série/parallèle donnant énergie et puissance du système de stockage complet



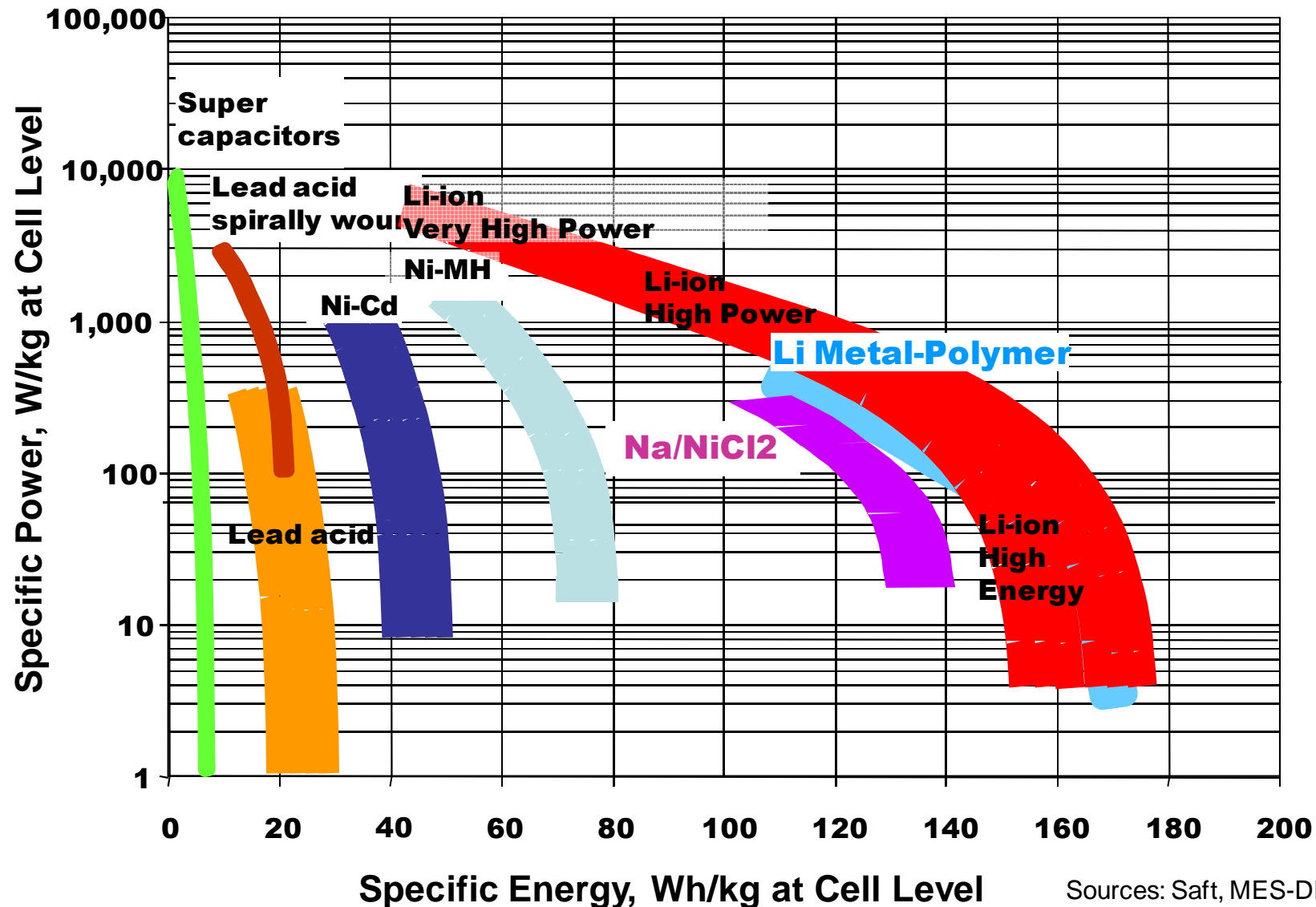
**Cylindrique**



**Prismatique**



**Souple « LiPo »**



	Plomb	Nickel-Cadmium	Nickel-Métal Hydrure	Lithium-ion
Tension cellule	2,0 V	<b>1,2 V</b>	<b>1,2 V</b>	3,6 à 3,7 V 3.2 V (LFP)
Energie Spécifique	<b>25-50 Wh/kg</b>	30-60 Wh/kg	50-90 Wh/kg	<b>100-230 Wh/kg</b>
Cycles	<b>200-500</b>	<b>1000-1500</b>	<b>1000</b>	<b>500-2000</b>
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	<b>~15% /mois</b>	<b>~25% /mois</b>	<b>~2% /mois</b>
Durée de vie calendaire	<b>5 ans</b>	10 ans	5-10 ans	<b>5-15 ans</b>
Prix kWh (Pb base 100)	<b>100</b>	<b>300</b>	<b>350</b>	<b>300 à 500</b>
Temps de charge standard	<b>10 hrs</b>	5 hrs	3-5 hrs	<b>3 hrs</b>

- **Cobalt**
  - pour mémoire, pas utilisé dans les applications industrielles)
- **Nickel (« NCA » Nickel Cobalt Aluminium)**
  - + : excellente densité d'énergie, longue durée de vie, fort retour d'expérience
  - - : coût relativement élevé, tolérance aux situations abusives
- **Manganèse spinelle, éventuellement dopé Nickel**
  - + : coût plus faible, bonne tolérance aux situations abusives
  - - : Densité d'énergie plus faible, durée de vie plus courte
- **NMC (mélange Nickel Manganèse Cobalt)**
  - Technologie de compromis
- **Phosphate de fer (LFP, LiFePO<sub>4</sub>, batterie au fer)**
  - La plus récente technologie au stade industriel
  - + : excellente tolérance aux abus, excellente cyclabilité
  - - : Faible densité d'énergie, durée de vie en cours de confirmation

## Principaux fournisseurs

**Saft**

**Japonais  
coréens  
chinois**

**A123, Valence  
BYD et autres  
chinois**



- **Graphite**
  - La technologie traditionnelle
  - Quelquefois remplacée par du carbone
- **Titanate de Lithium**
  - + : excellente performance en puissance, en cyclage, en tenue en température (autoclavable)
  - - : tension basse (2.3 V) et faible densité d'énergie
- **Silicium**
  - Stade pilote
  - + : Densité d'énergie > 250 Wh/kg
  - - : Durée de vie en cyclage



