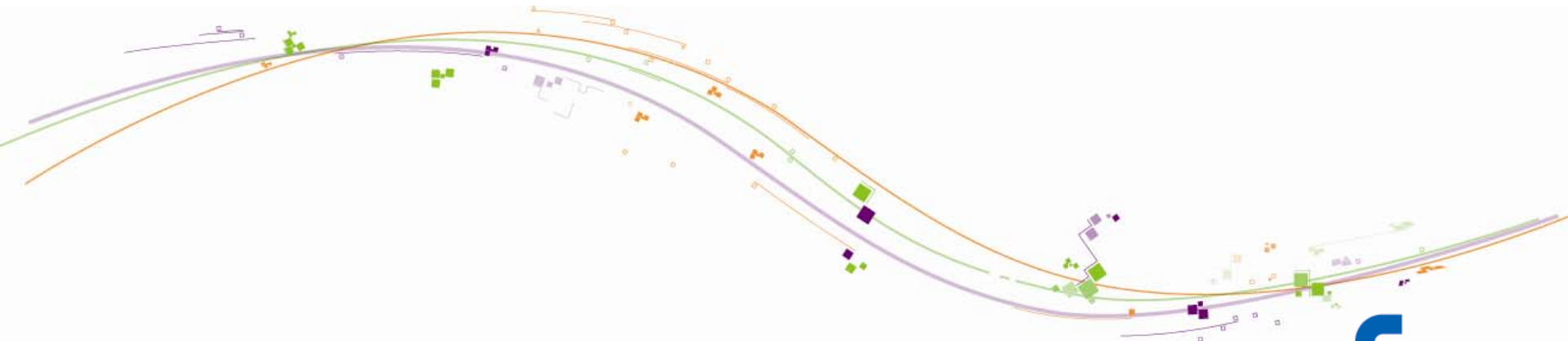


Anne de GUIBERT





Colloque IFP Panorama
28 janvier 2010
Anne de Guibert



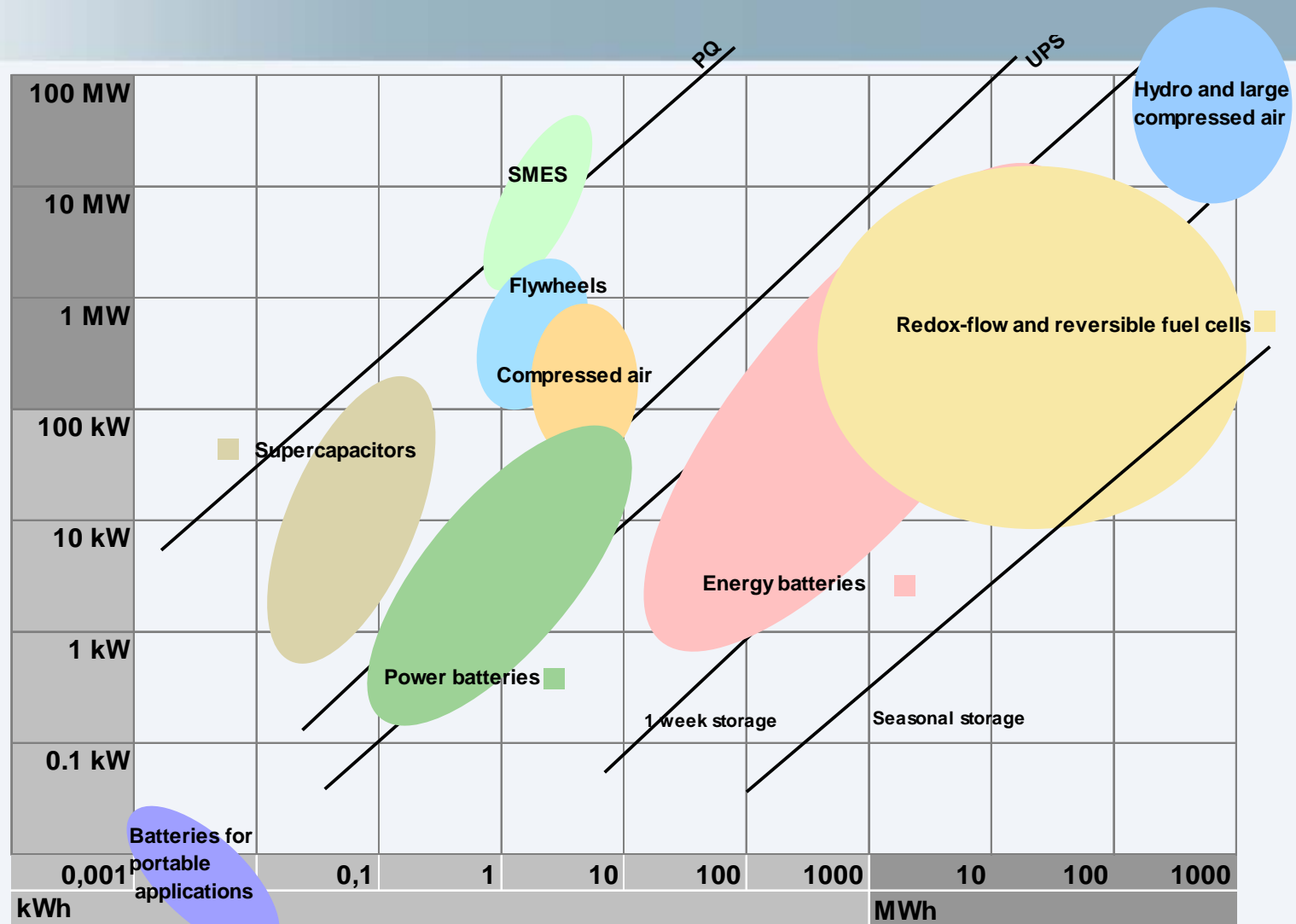
Plan de la présentation

1. Problématique du stockage
