

# Métaux des batteries Li-ion

## Etat des lieux et risques d'approvisionnements

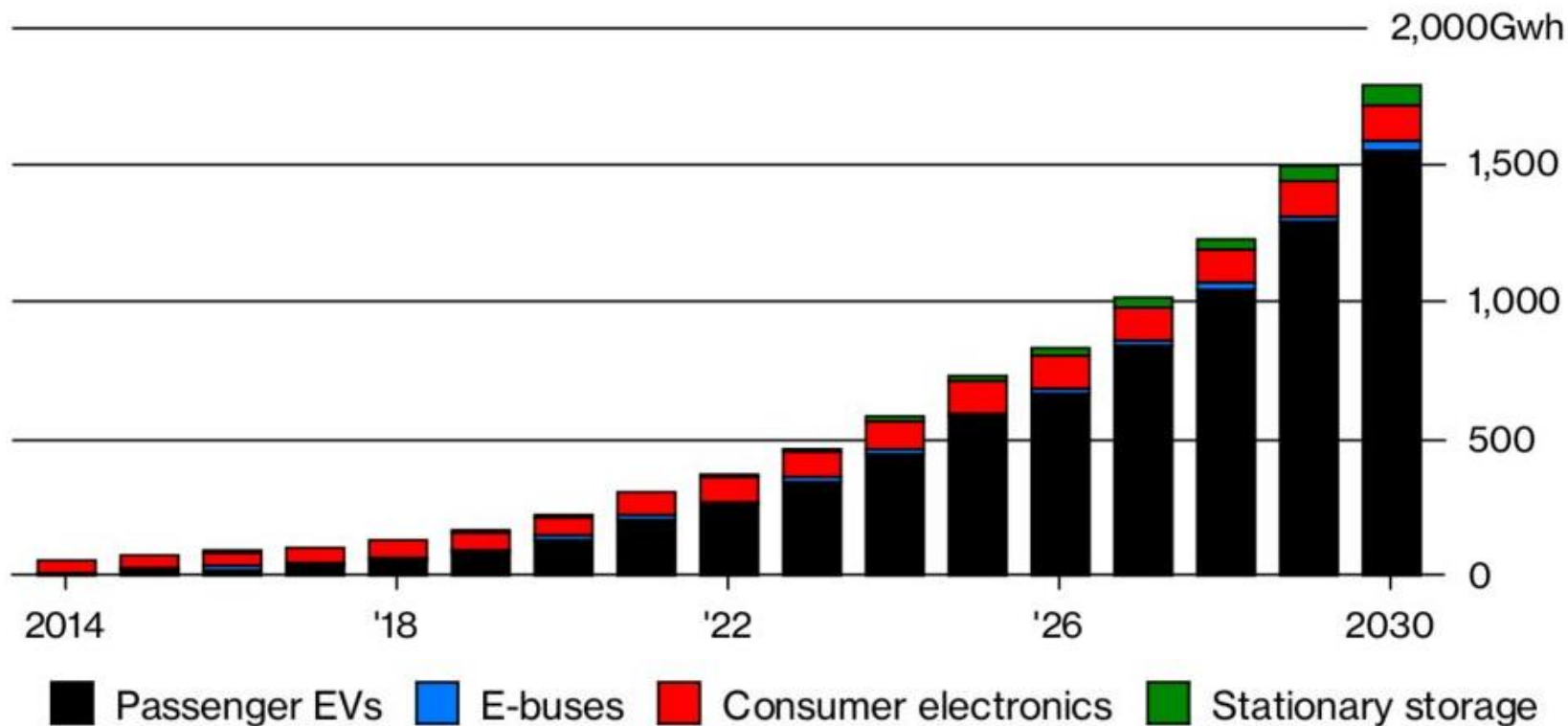
Gaétan Lefebvre  
g.lefebvre@brgm.fr

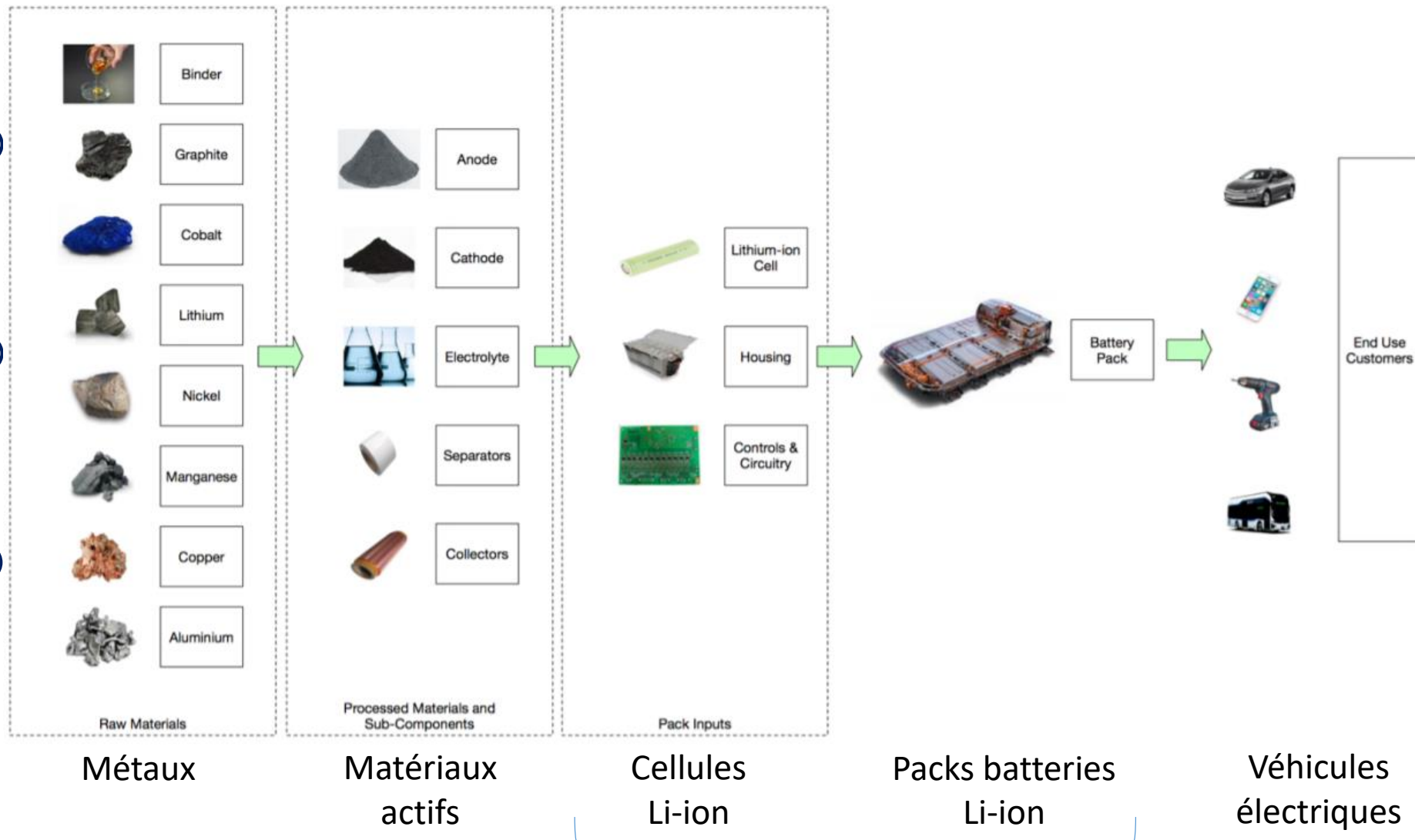


- Les véhicules électriques auront un rôle fondamental dans le stockage d'énergie d'ici à 2025 – 2030
- Dans un scénario d'environ 1 800 GWh à 2030, près de 90% proviendra des xEVs

## Scénario d'évolution de la demande en stockage électrique d'ici 2030

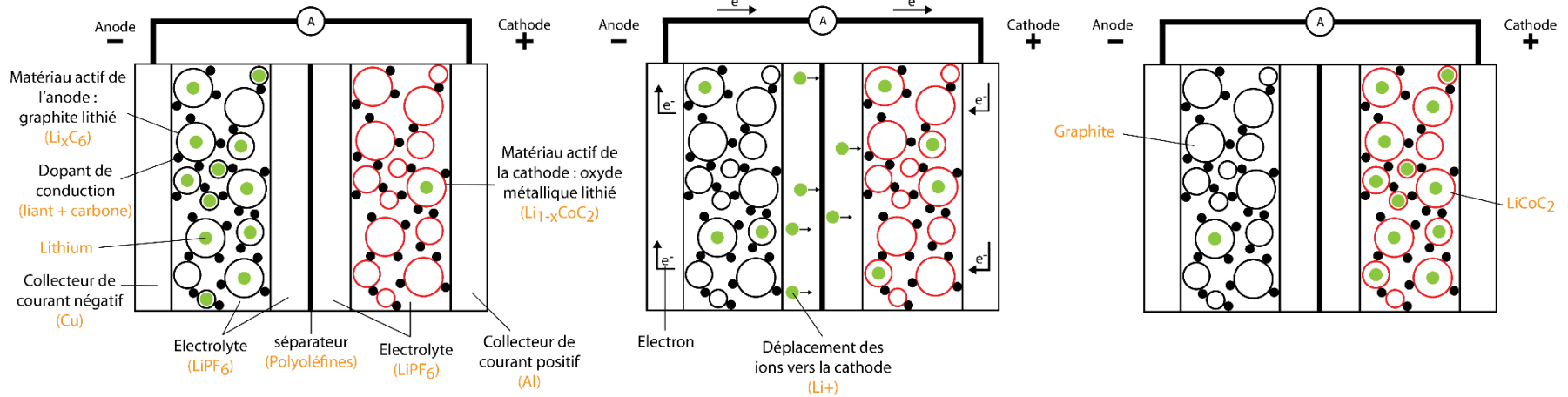
Source : Bloomberg New Energy Finance, 2018