## Principaux fournisseurs

**Toshiba**  
**Enerdel**  
**Altairnano**

**Axion**  
**Amprius**

## Sodium-Chlorure de nickel (ZF Sonic Zebra, GE Durathon)

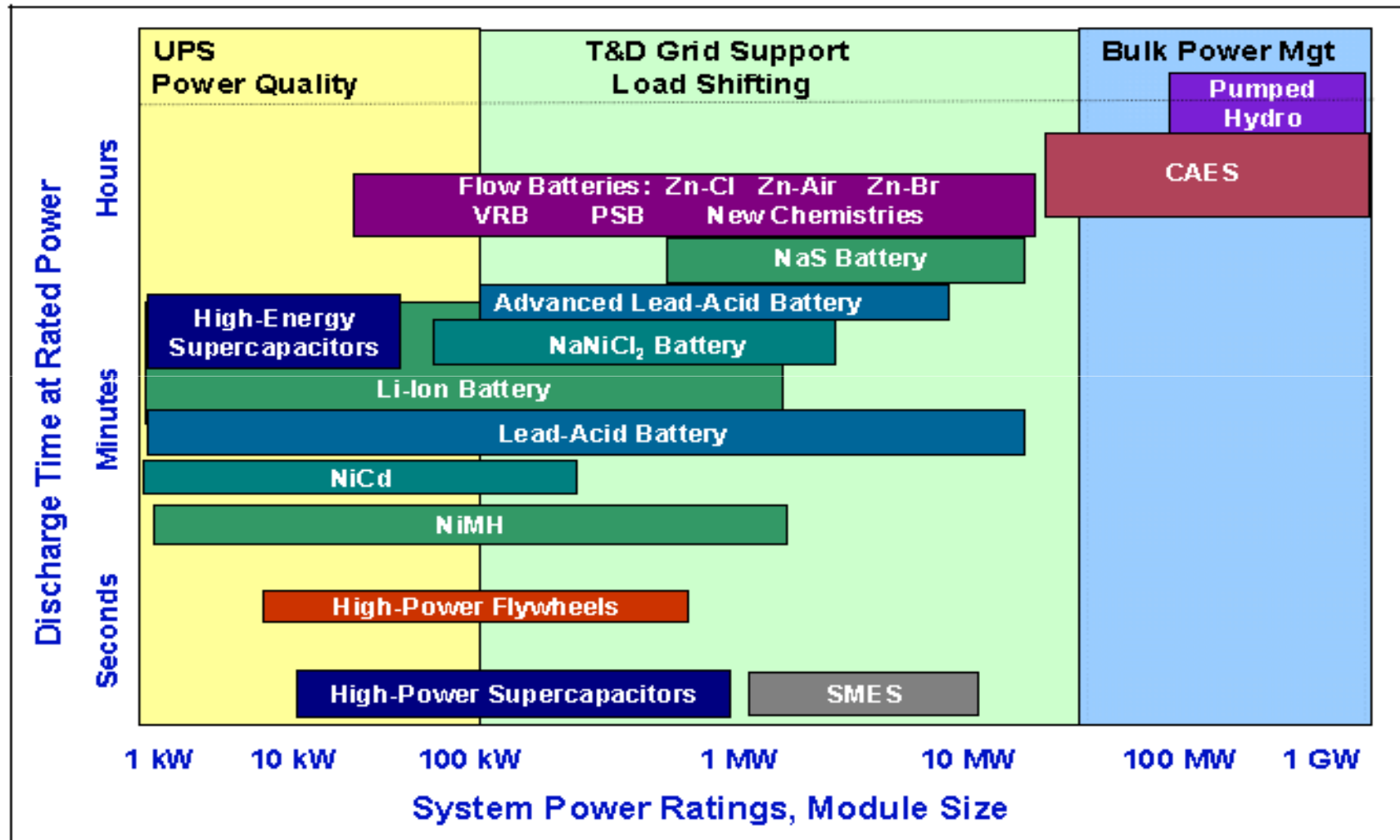
- Energie spécifique (120 Wh/Kg) et durée de vie élevées
- Température de fonctionnement : 270-350°C
- Uniquement disponible en « gros » modules batterie (> 20 kWh)
- En série sur Citroën Berlingo Venturi



## Lithium Métal Polymère (LMP) Batscap - Bolloré

- Technologie réservée aux véhicules du groupe Bolloré et de ses partenaires (Gruau)
- Fonctionne en température (80°C)
- Sels de Lithium dissous dans un polymère (oxyde de polyéthylène)
- En série sur Blue Car