2. Les systèmes batteries
3. Les enjeux matériaux en Li-ion
4. Autres batteries
5. Conclusion



1. Problématique du stockage de l'énergie

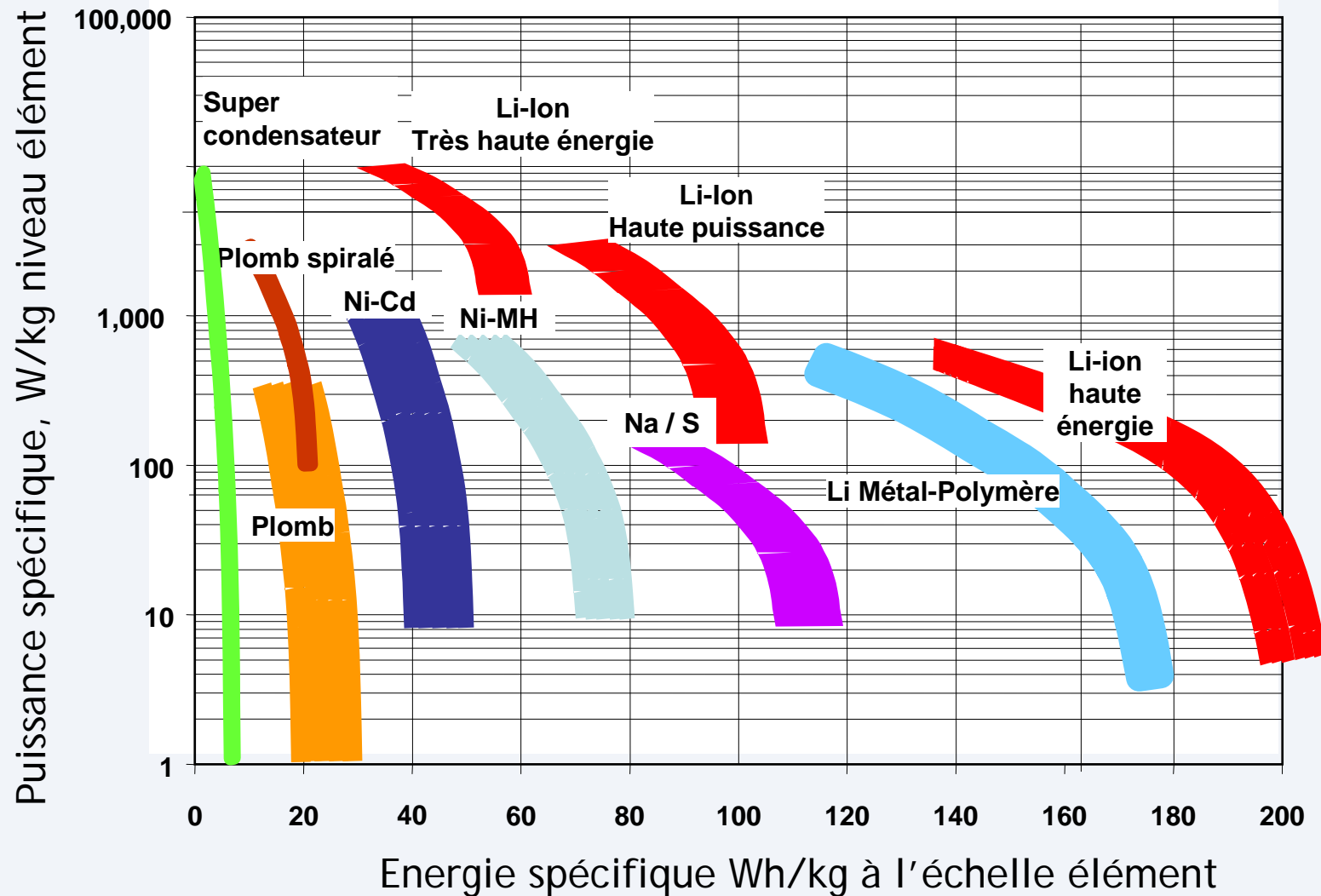
Les différentes formes de stockage : énergie et puissance