**Gigafactories**

## Principe de fonctionnement d'une batterie lithium-ion lors de la décharge, exemple d'une LCO (lithium cobalt oxyde)



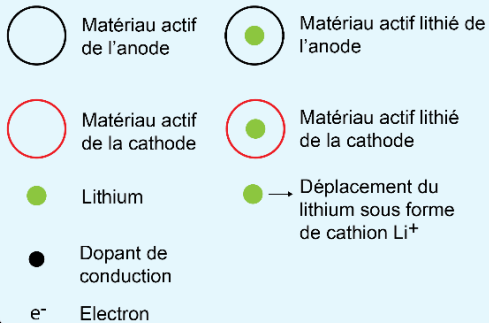
Etat de la charge

100%

50%

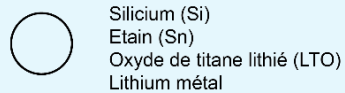
0%

### Légende

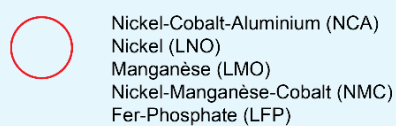


### Exemples d'autres matériaux utilisés

à l'anode :

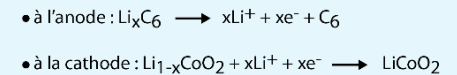


à la cathode :

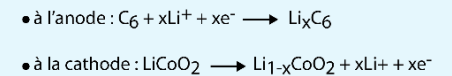


### Réactions mises en oeuvre lors du fonctionnement de la batterie

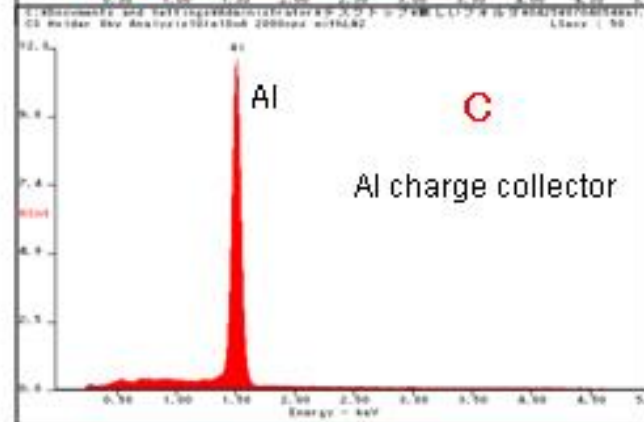
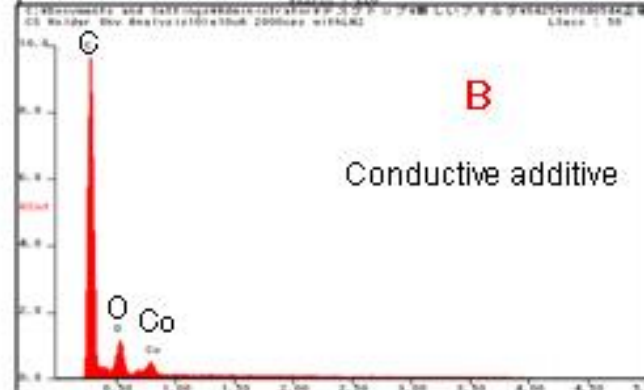
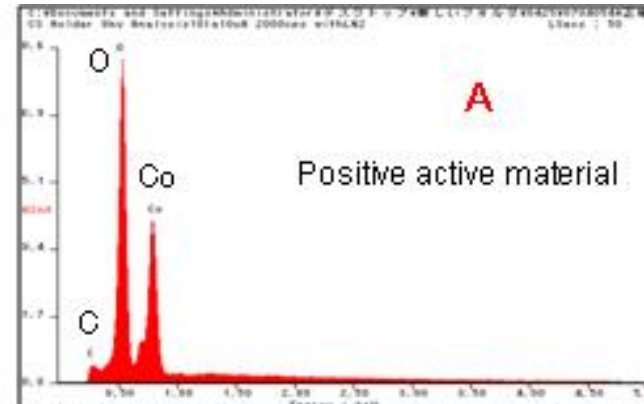
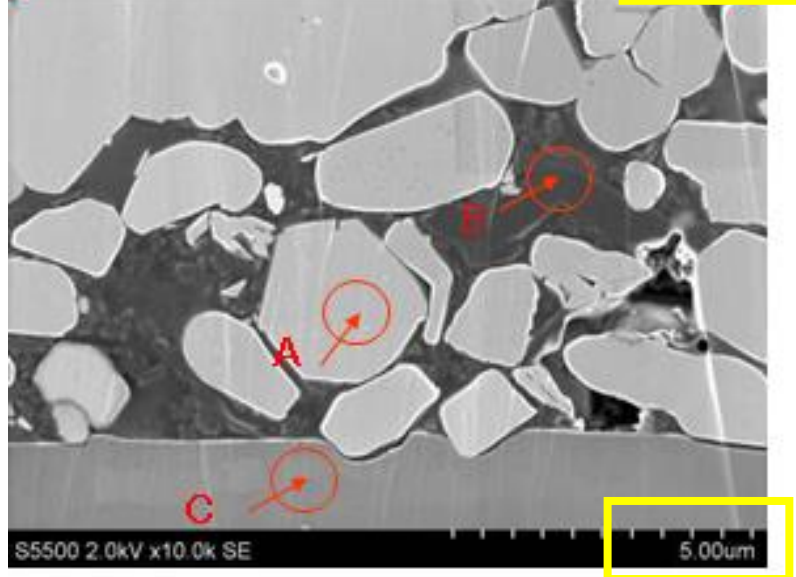
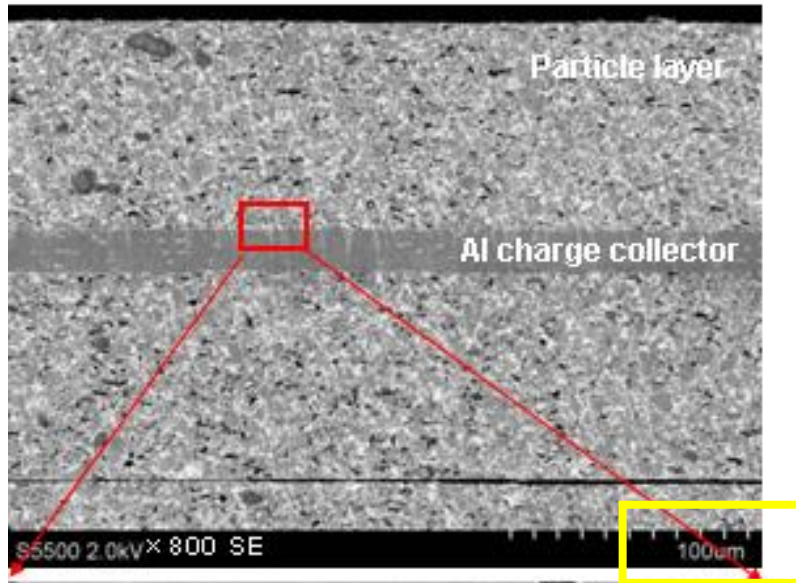
déchargement :



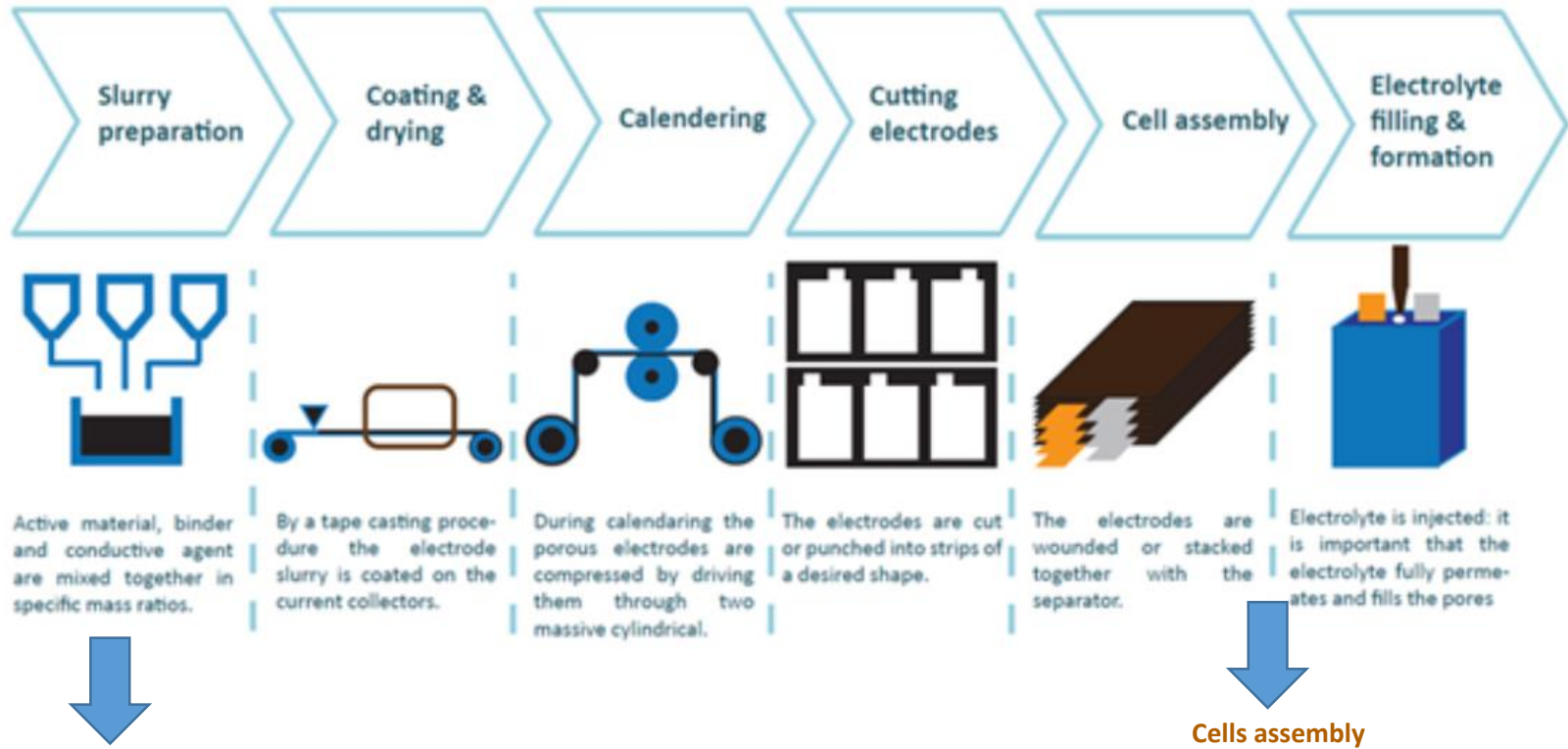
chargement :



Echelle des particules métalliques = quelques microns !!