Source: EPRI, 2009

## 1. Les technologies de batteries avancées

## 2. Gestion de la charge / décharge

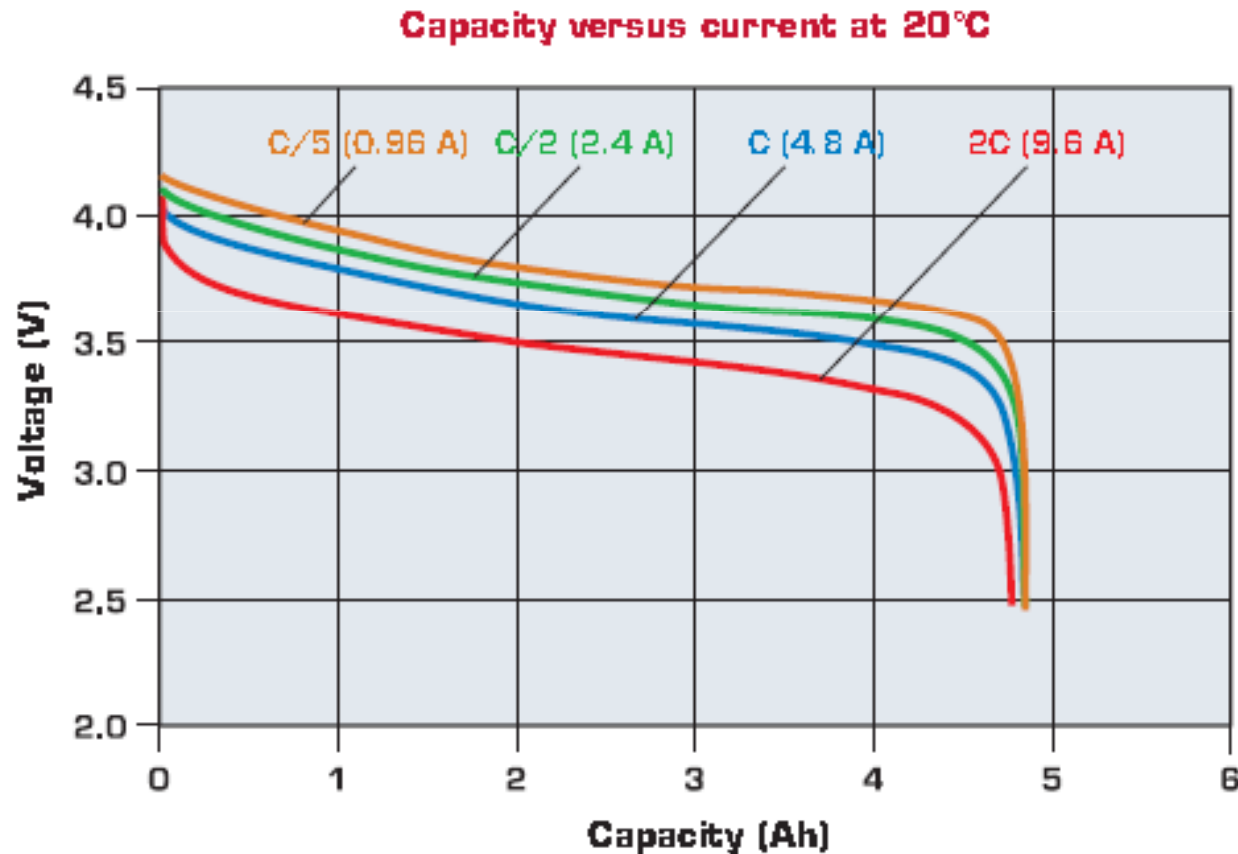
## 3. Gestion de la sécurité

## 4. Recommandations de mise en œuvre

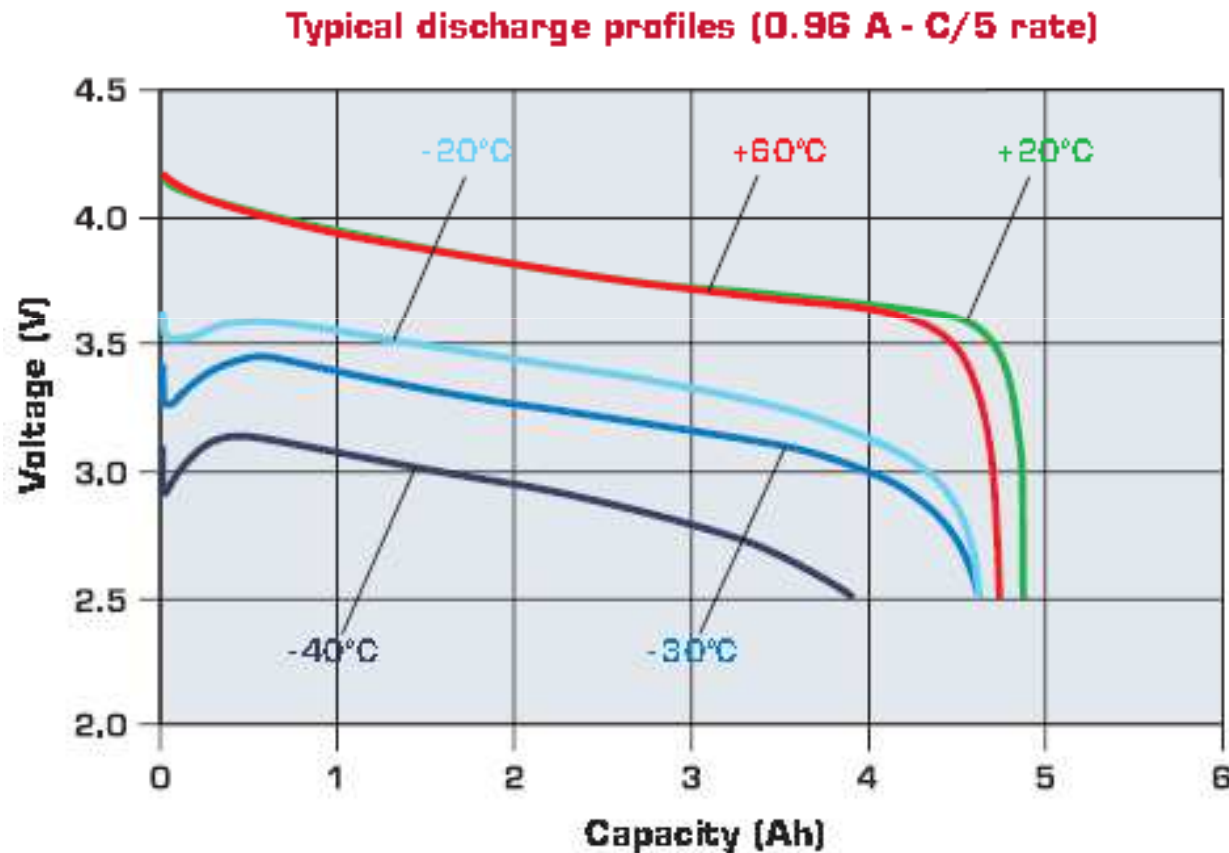
## 5. Perspectives de marché

## 6. Conclusions

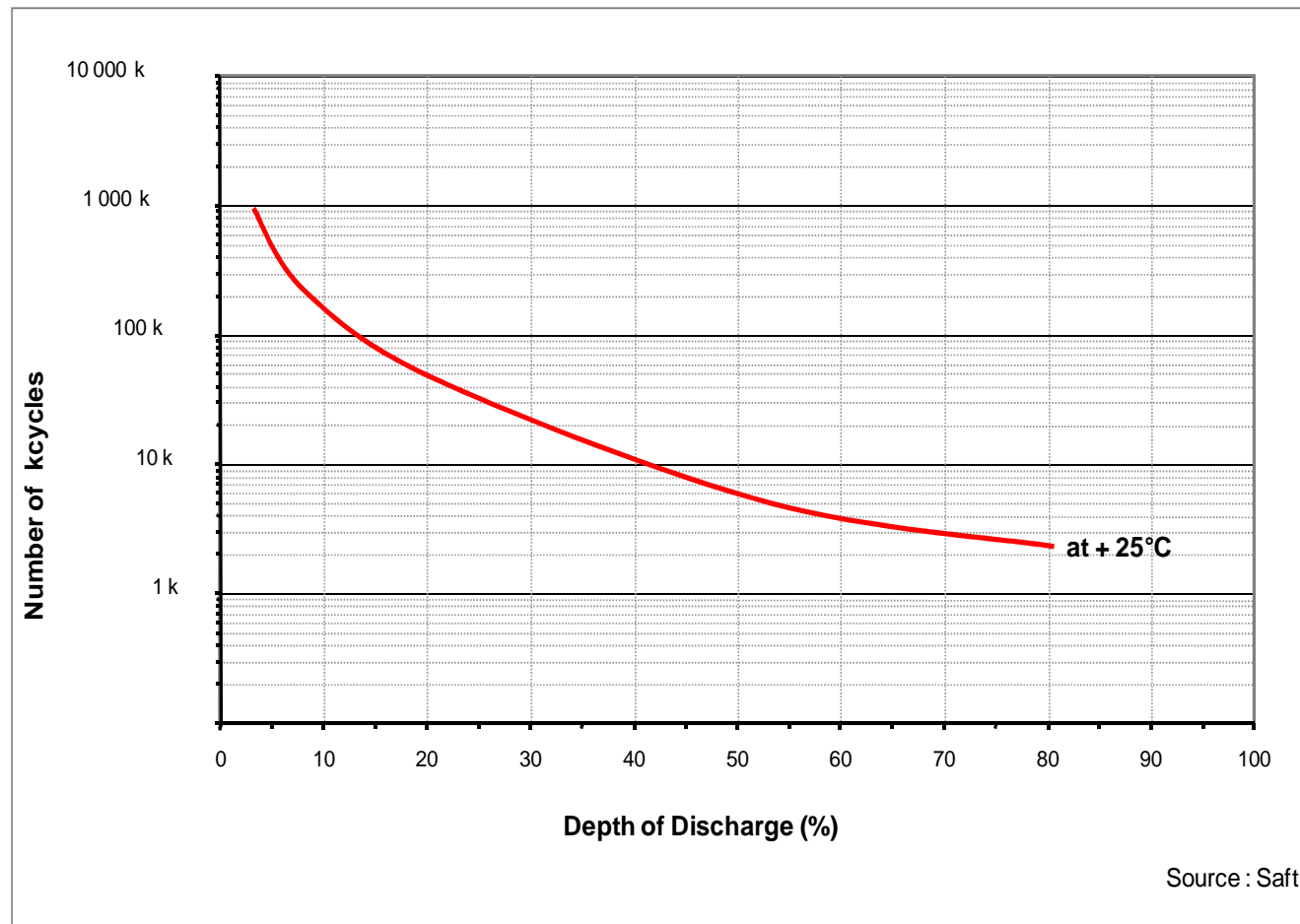
L'autonomie décroît avec le courant de décharge exprimé en multiples ou sous-multiples de la capacité nominale « C »



- L'autonomie et la puissance décroissent avec la température.
- L'impact devient sensible pour les températures négatives.



La durée de vie en cycle décroît avec la profondeur de décharge.