document CEE "Energy Storage : A key technology for decentralized power, power quality and clean transport" - 2001

2. Les systèmes batteries

Diagramme énergie/puissance des couples électrochimiques



Les marchés aujourd'hui et demain

- Portables (les « 4C ») : communication, camcorders, cordless, computers :
 - exclusivement batteries aujourd'hui (Li-ion), micro piles à combustible dans le futur (servant à charger les batteries)

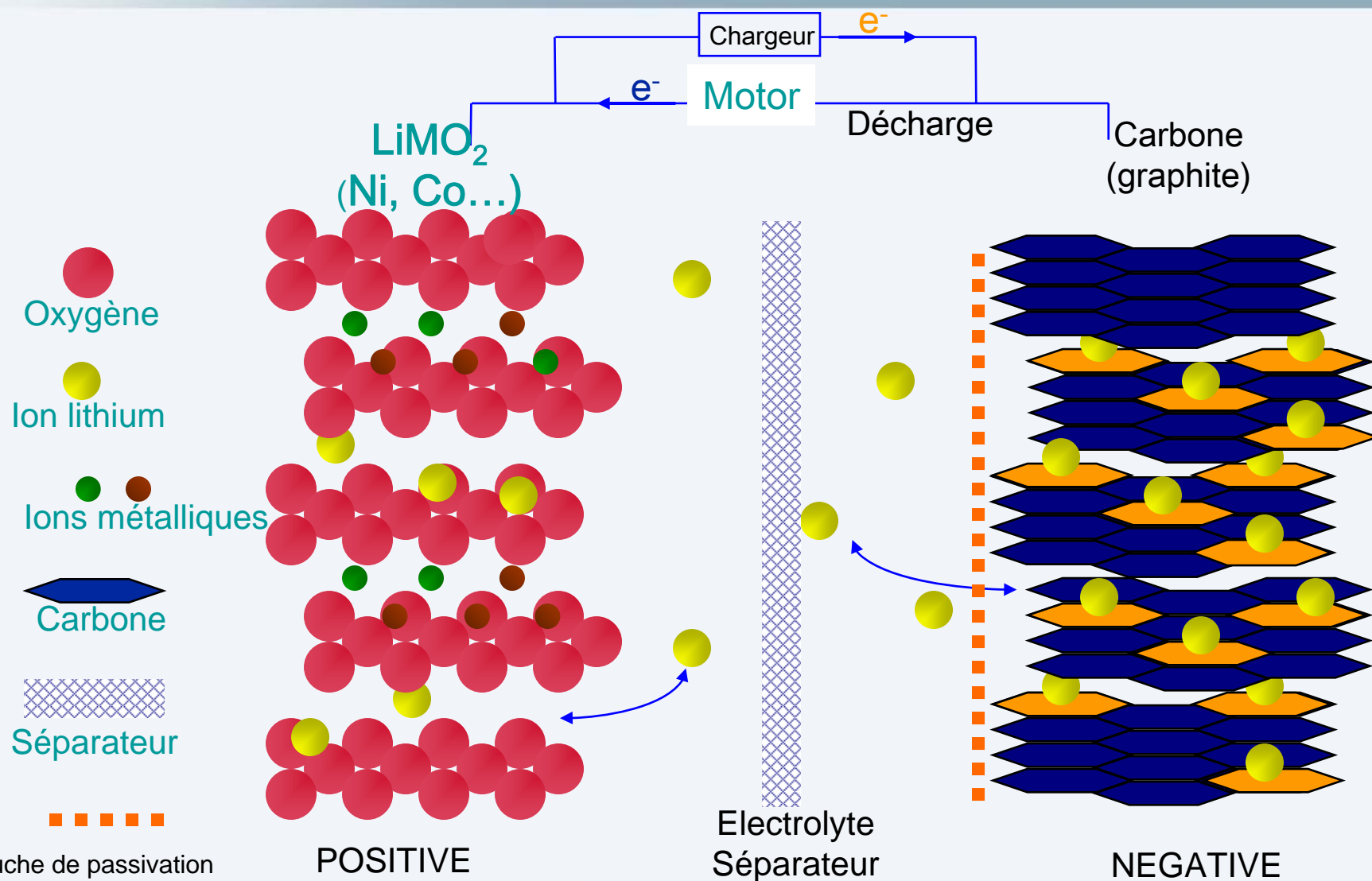
- Véhicules hybrides : batteries + un peu supercondensateurs
 - Ni-MH (Toyota Prius, Cherry, transports lourds)
 - Li-ion (tous les autres)
 - micro-hybrides en plomb + supercondensateurs possibles