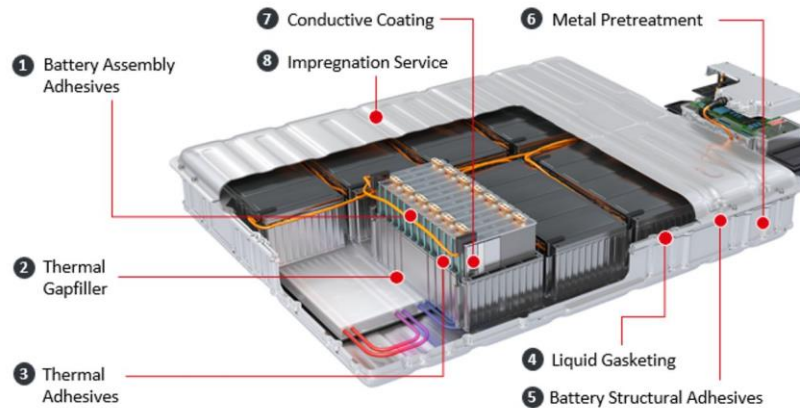
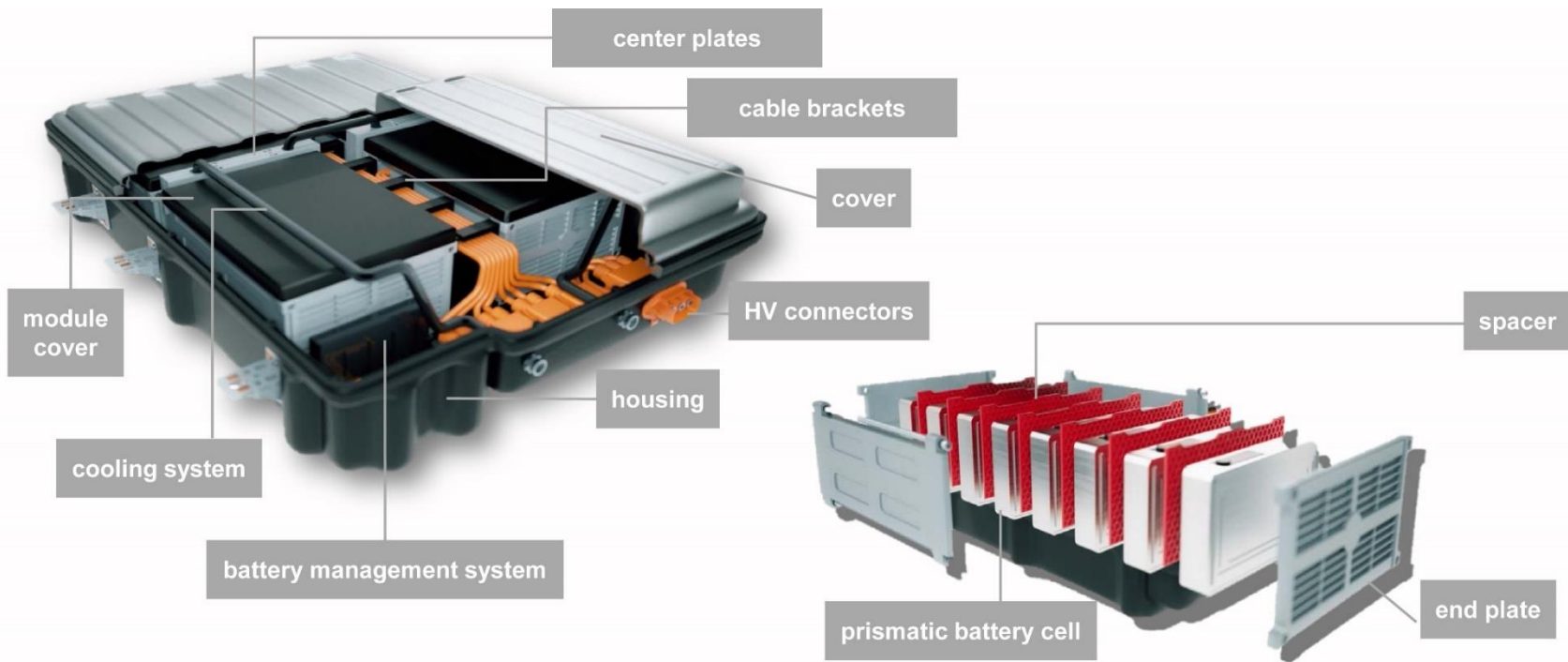






Source : techsciresearch.com

## Battery packs



- Différentes options, en particulier pour **les matériaux de cathodes** selon un grand nombre de paramètres :
  - Coût
  - Légèreté
  - Sécurité / fiabilité
  - Durée de vie (nombre de cycles avant la détérioration)
  - Etc.

Chemical Name	Material	Abbreviation
Lithium cobalt oxide	$\text{LiCoO}_2$	LCO
Lithium manganese oxide	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	LMO
Lithium iron phosphate	$\text{LiFePO}_4$	LFP
Lithium nickel manganese cobalt oxide	$\text{LiNiMnCoO}_2$	NMC
Lithium nickel cobalt aluminum oxide	$\text{LiNiCoAlO}_2$	NCA
Lithium titanate	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	LTO

Source : BatteryUniversity.com



- Différentes options, en particulier pour **les matériaux de cathodes** selon un grand nombre de paramètres :

**Tableau comparatif et synthétique des différents matériaux de la cathode**

Matériaux de la cathode	Demande en 2016 (en tonnes)	Répartition de la demande en 2016	Applications majeures	Sureté	Coût de fabrication	Densité d'énergie	Durée de vie
LFP	65 709	35,7%	Véhicules électriques (VE) et bus en Chine	Elevée	Faible	Modérée	Elevée
LMO	15 668	8,5%	Mélange avec NMC pour VE	Elevée	Faible	Faible	Modérée
NCA	15 918	8,6%	Batteries Panasonic pour Tesla et mélange avec LMO dans VE	Modérée	Modéré	Elevée	Faible
NMC	47 556	25,8%	Appareils électroniques de plus grande taille, véhicules et bus électriques en Chine	Modérée	Modéré à faible suivant les configurations	Elevée	Modérée
LCO	39 307	21,3%	Appareils électroniques de petite taille (smartphones, tablettes etc.)	Faible	Elevé	Modérée	Faible



	LEAF e+ (62kWh) Newly-introduced	LEAF (40kWh) Second generation	LEAF (24kWh) First generation
Cathode material	<p>Layer structure (NMC*) Lithium: ● Metal: ● Oxygen: ●</p>	<p>Optimized storage of Lithium ions</p> <p>Spinel structure (LMO**)  Lithium: ● Metal: ● Oxygen: ●</p>	
Module	<p>New module layout allows configuration flexibility to minimize battery pack size</p> <p>Cell amount can be customized, resulting in a compact module</p>	<p>8-cell module</p>	<p>Optimize structure to include 2 modules</p> <p>4-cell module</p>

\*Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide

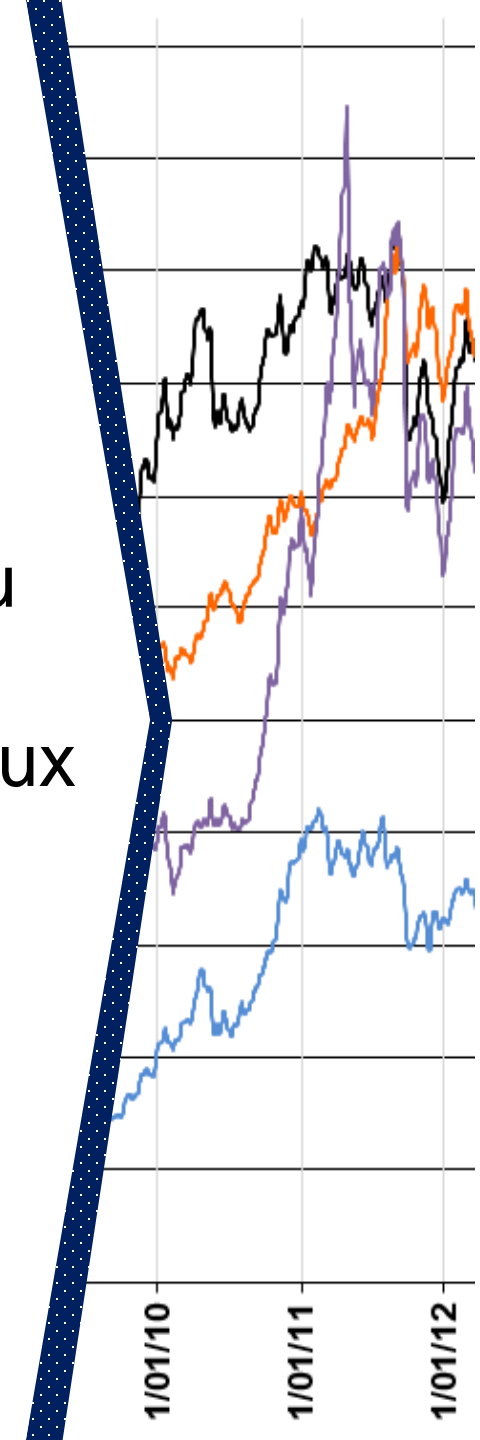
\*\*Lithium Manganese Oxide

## Exercices de scénarios:

Objectif : A partir de scénarios réalistes ou plausibles de développement du véhicule électrique, quantifier la demande en métaux correspondante et en discuter la viabilité

Article co-écrit avec Didier Bloch, chef du laboratoire « Matériaux Batteries » du CEA-LITEN, publié dans la Revue de l'électricité et l'électronique, oct 2019