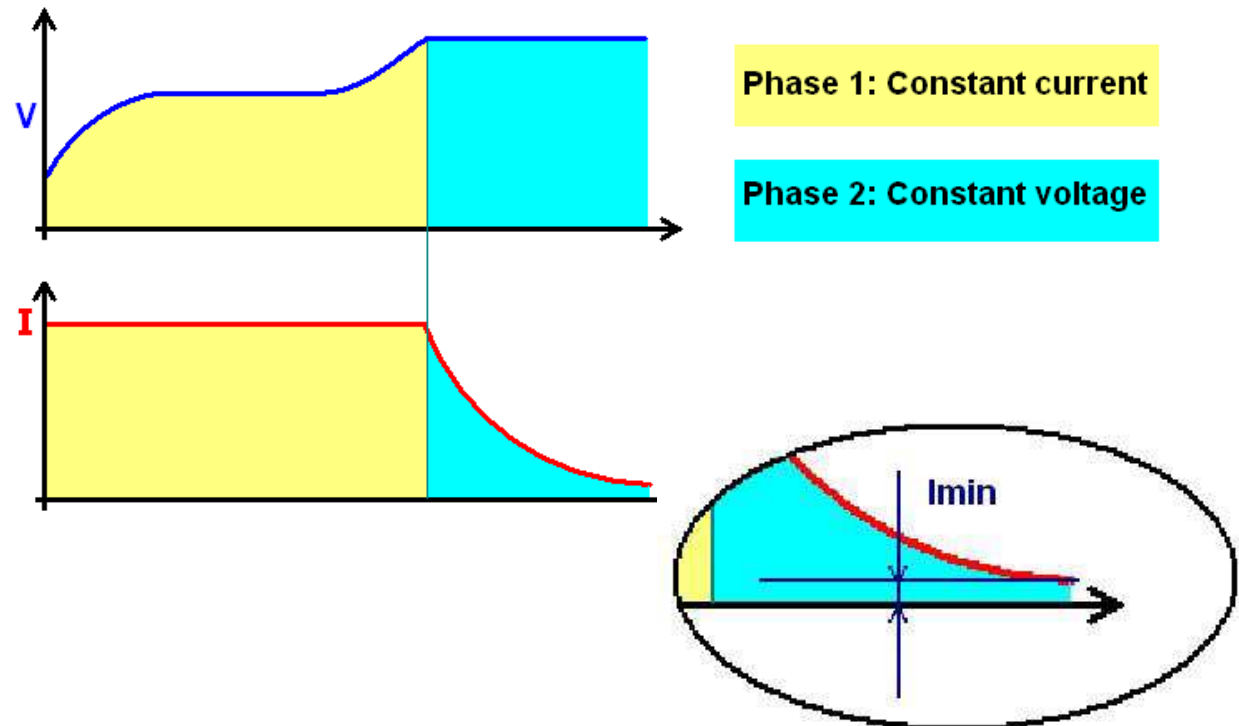
## Profil de charge Lithium-ion

La charge s'effectue en 2 phases :

- Phase 1 : Courant constant
- Phase 2 : Tension constante

La fin de charge s'effectue selon :

- Courant minimum ( $I_{min}$ )
- Timer



### Augmentation de la pression :

- Diminution des performances
- Augmentation des risque de court circuit interne
- Risque de déclenchement irréversible des dispositifs de sécurité