- Plug-in et voitures électriques : batteries
 - tous projets en batteries Li-ion, sauf Bolloré en batteries lithium métal

- Stockage des énergies intermittentes :
 - systèmes variés ; batteries entre autres (Li-ion, NaS)

3. Enjeux matériaux des batteries lithium-ion

Le Li-ion et ses matériaux



Forces et faiblesses de la technologie Li-ion

■ Forces :

- La meilleure énergie spécifique (plus de 200 Wh/kg en élément d'énergie pour application portable)
- Bonne énergie volumique
- Excellente cyclabilité
- Bonne durée de vie calendaire
- Très forte puissance possible (jusqu'à 12 kW/kg en impulsions)
- Très bon rendement énergétique

■ Faiblesses :

- Coût global de la technologie
- Nécessité d'électronique de gestion
- La sécurité des gros éléments en tests abusifs (surcharge, court-circuit) est à améliorer
- Chargeabilité insuffisante à basse température (dépôt de lithium métallique)

Quelle quantité de Lithium dans un accumulateur Li-ion ?

- il y a environ 2,5% en masse d'équivalent lithium métal dans un accumulateur Li-ion

- Lors de l'assemblage des éléments, l'élément lithium est contenu sous forme ionique uniquement dans :
 - le matériau actif de l'électrode positive (LiCoO_2 ; LiNiO_2 ; LiFePO_4 ...)
 - le sel de l'électrolyte (LiPF_6)
 - répartis en 95% dans le matériau de positive ; 5% dans l'électrolyte

- soit :
 - <1 gramme dans un téléphone
 - environ 10 grammes dans un ordinateur
 - 3,3 kg dans une voiture électrique (200g pour un HEV)
 - 1,3 tonne dans un système de stockage de 8 MWh

Combien nous faut-il de lithium en 2020 ?

- Le portable :
 - 2 milliards d'éléments en 2008; 1800 tonnes d'équivalent Li métal contenu
 - 8-10 % de croissance annuelle : 4 500 tonnes en 2020

- 10 million de voitures électriques :
 - 35 000 tonnes d'équivalent Li métal contenu

- 10 000 systèmes de stockage de 1 MWh
 - 1 650 tonnes

- Conclusion : très réaliste par rapport aux réserves, supérieur à la production actuelle de 27 000 tonnes par an

Pénurie de lithium ou spéculation ?