<https://www.see.asso.fr/ree>



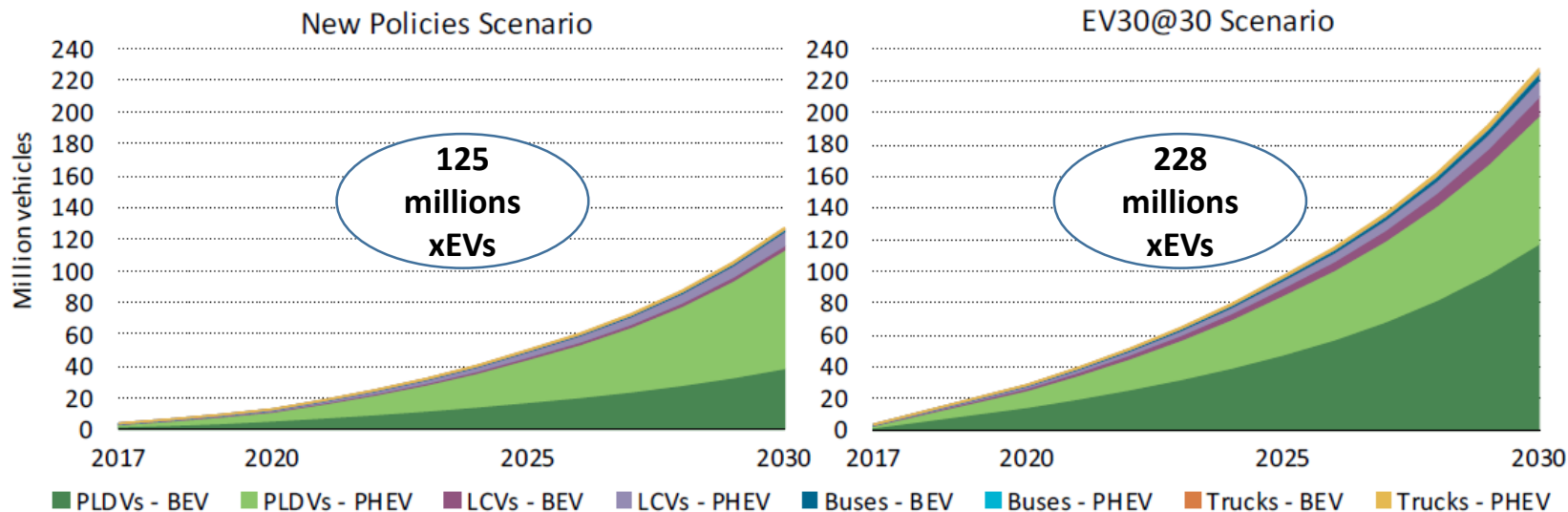
- 2 scénarios principaux retenus ici, ceux de l'IEA - Global EV Outlook 2018

## New Policies Scenario

- Parc xEVs : 125 millions en 2030
- Parc auto mondial : 2,1 milliards de véhicules
- Part du parc électrifié : 6 %

## EV30@30 Scenario

- Parc xEVs : 228 millions en 2030
- Parc auto mondial : 1,8 milliards de véhicules
- Part du parc électrifié : 12 %

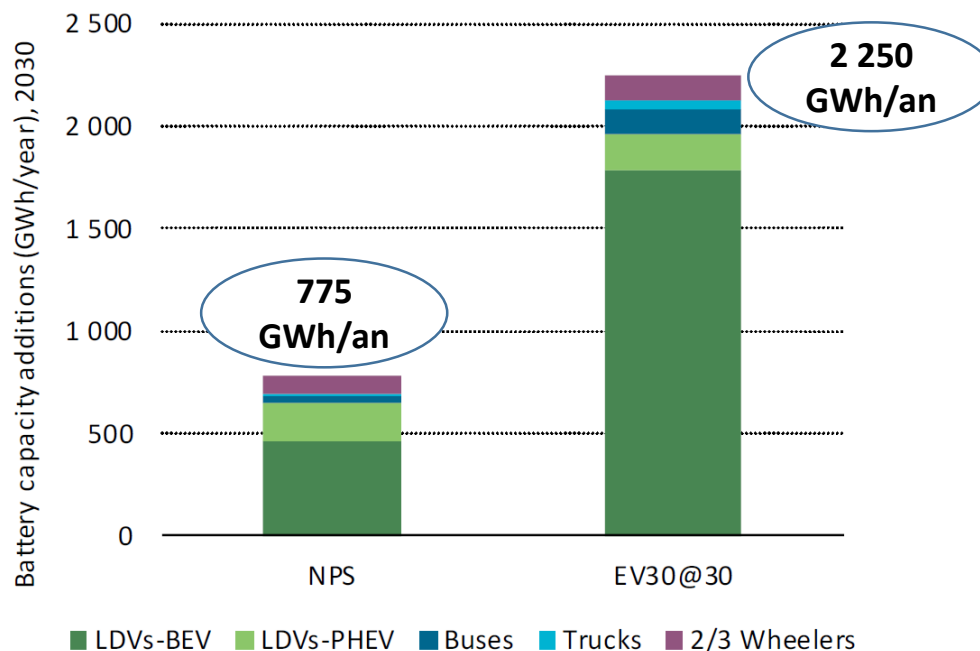


Notes: PLDVs = passenger light duty vehicles; LCVs = light commercial vehicles; BEVs = battery electric vehicles; PHEV = plug-in hybrid electric vehicles.

Source: IEA analysis developed with the IEA Mobility Model (IEA, 2018b).



- Implications en termes d'énergie électrique à fournir à l'échelle mondiale :



Par ordre de comparaison :

- La production des Gigafactories pour xEVs était équivalente à **68 GWh/an en 2017**
- Dont la Gigafactory Tesla (Nevada) : 20 GWh
- Le reste des capacités étant majoritairement situé en Asie/Chine

- Pour quantifier l'impact sur les besoins en métaux du développement des véhicules électriques, nous allons regarder 3 paramètres principaux :
  - La **quantité totale d'énergie embarquée** (stock de batteries immobilisé dans le parc en circulation)
  - La **composition chimique** des batteries (et donc leur contenu en métaux)
  - La **taille des batteries**, c'est-à-dire l'énergie moyenne embarquée
  
- Hypothèses de travail :
  - **Part des véhicules légers BEV et PHEV supérieure à 90% dans ces scénarios**  
Non prise en compte ici des stocks immobilisés pour électrifier 2-3 roues, bus et camions électriques
  
  - **Chimie dominante pour tous ces véhicules : NMC 8-1-1**  
Chaque Gigafactory est un investissement de plusieurs milliards. Leur rentabilisation exige de ne pas avoir d'évolution radicale de chimie. Seules quelques innovations incrémentales pour les matériaux (substitution Co)

- Pour la fabrication d'1 kWh d'énergie électrique, les quantités unitaires de matériaux de cathode (sur le marché actuellement) pour chaque variante de technologie Li-ion sont les suivants :

kg/kWh	Li	Ni	Co	Mn
<b>NCA</b>	0,10	0,67	0,13	0,00
<b>NMC 111</b>	0,15	0,40	0,40	0,37
<b>NMC 433</b>	0,14	0,47	0,35	0,35
<b>NMC 532</b>	0,14	0,59	0,23	0,35
<b>NMC 622</b>	0,13	0,61	0,19	0,20
<b>NMC 811</b>	0,11	0,75	0,09	0,09

Tableau 1 : Consommation (kg de matériau par kWh de batterie) en métaux critiques/sensibles de quelques chimies de batteries au lithium – Source : IEA (2018) Global EV Outlook [3].

- Les 2 scénarios principaux NPS et EV30@30 retiennent les mêmes hypothèses en termes d'énergie moyenne embarquée par type de véhicule mais en proportions différentes

## New Policies Scenario

- Energie Moyenne BEV : 70 kWh
- Energie Moyenne PHEV : 15 kWh
- Part de BEVs: 33,3 %
- Part de PHEVs : 66,6 %

## EV30@30 Scenario

- Energie Moyenne BEV : 70 kWh
- Energie Moyenne PHEV : 15 kWh
- Part de BEVs: 60 %
- Part de PHEVs : 40 %



BEVs : type Tesla Model X et modèles suivants

70 kWh  
embarqués (moy.)



PHEVs : type Toyota Prius et modèles suivants

15 kWh  
embarqués (moy.)



- Calcul de la quantité totale d'énergie embarquée :

	Horizon 2030		Horizon hypothétique 2050-2060	
	Scénario « New Policies »	Scénario « EV30@30 »	Scénario 30% électrique	Scénario 100% électrique
Part du parc total électrifié	6%	12%	30%	100%
Nombre total de véhicules	2 100 millions	1 850 millions	1 850 millions	1 850 millions
Nombre de véhicules électrifiés	125 millions	228 millions	555 millions	1 850 millions
Nb BEV en circulation	41,3 millions	137 millions	333 millions	1 110 millions
Nb PHEV en circulation	82,5 millions	91 millions	222 millions	740 millions
Energie moy BEV	70 kWh	70 kWh	70 kWh	70 kWh
Energie moy PHEV	15 kWh	15 kWh	15 kWh	15 kWh
Stock BEV (GWh)	2 888 GWh	9 576 GWh	23 310 GWh	77 700 GWh
Stock PHEV (GWh)	1 238 GWh	1 368 GWh	3 330 GWh	11 100 GWh
<b>Total énergie embarquée</b>	<b>4 125 GWh</b>	<b>10 944 GWh</b>	<b>26 640 GWh</b>	<b>88 800 GWh</b>

- Correspondance des stocks de métaux embarqués en fonction des choix de compositions NMC 8-1-1 ou NMC 6-2-2 :

Scénario 100% 8-1-1	Horizon 2030		Horizon hypothétique 2050-2060	
	Scénario « New Policies »	Scénario « EV30@30 »	Scénario 30% électrique	Scénario 100% électrique
Total besoin Co (kt)	388 kt	1 029 kt	2 504 kt	8 347 kt
Total besoin Ni (kt)	3 094 kt	8 208 kt	19 980 kt	66 600 kt
Total besoin Li (kt)	454 kt	1 204 kt	2 930 kt	9 768 kt