Implications  
d'une  
surcharge



### Augmentation de la température de la cellule :

- Risque d'emballement thermique
- Diminution de la durée de vie



**1. Les technologies de batteries avancées**

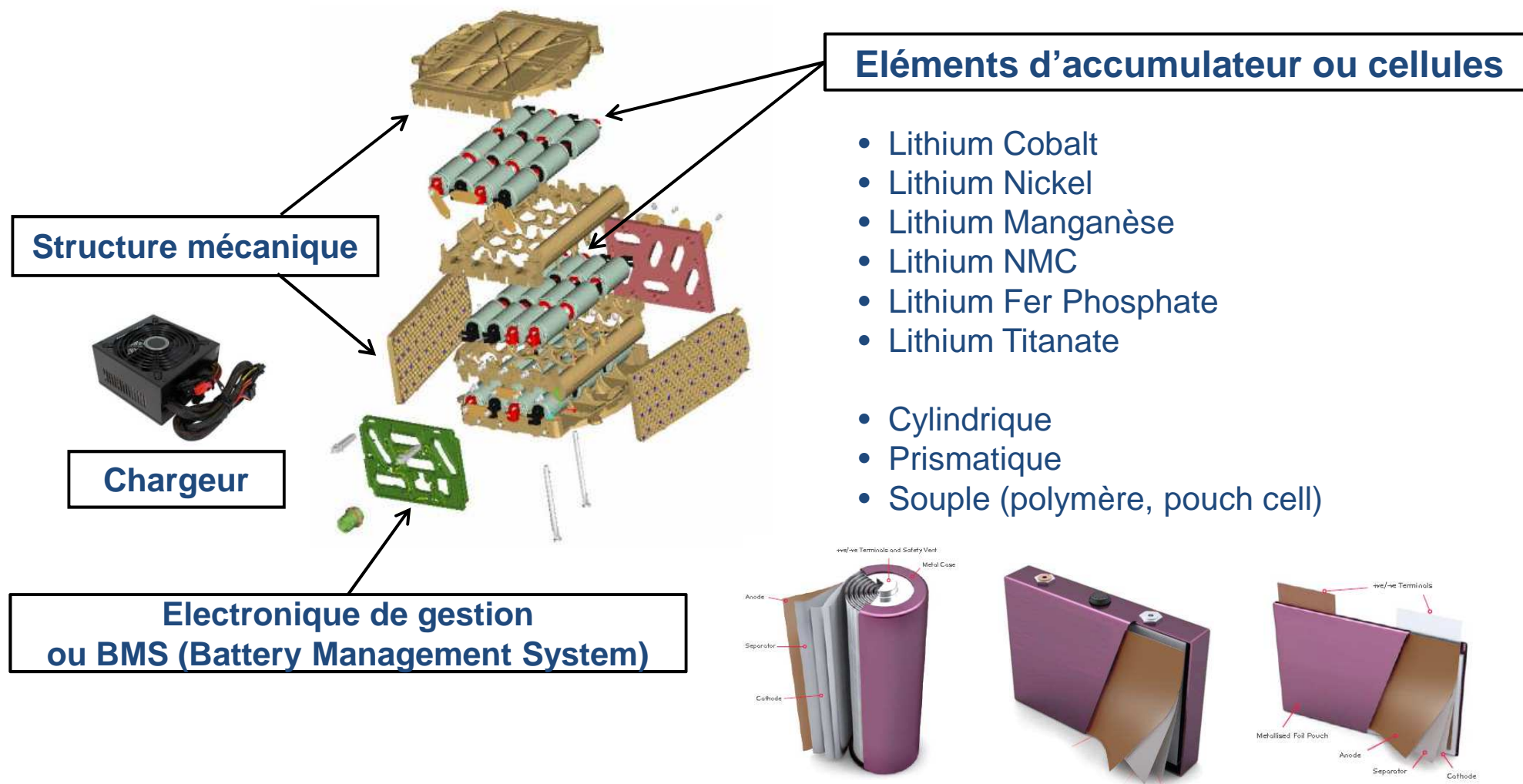
**2. Gestion de la charge / décharge**

**3. Gestion de la sécurité**

**4. Recommandations de mise en œuvre**

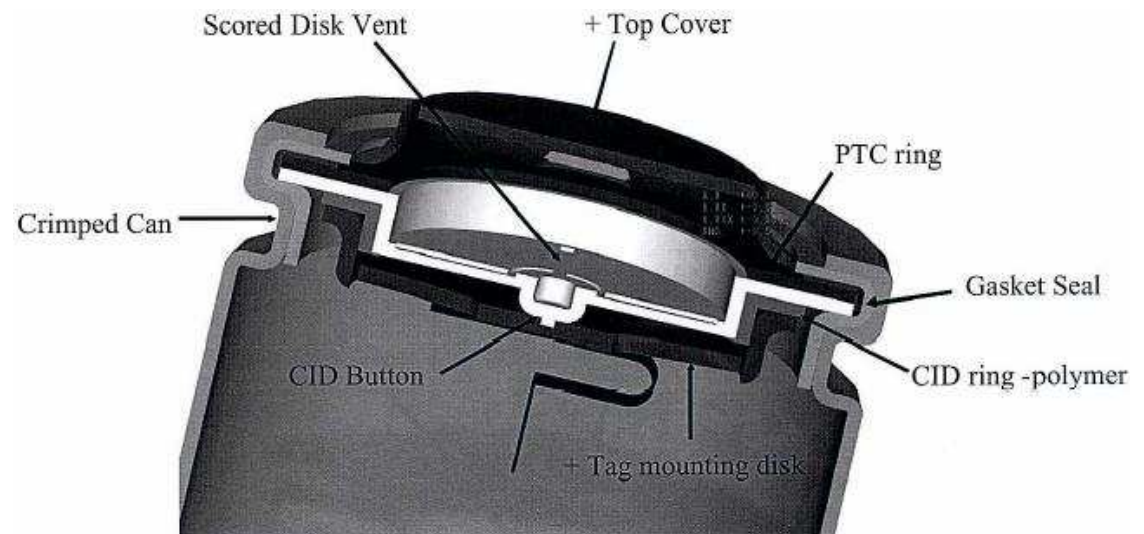
**5. Perspectives de marché**

**6. Conclusions**



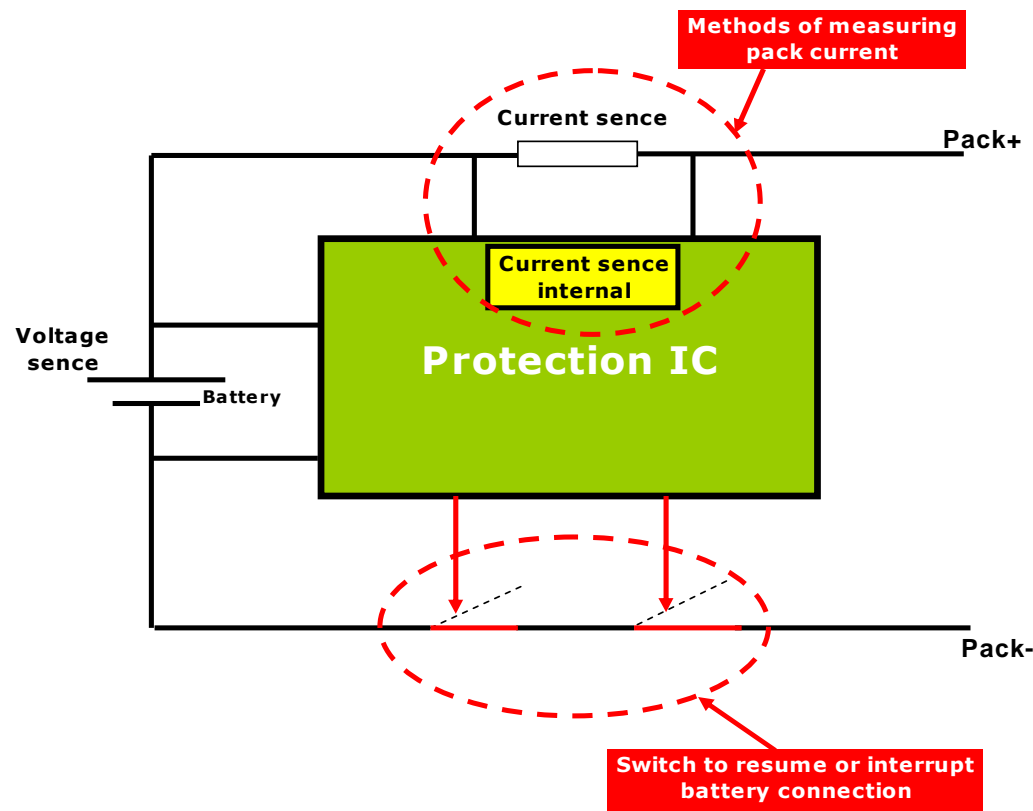
Elément	Electronique	Mécanique
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Matières actives stables</li> <li>• Séparateur multi-couche "melt down / shut down"</li> <li>• Soupape de sécurité (ouverture mécanique si surpression)</li> <li>• Coupe-circuit "CID" (ouverture électrique si <u>surpression</u>)</li> <li>• Capabilité des process de fabrication, automatisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capteurs de température multiples et redondants</li> <li>• Thermofusibles multiples</li> <li>• Détection multi-seuils surcharge / surdécharge / court-circuit / températures haute et basse</li> <li>• Equilibrage unitaire de chaque élément</li> <li>• Fonctions de diagnostic et d'historisation</li> <li>• Robustesse conception électronique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Structure de maintien des éléments</li> <li>• Ecartement éléments (barrière thermique)</li> <li>• Certification sécurité Transport par laboratoire indépendant</li> </ul>

- **CID Current Interrupt Device**  
(Ouverture du circuit électrique en cas de surpression)
- **Soupape de sécurité**  
(Ouverture ultime de l'élément en cas de forte surpression)
- **PTC**  
(Ouvre le circuit électrique en cas de courant et/ou de température élevés)
- **Séparateur Shut-down (Triple couche – PP-PE-PP)**  
(Crée une isolation ionique entre les électrodes)



## Les batteries Lithium-ion sont toujours équipées d'un circuit électronique de protection.

Ce circuit surveille les tensions des éléments, les courants de charge/décharge et les températures. Il commande l'ouverture du circuit de charge ou de décharge en cas de valeur hors gabarit.



Ces circuits sont souvent associés à une **électronique de gestion de la batterie (BMS – Battery Management System)** qui peut intégrer d'autres fonctions comme:

- Suivi de l'état de charge (SOC)
- Suivi de l'état de santé (SOH)
- Equilibrage des cellules
- Chargeur
- Enregistrement des utilisations pouvant endommager la batterie (durée d'inutilisation, température, courant, etc.)
- Communication avec l'application/le chargeur

**1. Les technologies de batteries avancées**

**2. Gestion de la charge / décharge**

**3. Gestion de la sécurité**

**4. Recommandations de mise en œuvre**

**5. Perspectives de marché**

**6. Conclusions**

**Une batterie « standard » est rarement adaptée à l'application**

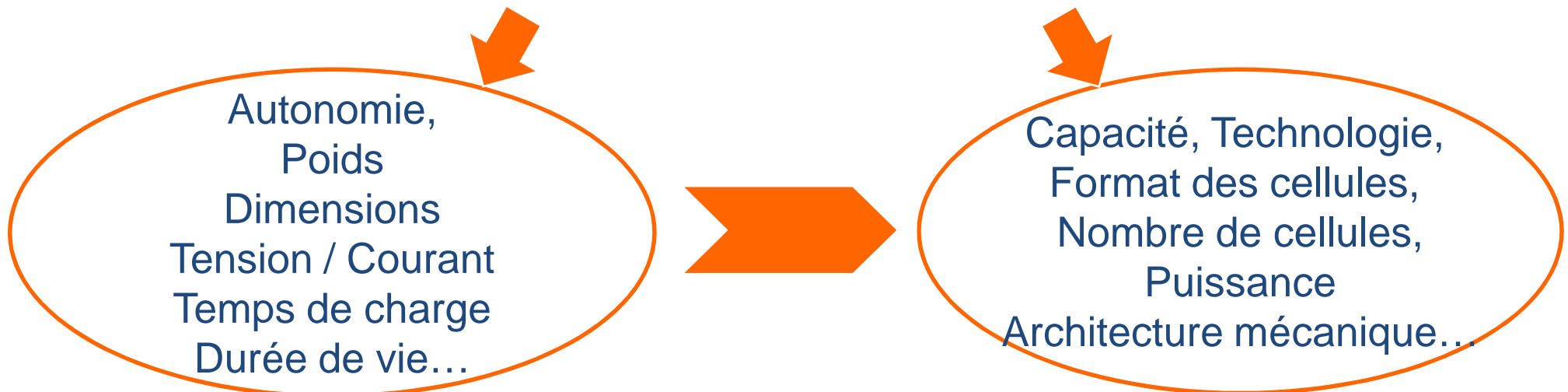
- Forme, encombrement
- Autonomie, puissance
- Durée de vie