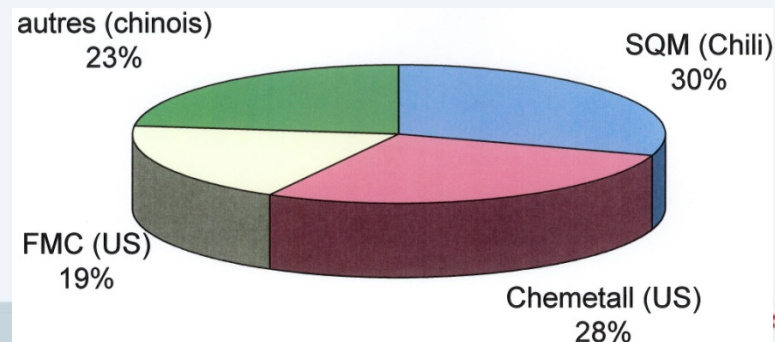
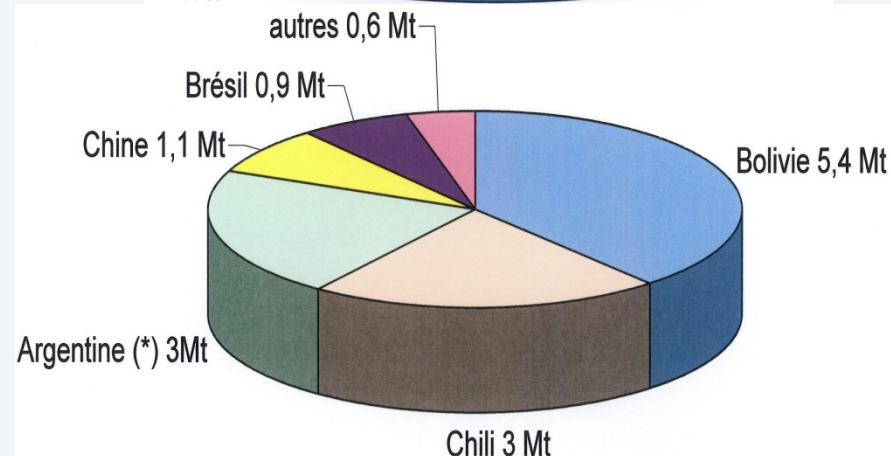
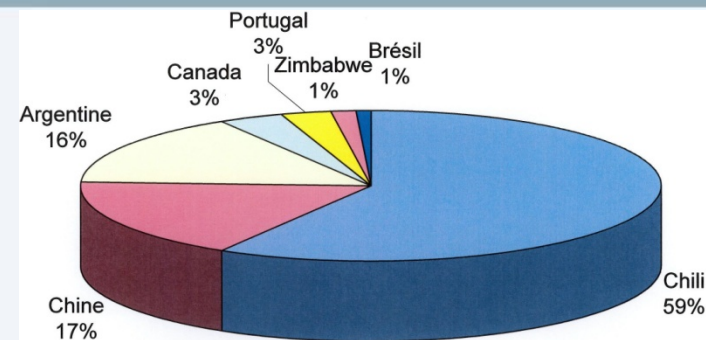
- Production de lithium 2008 : 27400 tonnes

- Réserves de lithium des salars 11 millions de tonnes



Regorgeant de lithium, les lacs salés andins sont devenus l'objet de toutes les convoitises de la part des fabricants de batteries.

- Les producteurs : 3 gros et des sociétés d'état chinoises



De la place pour la spéculation

- Le prix du lithium a triplé en 5 ans
- L'offre est pourtant actuellement excédentaire, mais il y a très peu de fournisseurs et le marché est opaque
- Les ressources actuellement exploitées sont principalement les salars du Chili et d'Argentine (les moins coûteuses)
- Quand le prix monte au dessus de xxx \$ la tonne de Li_2CO_3 , il devient rentable d'exploiter d'autres sources (minerais abondants tels que spodumènes)
- SQM (Chili, n°1) met du lithium sur le marché, les prix baissent, l'exploitation n'est plus rentable. SQM contrôle.