Scénario 80% 8-1-1 - 20% 6-2-2	Horizon 2030		Horizon hypothétique 2050-2060	
	Scénario « New Policies »	Scénario « EV30@30 »	Scénario 30% électrique	Scénario 100% électrique
Total besoin Co (kt)	467 kt	1 239 kt	3 016 kt	10 052 kt
Total besoin Ni (kt)	2 978 kt	7 902 kt	19 234 kt	64 114 kt
Total besoin Li (kt)	470 kt	1 248 kt	3 037 kt	10 123 kt

**Besoin totaux en métaux de cathodes immobilisés dans le parc de véhicules en circulation**

*Stock immobilisé en moyenne pendant 10 ans*

BESOINS ANNUELS (VENTES)	Horizon 2030		Horizon 2050-2060	
	Scénario « New Policies »	Scénario « EV30@30 »	Scénario 30% électrique	Scénario 100% électrique
Ventes totales véhicules/an	160 millions	160 millions	160 millions	160 millions
Part des ventes	13%	24%	30%	100%
Ventes totales de xEVs/an	20,8 millions	38 millions	48 millions	160 millions
% ventes BEV	33%	60%	60%	60%
% ventes PHEV	66%	40%	40%	40%
Ventes véhicules BEV/an	6,9 millions	22,8 millions	28,8 millions	96 millions
Ventes véhicules PHEV/an	13,7 millions	15,2 millions	19,2 millions	64 millions
Energie moy BEV (kWh)	70 kWh	70 kWh	70 kWh	70 kWh
Energie moy PHEV (kWh)	15 kWh	15 kWh	15 kWh	15 kWh
Besoins batteries BEV/an (GWh)	480,5 GWh	1 596 GWh	2 016 GWh	6 720 GWh
Besoins batteries PHEV/an (GWh)	205,9 GWh	228 GWh	288 GWh	960 GWh
<b>Total batteries/an (GWh)</b>	<b>686 GWh</b>	<b>1 824 GWh</b>	<b>2 304 GWh</b>	<b>7 680 GWh</b>

BESOINS ANNUELS MATERIAUX				
Scénario 100% 8-1-1	Scénario 100% 8-1-1	Scénario 100% 8-1-1	Scénario 100% 8-1-1	Scénario 100% 8-1-1
Total besoin Co (kt/an)	65 kt	171 kt	217 kt	722 kt
Total besoin Ni (kt/an)	515 kt	1 368 kt	1 728 kt	5 760 kt
Total besoin Li (kt/an)	76 kt	201 kt	253 kt	845 kt

↓  
Semble réalisable avec les paramètres 2018

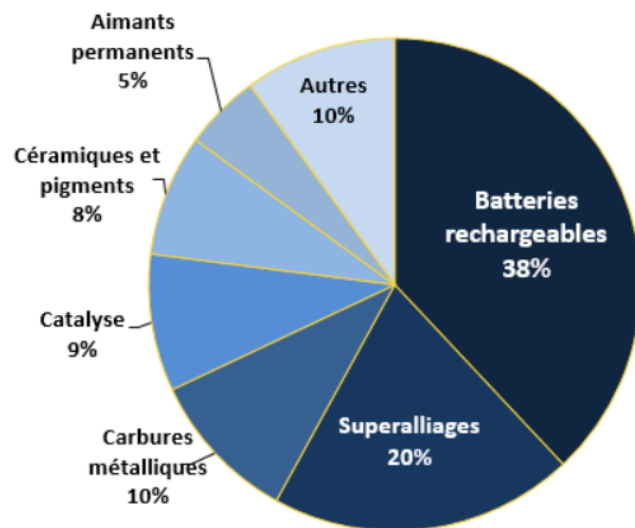
↘ ↙  
Tensions prévisibles sur les ressources et moyens de production

**Favoriser une plus grande proportion de véhicules hybrides (PHEV) a un impact radical sur la demande totale en énergie et la quantité de matériaux sensibles immobilisé : compromis intéressant !**

- Evolution de la production mondiale : **140 kt en 2018** contre 76 kt en 2008 (croissance de 6% /an en moyenne)
- Evolution de la demande mondiale :

### Usages mondiaux du cobalt en 2012

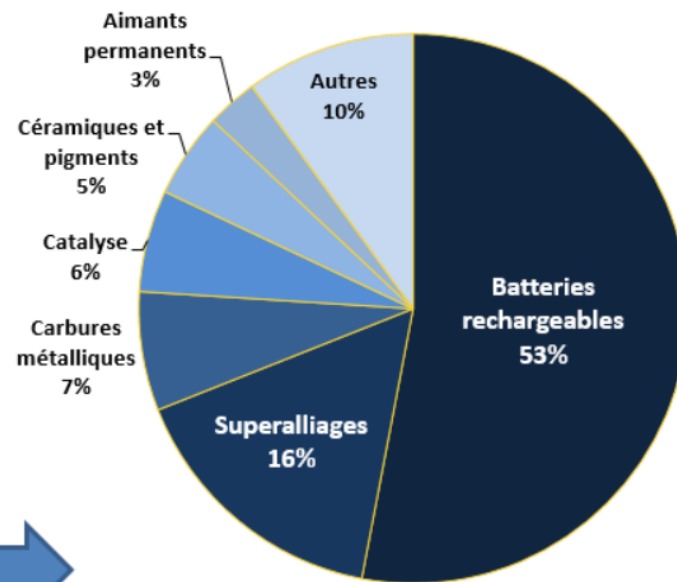
Source : Darton Commodities, 2013



Consommation totale en 2012 : 73,9 kt Co

### Usages mondiaux du cobalt en 2017

Source : Darton Commodities, 2018



Consommation totale en 2017 : 103,9 kt Co

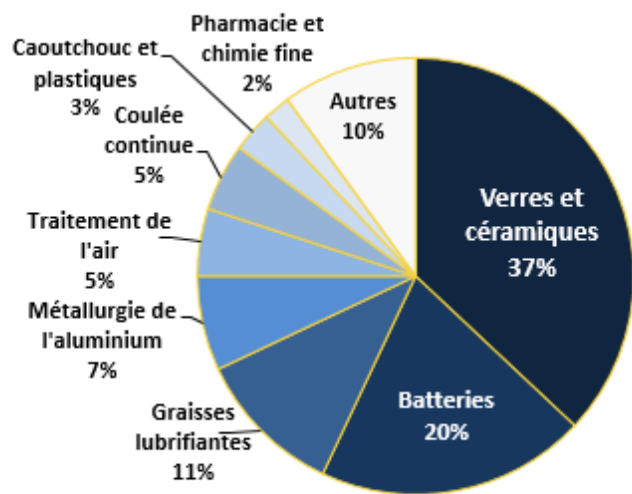


+ 30 %

- Evolution de la production mondiale : **70 kt en 2018** contre 25 kt en 2008 (croissance de 8 à 10% /an en moyenne)
- Evolution de la demande mondiale :

### Usages mondiaux du lithium en 2008

Source : Roskill, 2009



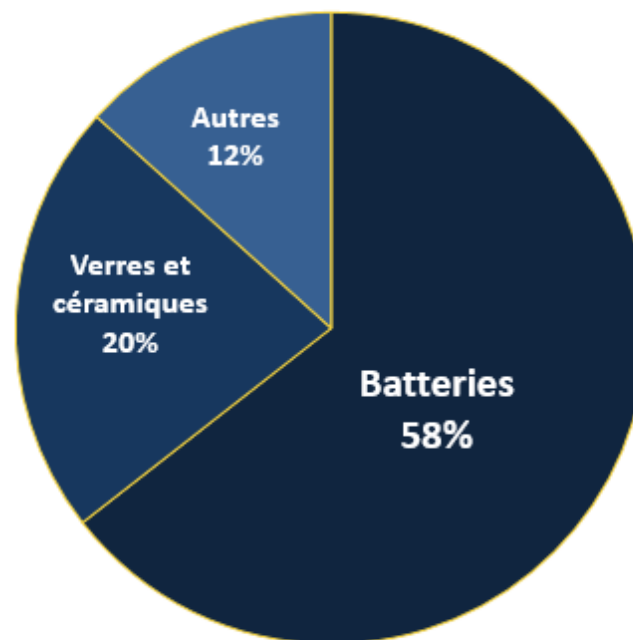
Consommation totale en 2008 :  
**21 300 t Li**



**+ 58 %**

### Usages mondiaux du lithium en 2018

Source : Infinity Lithium, 2019



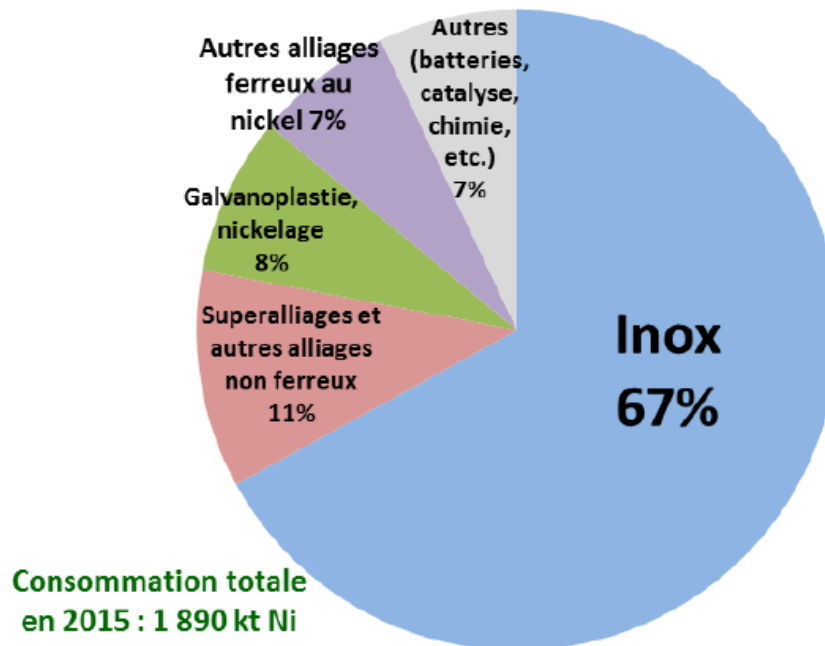
Consommation totale en 2018 :  
**50 750 t Li**



- Evolution de la production mondiale : **2 200 kt en 2018** contre 1 570 kt en 2008 (croissance de 4% /an en moyenne)
- Evolution de la demande mondiale :

## Répartition des usages du nickel dans le monde en 2015

(source : Eramet, 2016)



## Lithium – Scenario NPS – 6% électrique – cathodes 8-1-1

- Stock embarqué de 454 kt Li en 2030 représentant **6,5 fois** la production 2018
- Réalisable sur la base des réserves existantes et de la progression 2008-2018

## Nickel – Scenario NPS - 6% électrique – cathodes 8-1-1

- Stock embarqué de 3 094 kt en 2030 : +40% par rapport à la production 2018
- Réorientation du marché indispensable (seul 120 kt Ni destiné batteries en 2018)

## Cobalt - Scenario NPS – 6% électrique

- Stock embarqué de 388 kt Co en 2030 représentant **2,7 fois** la production 2018 ou même 3,3 fois si la techno 6-2-2 garde 20% du marché
- Demande un doublement de la production en 8 ans (croissance moy. de 9% / an)

## Cobalt – Scenario 100% électrique – cathodes 8-1-1

- Alerte : Demande d'un stock de 10 Mt de cobalt embarqué supérieur aux réserves économiquement exploitables connues en 2018...