**Nécessité d'optimisation voire de développement sur-mesure**

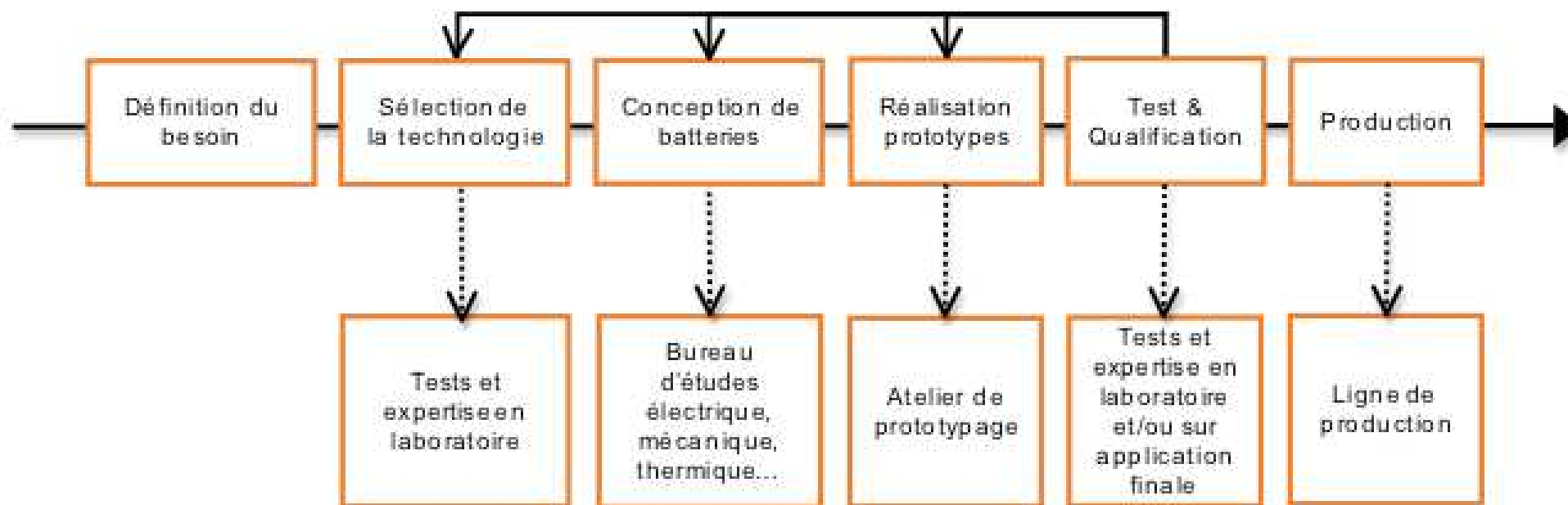
**Approche pluridisciplinaire : électrochimie, électronique, mécanique, thermique**