Facteurs de risque et de stabilisation

- Facteur de risque important :
 - Il faut 5 ans minimum pour ouvrir une nouvelle exploitation

- Facteur de stabilisation à long terme : le recyclage
 - aujourd'hui, seuls les métaux sont recyclés
 - le lithium contenu va dans les scories
 - il pourrait être récupéré si les prix montent

- Autre facteur de stabilisation : les très nombreux minerais exploitables si les prix sont élevés. Ils sont mieux répartis géographiquement

Li-ion : tension sur le cobalt

- Production annuelle de cobalt : 60 000 tonnes
- Prix élevé et très volatil pour des raisons géopolitiques
- Matériau « historique » des électrodes positives : LiCoO_2
 - 1 milliard d'éléments portables = 10 000 tonnes de Co
 - consommation de cobalt aussi dans les batteries alcalines
- Situation différente du lithium :
 - il n'a jamais été question de mettre LiCoO_2 dans les batteries industrielles (trop cher)
 - il existe des solutions techniques pour diminuer la quantité de cobalt

Matériaux alternatifs d'électrode positive

Initialement LiCoO_2 : *100%Co*

Chimie	Energie (matériaux seulement)	Vie calendaire	Sécurité	Management batterie	Coût
<i>15%Co</i> $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$	529 Wh/kg	10 yr at 40°C 50% SOC	Réactivité cathode	Contrôle par tension vs. SOC	Référence
<i>33%Co</i> $\text{Li}(\text{NiMnCo})\text{O}_2$	476 Wh/kg	Lower than NCA Opportunity to improve	Réactivité cathode	Contrôle par tension vs. SOC	Close to reference
<i>0%Co</i> LiMn_2O_4	419 Wh/kg	Lower than NCA Mn dissolution	Réactivité cathode	Contrôle par tension vs. SOC	Lower cathode material cost Balance of system same
<i>0%Co</i> LiFePO_4	424 Wh/kg	Lower than NCA To be demonstrated	Limitée par réactivité solvant	Stratégie à développer	Lower cathode material cost Systems cost same

4. Les autres batteries

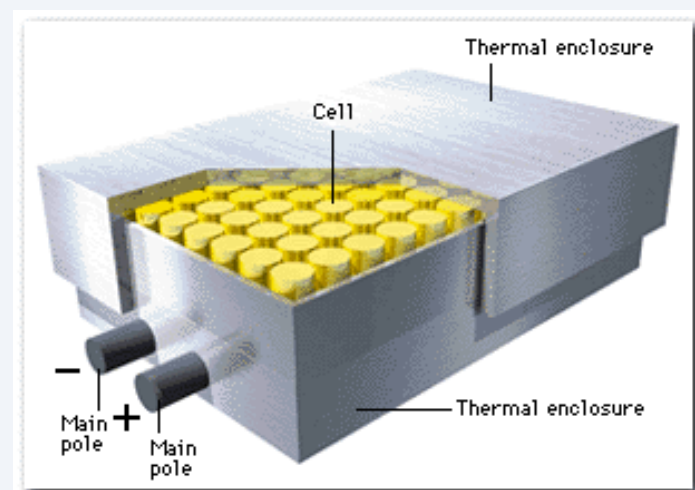


Ni-MH et les terres rares

- 800 millions d'éléments portables fabriqués en 2008 ; pas de croissance ; marchés industriels : HEV, trams
- Matériaux d'électrode négative : alliages de terres rares (qui ne sont pas si rares)
- Les minerais sont principalement en Chine (Mongolie), les alliages sont faits par des compagnies japonaises : limitation des exportations chinoises visant en premier lieu le néodyme et le praséodyme, utilisés pour les aimants permanents et les composants
- Les batteries peuvent être touchées par ricochet, au moins temporairement

Systèmes de stockage à batteries NaS

- Inventée in 1965 par Ford pour les véhicules électriques
- Aujourd'hui les batteries NaS sont développées par NGK & Tepco et fabriquées par NGK pour de gros projets de démonstration de batteries stationnaires pour batteries pour load leveling et peak shaving
- Pas d'autre fabricant connu au stade industriel



Source of photos : NGK website

Conclusion

- Les prophètes de malheur qui prédisent une pénurie de lithium n'ont pris en compte que les salars et les ont sous-estimés
- Les autres sources (de coût plus élevé mais réaliste : recyclage dans le futur, spodumène et autres minerais) sont abondantes et mieux réparties
- Attention à la spéculation
- La question du cobalt doit être résolue par les améliorations de matériaux de cathodes alternatifs avec peu ou sans cobalt. Même pour l'application portable, la migration a commencé.
- Ne pas oublier les batteries plomb et sodium-soufre qui sont adaptées pour certains segments d'utilisation