- Le cobalt apparaît comme le matériau le plus sensible en termes de disponibilité future
- Le rythme d'exploitation du lithium peut-il se poursuivre ?
- Quel prochain cycle pour le nickel ?
- **Première approche** : Répondre à la question de l'épuisement de ces ressources
- **Chaque année, calcul du nombre théorique d'années d'épuisement des réserves connues**

**Réserves connues (tonnes) / Production (tonnes)**

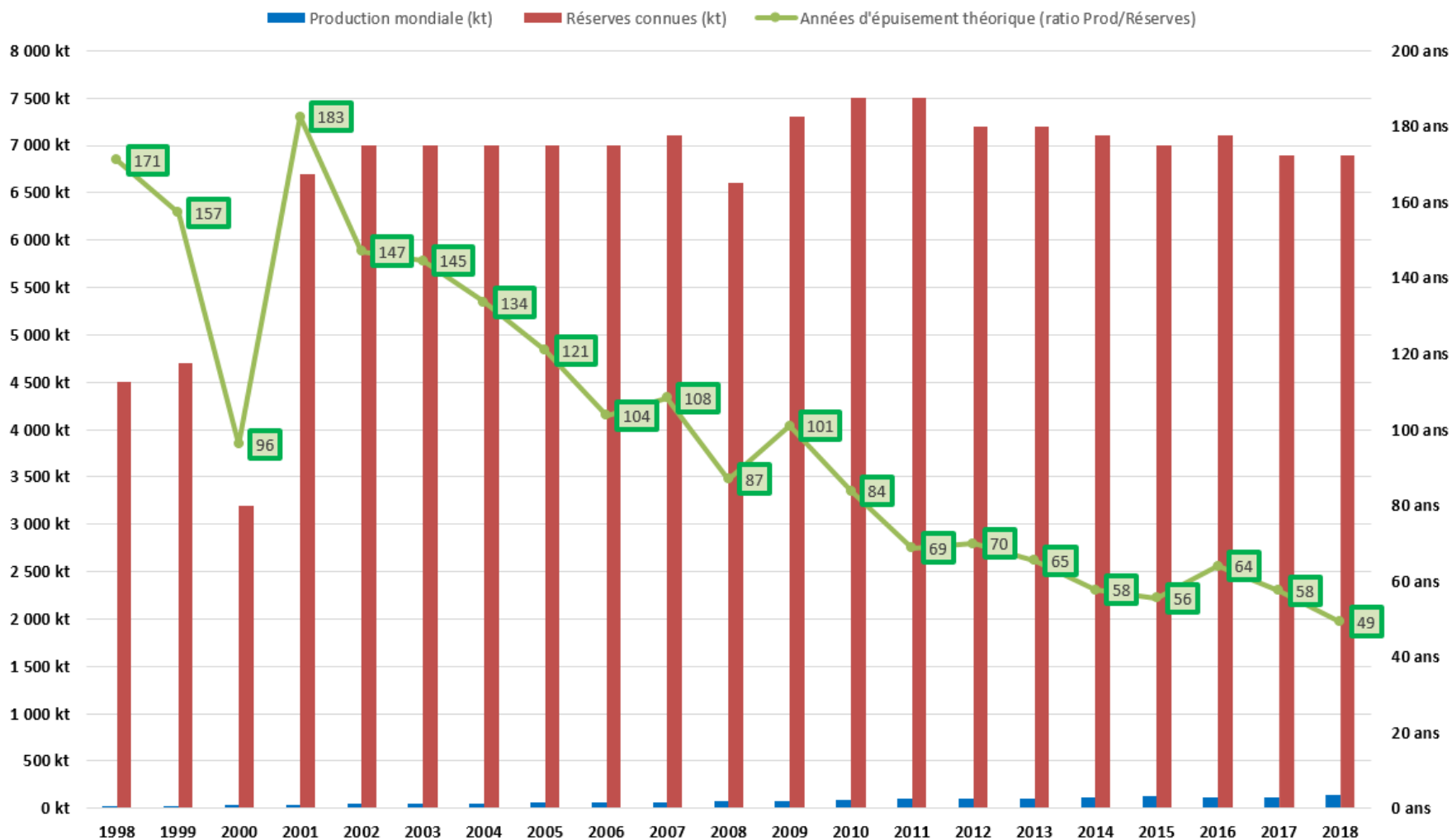
- **Rappel** :
  - La "**Réserve**" est la part de la ressource qui est **techniquement et économiquement exploitable** dans les conditions du marché étudiées à une date donnée. C'est une notion économique. Elle varie dans le temps en fonction des paramètres de marché.
  - La "**Ressource**" est une concentration minérale d'une substance donnée, en quantités suffisantes pour conduire à une éventuelle extraction économique. C'est une **notion naturaliste**. Le degré de connaissance de cette ressource évolue dans le temps en fonction de la quantité de travaux d'évaluation effectués (sondages, etc.).