**Etape préalable et structurante :**

**Traduire le besoin de l'application en données techniques.**



## Cycle de conception de l'ordre de six mois, fonction de la complexité du système batterie





**1. Les technologies de batteries avancées**

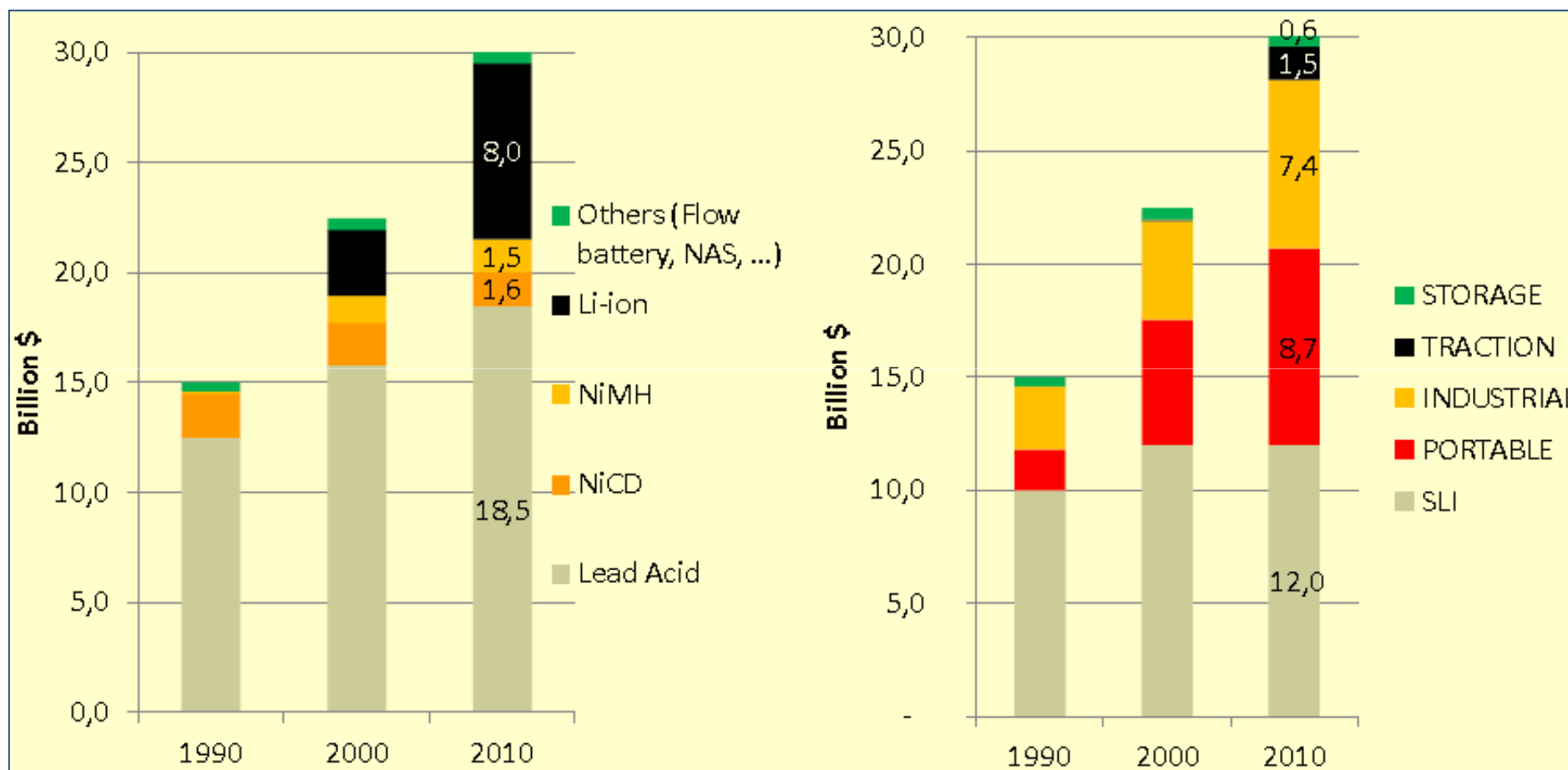
**2. Gestion de la charge / décharge**

**3. Gestion de la sécurité**

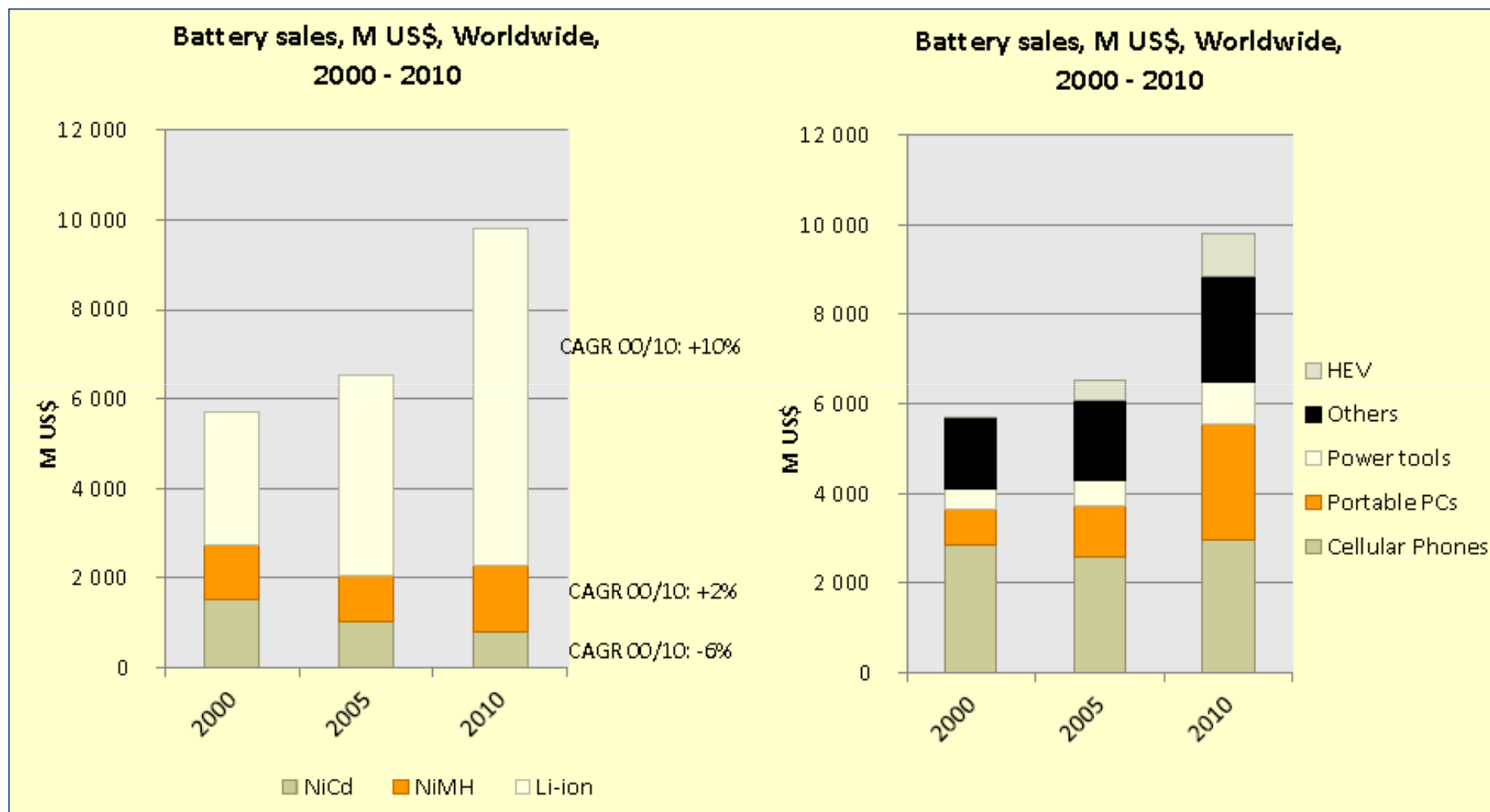
**4. Recommandations de mise en œuvre**

**5. Perspectives de marché**

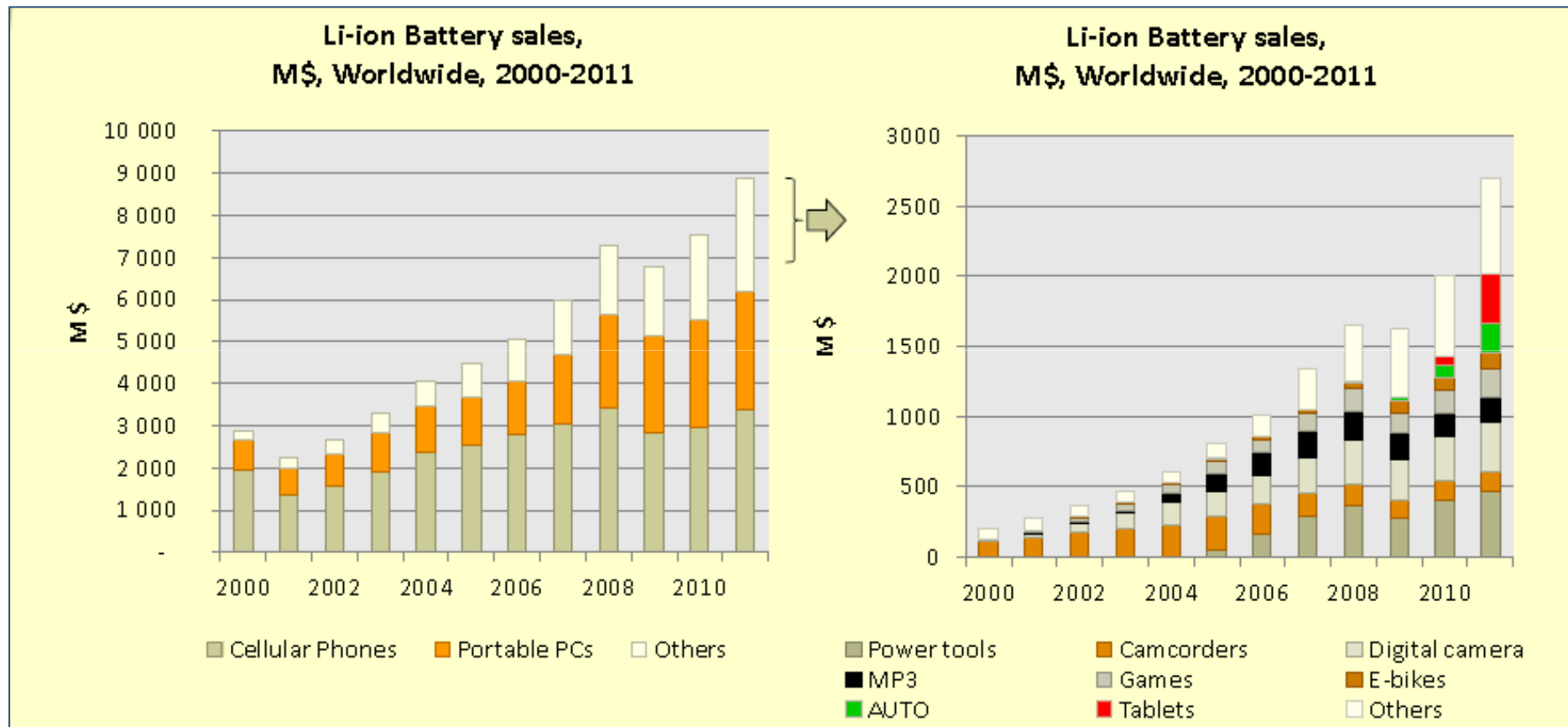
**6. Conclusions**



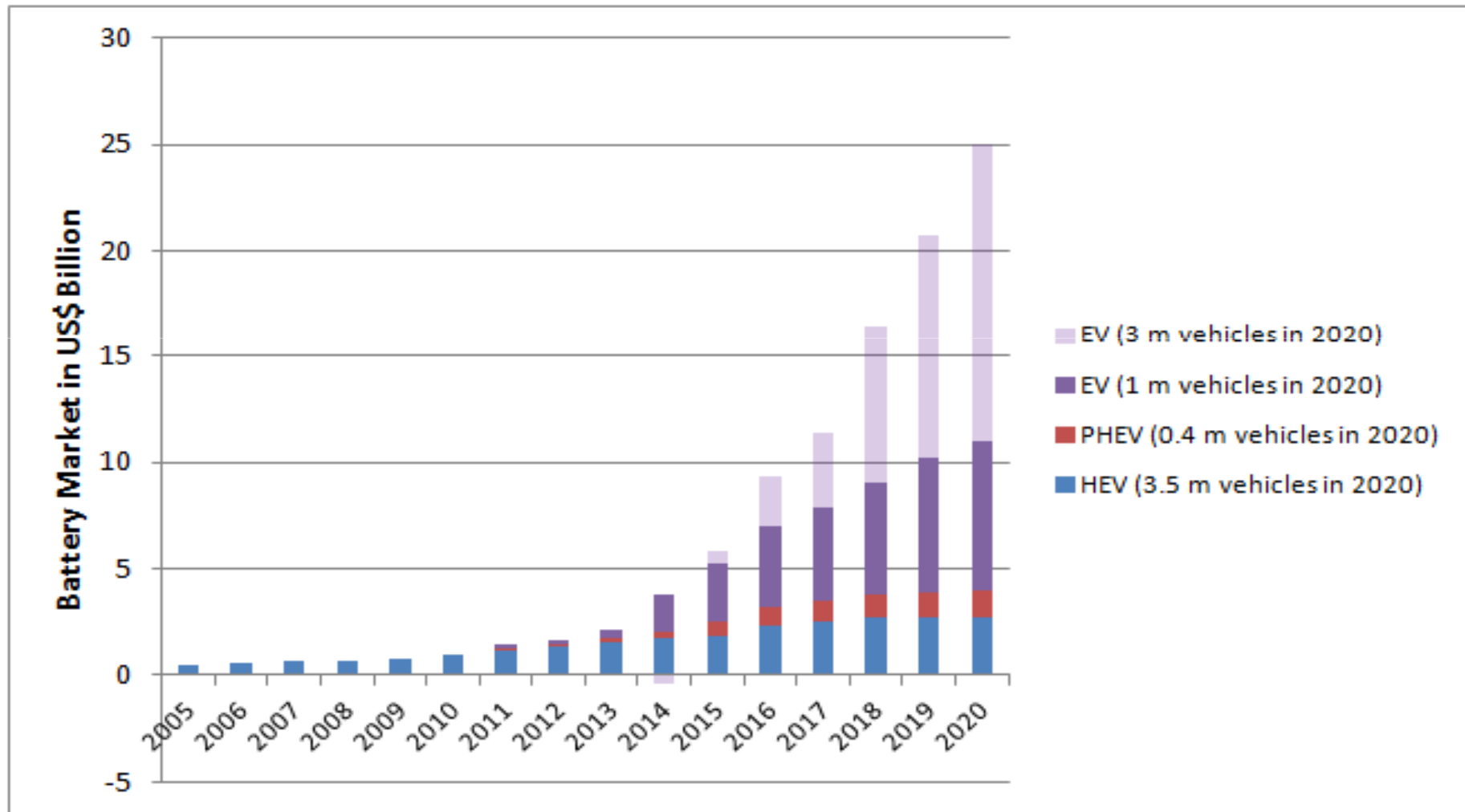
[www.avicenne.com](http://www.avicenne.com)



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

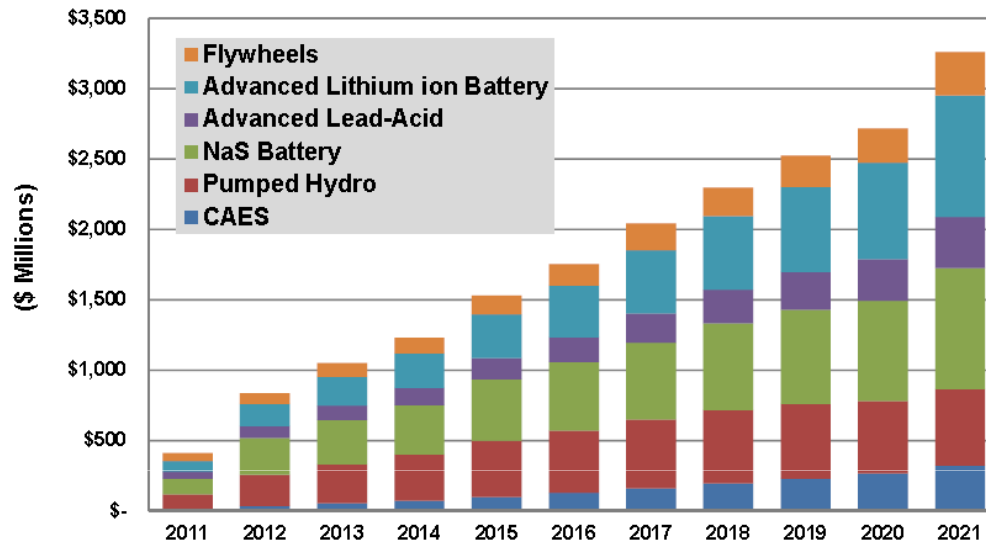


**10 MM \$ < Marché 2020 des batteries pour véhicules électrifiés < 50 MM\$**



Source : estimations easyLi

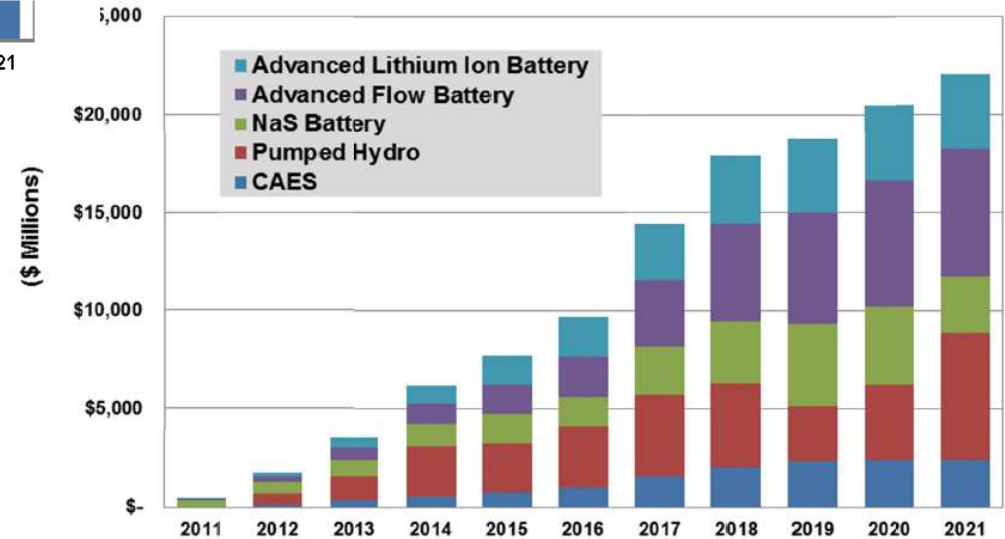
*Installed Revenue by ESS for Ancillary Services by Technology, World Markets: 2011-2021*



**Marché 2020 des batteries Li-ion pour applications smart grids : 5 à 10 milliards \$**



*Installed Revenue by ESG Technology, World Markets: 2011-2021*



Source : Pike Research, 2011

- De **nombreuses technologies Lithium-ion** sont désormais disponibles pour les applications industrielles.
- **Pertinence des formulations électrochimiques et contrôle des procédés de fabrication des cellules** sont déterminants pour atteindre les niveaux de qualité et de sécurité attendus.
- Une **électronique de gestion (BMS) complète et fiable** est indispensable, quelle que soit l'électrochimie utilisée.
- **L'automobile bouleverse l'industrie des batteries avancées :**
  - Amélioration des performances et de la robustesse des technologies
  - Baisse des coûts (effets d'échelle)

→ **Nombreuses opportunités d'innovation dans tous les secteurs industriels, notamment de l'électromobilité et des équipements utilisant les énergies renouvelables**