# Cobalt : absence de découvertes majeures sur les 20 dernières années



## Evolution des années d'épuisement théoriques : Cobalt

Source : USGS Commodity Summaries

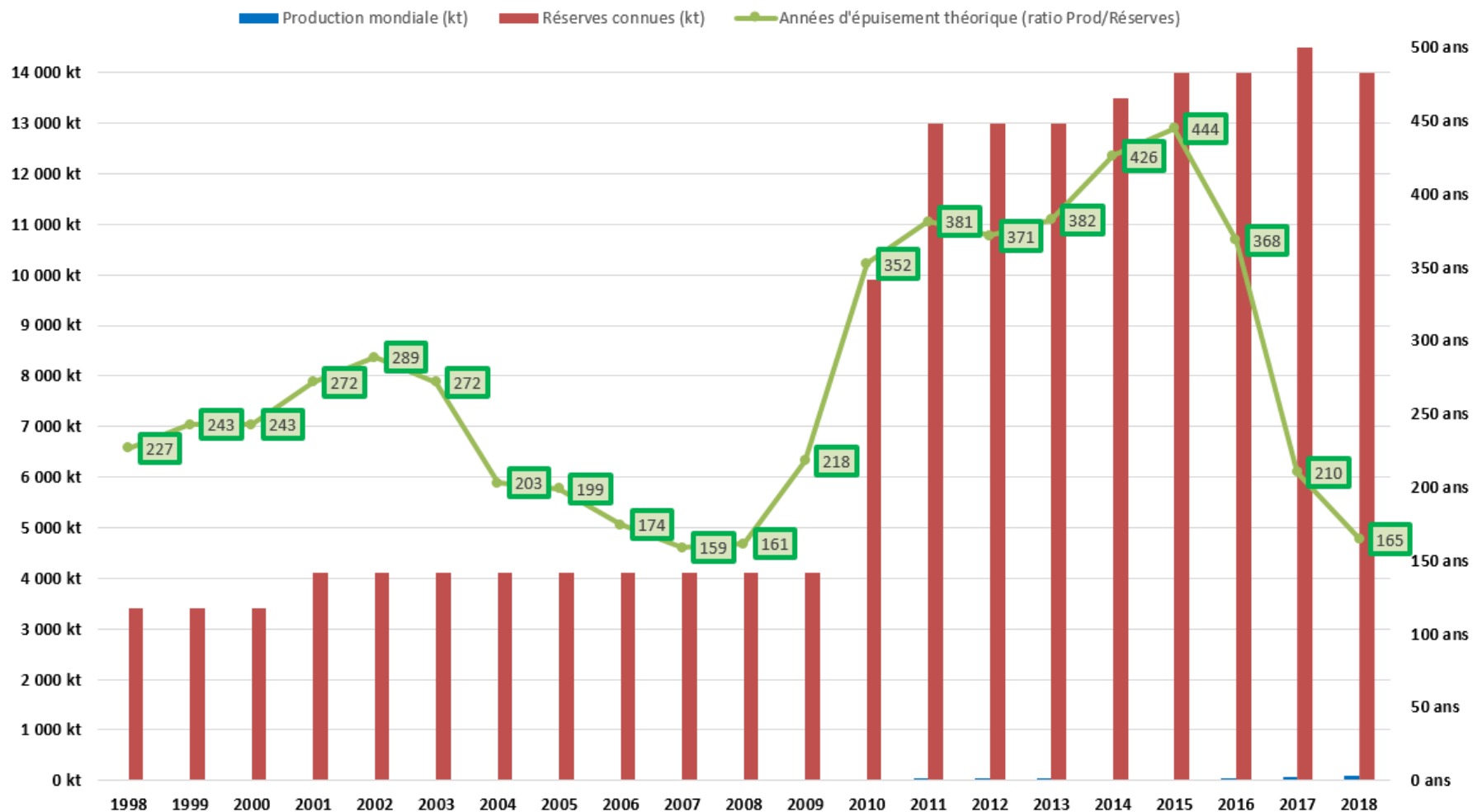


# Lithium : boom des dépenses d'exploration à partir de 2010



## Evolution des années d'épuisement théorique : Lithium

Source : USGS Commodity Summaries

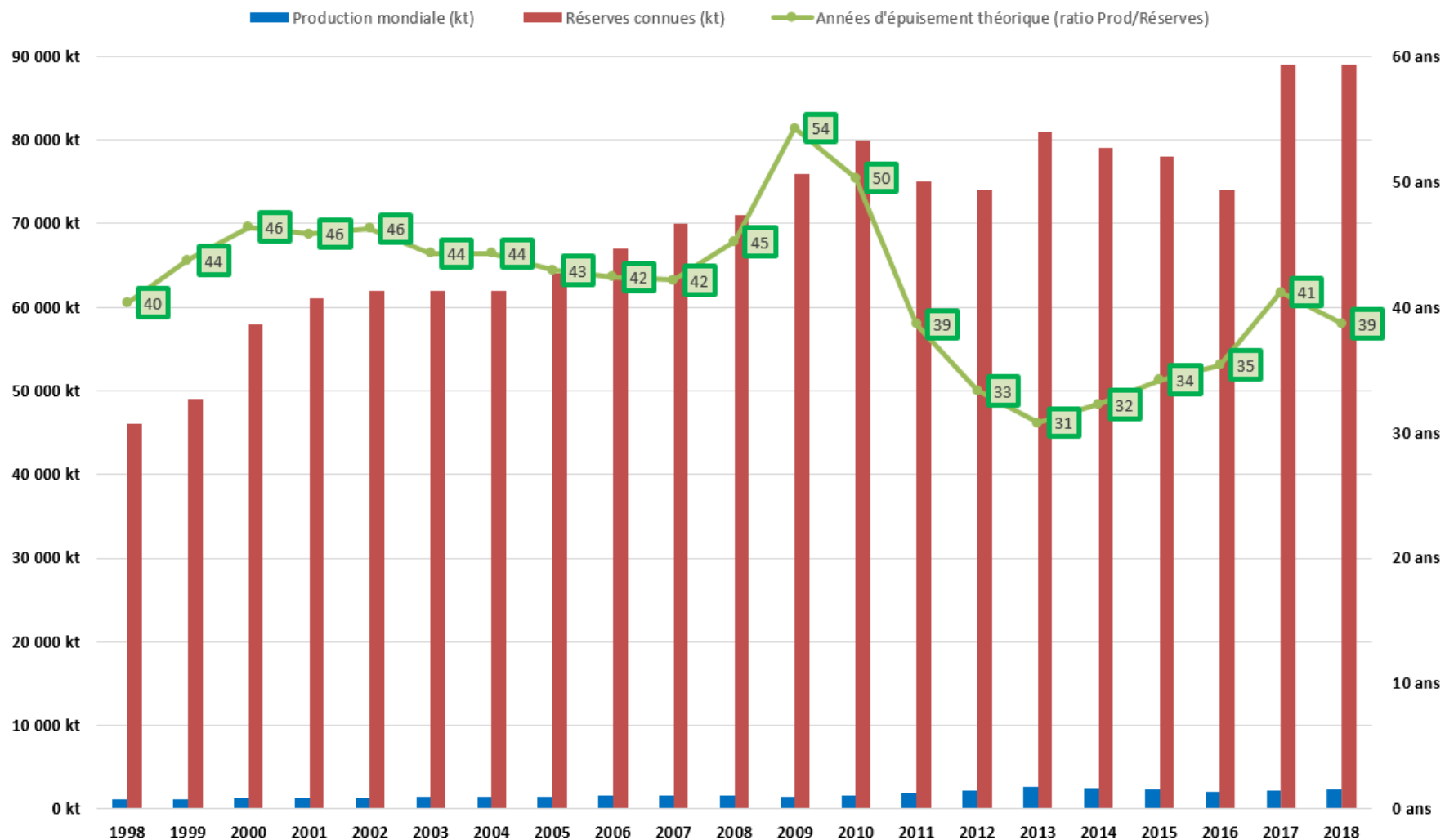


# Nickel : renouvellement « cyclique » des réserves mondiales



## Evolution des années d'épuisement théorique : Nickel

Source : USGS Commodity Summaries



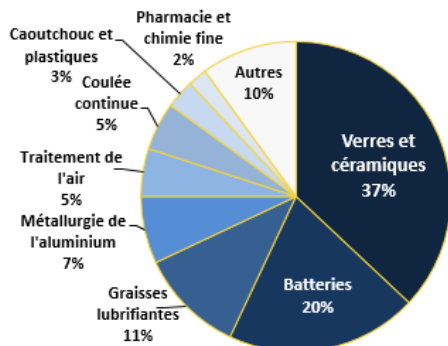


- **Limites de l'indicateur « temps d'épuisement théorique » :**
  - Envoie avant tout un message propre à un moment donné
  - Caractère très cyclique de nouvelles découvertes minières
  - Incitations économiques des différents acteurs jouent un rôle important
  
- **Deuxième approche :**
  - Les proportions de matériaux de « qualité batterie » importent plus que les quantités totales produites
  - Chaque métal porte des enjeux industriels spécifiques

# Proportions de matériaux de « qualité batterie » et coût relatif

Usages mondiaux du lithium en 2008

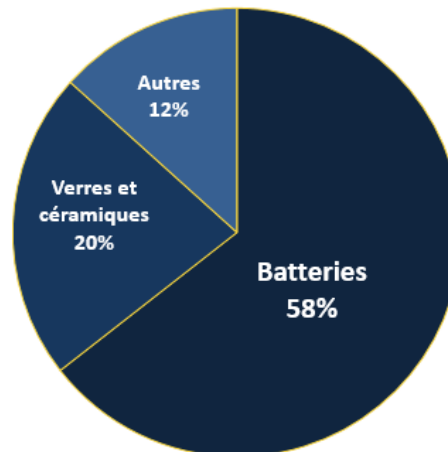
Source : Roskill, 2009



Consommation totale en 2008 : 21 300 t Li

Usages mondiaux du lithium en 2018

Source : Infinity Lithium, 2019



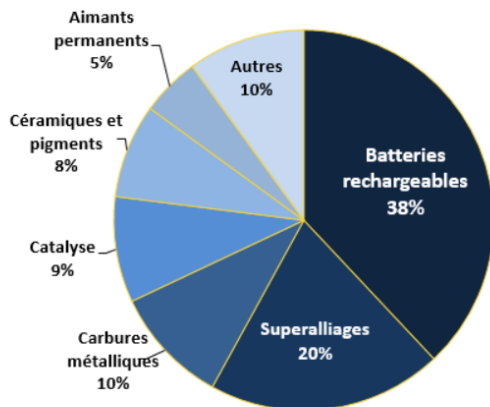
Consommation totale en 2018 : 50 750 t Li



+ 58 %

Usages mondiaux du cobalt en 2012

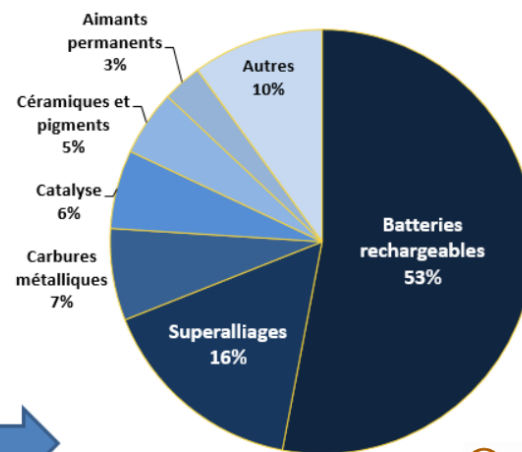
Source : Darton Commodities, 2013



Consommation totale en 2012 : 73,9 kt Co

Usages mondiaux du cobalt en 2017

Source : Darton Commodities, 2018



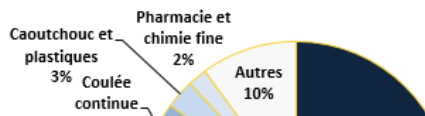
Consommation totale en 2017 : 103,9 kt Co



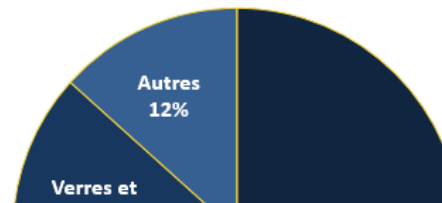
+ 30 %

# Proportions de matériaux de « qualité batterie » et coût relatif

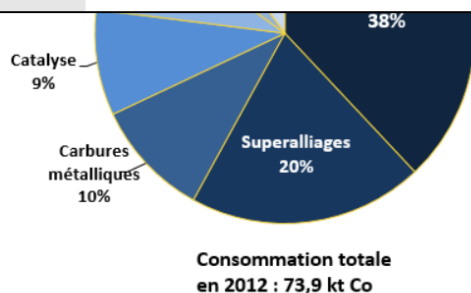
Usages mondiaux du lithium en 2008  
Source : Roskill, 2009



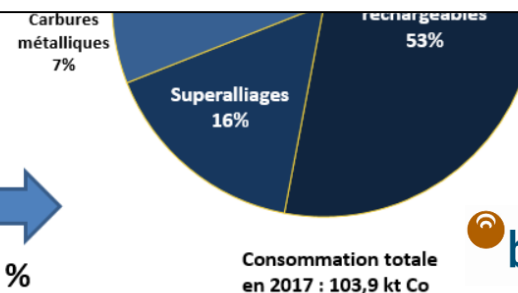
Usages mondiaux du lithium en 2018  
Source : Infinity Lithium, 2019



	NCM 111 Mid 2017		NCM 622 Today	
CoSO4	\$12.15/kg	39%	\$7.98/kg	21%
NiSO4	\$2.20/kg	8%	\$3.90/kg	37%
Li2CO3	\$17.00/kg	47%	\$8.50/kg	35%
Cell cost	\$117.30/kWh		\$102.03/kWh	



+ 30 %

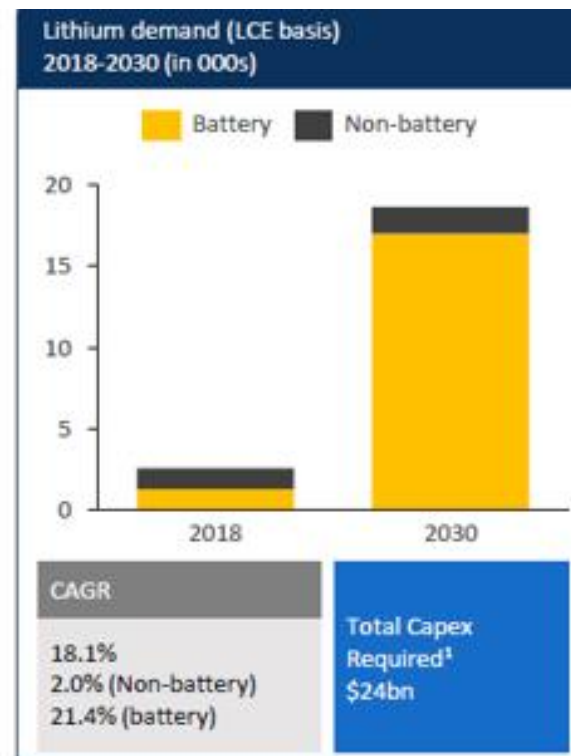


## ■ Forts excédents sur le marché en 2019 :

- Retard de modernisation des convertisseurs chinois
- Chute des prix et arrêts temporaires des producteurs australiens

## ■ Consolidation nécessaire tout au long de la chaîne de valeur :

- Stratégies de diversification au sein des majors (SQM, Albemarle, Tianqi, Ganfeng, Livent)
- Petits producteurs et nouveaux entrants très vulnérables
- Difficultés techniques du développement de nouveaux procédés



### Challenges



- Quality & consistency of product
- Lack of chemical experience
- Lack of a futures price
- Potential oversupply in medium-term

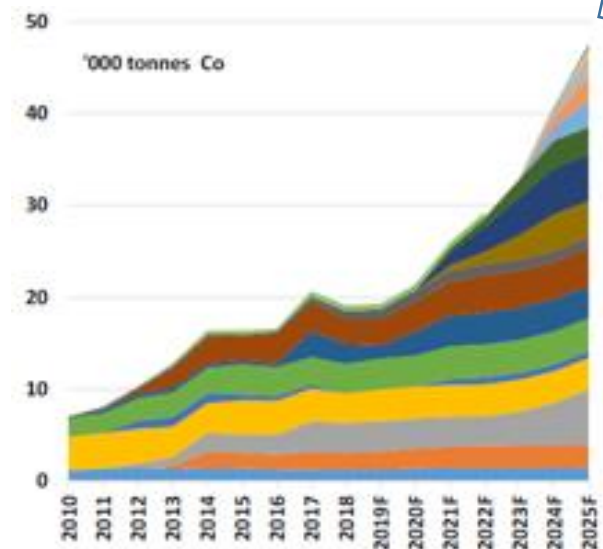
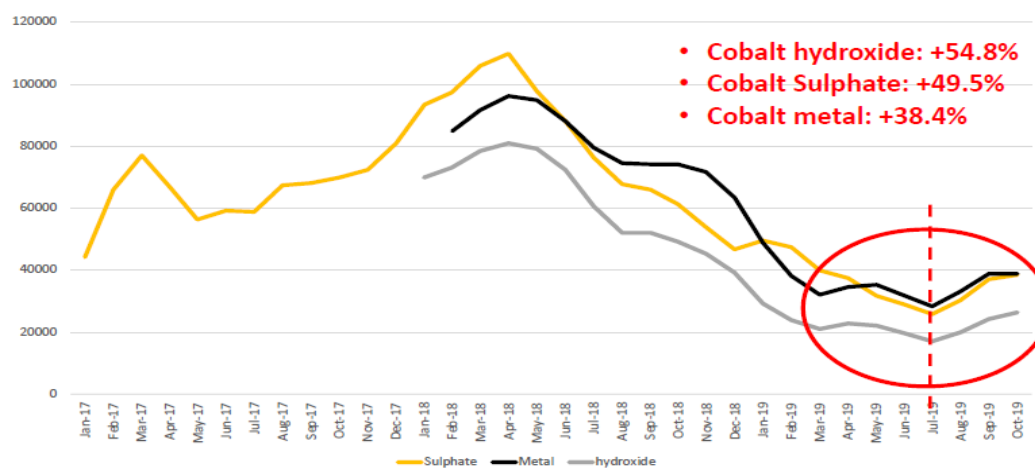
### Locations



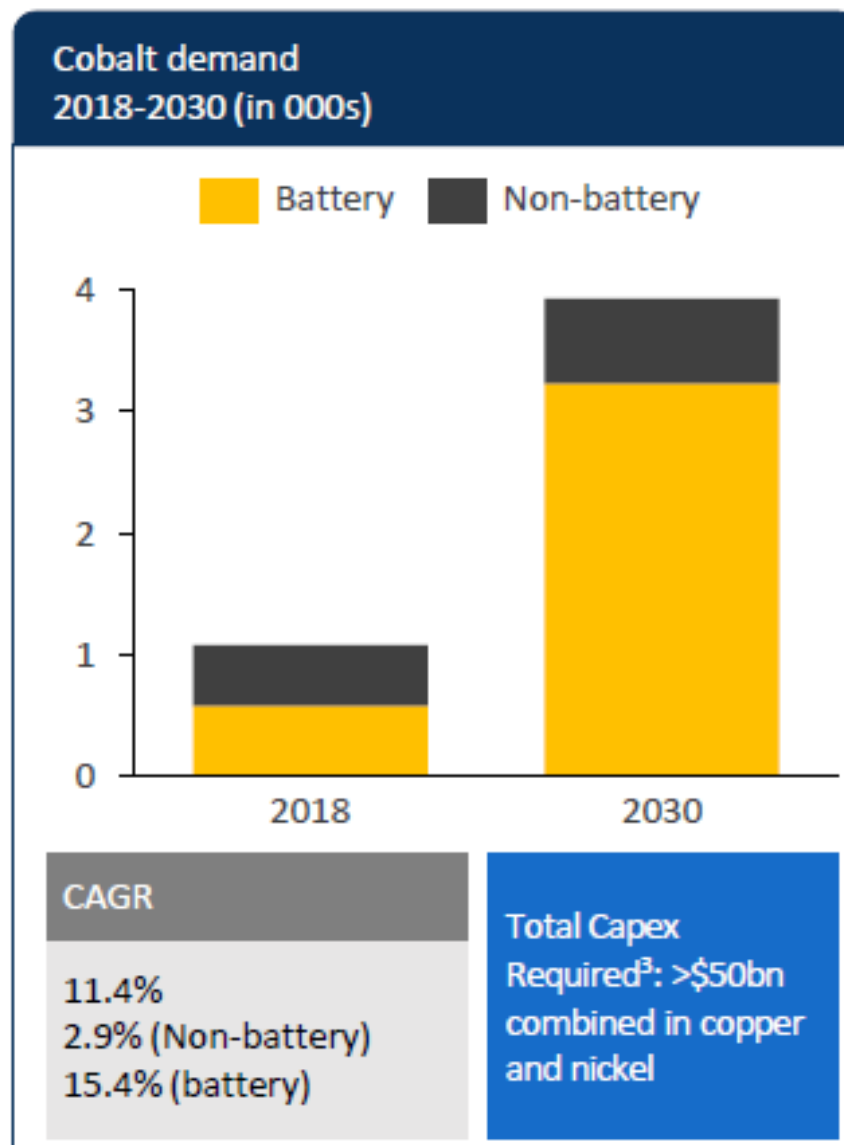
- Latin America
- Australia
- Europe
- North America
- Africa
- China

**Forte compétition pour la sécurisation de contrats de long terme sur des produits de haute pureté chimique**

- **Forte chute des prix en 2019 ... pour combien de temps ?**
  - fermeture de la mine Mutanda pour 18 mois (15% de la production mondiale)
  - déficit annoncé pour fin 2020-2021 malgré d'importantes capacités de production chinoise
- **Parallèlement, nouveau cycle d'investissements déjà enclenché :**
  - augmentation probable des réserves, en particulier dans la CopperBelt (RD Congo et Zambie demeurent incontournables)
  - Sous-produits de la production de nickel pour batteries (50 kt prob. d'ici 2025)
  - Chaîne de valeur européenne (Umicore – rachat raffinerie de Kokkola, Finlande)

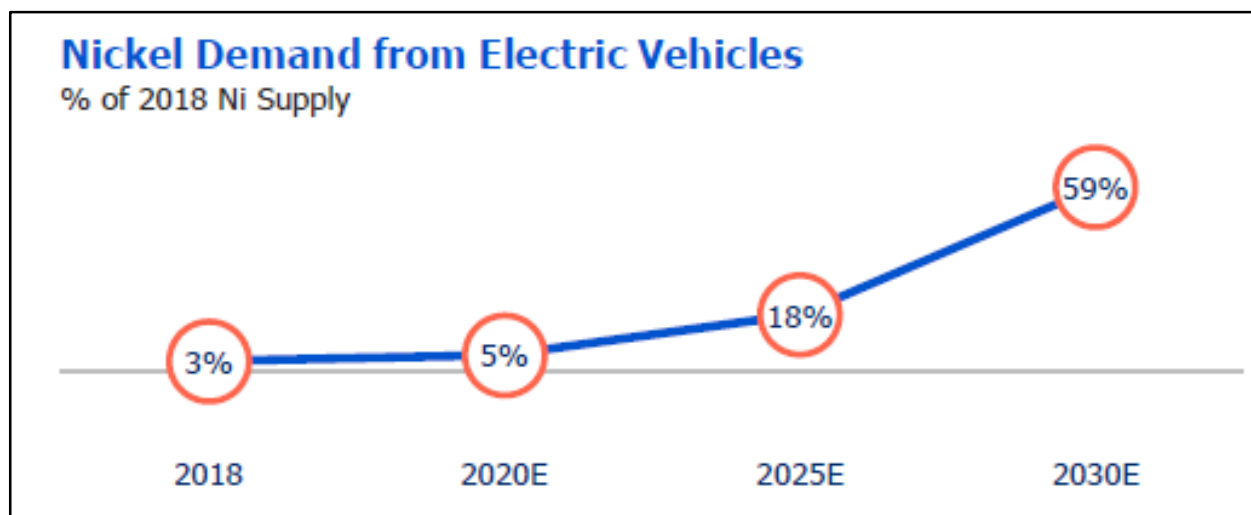


Sources : Benchmark Mineral Intelligence & Macquarie Commodities Strategies



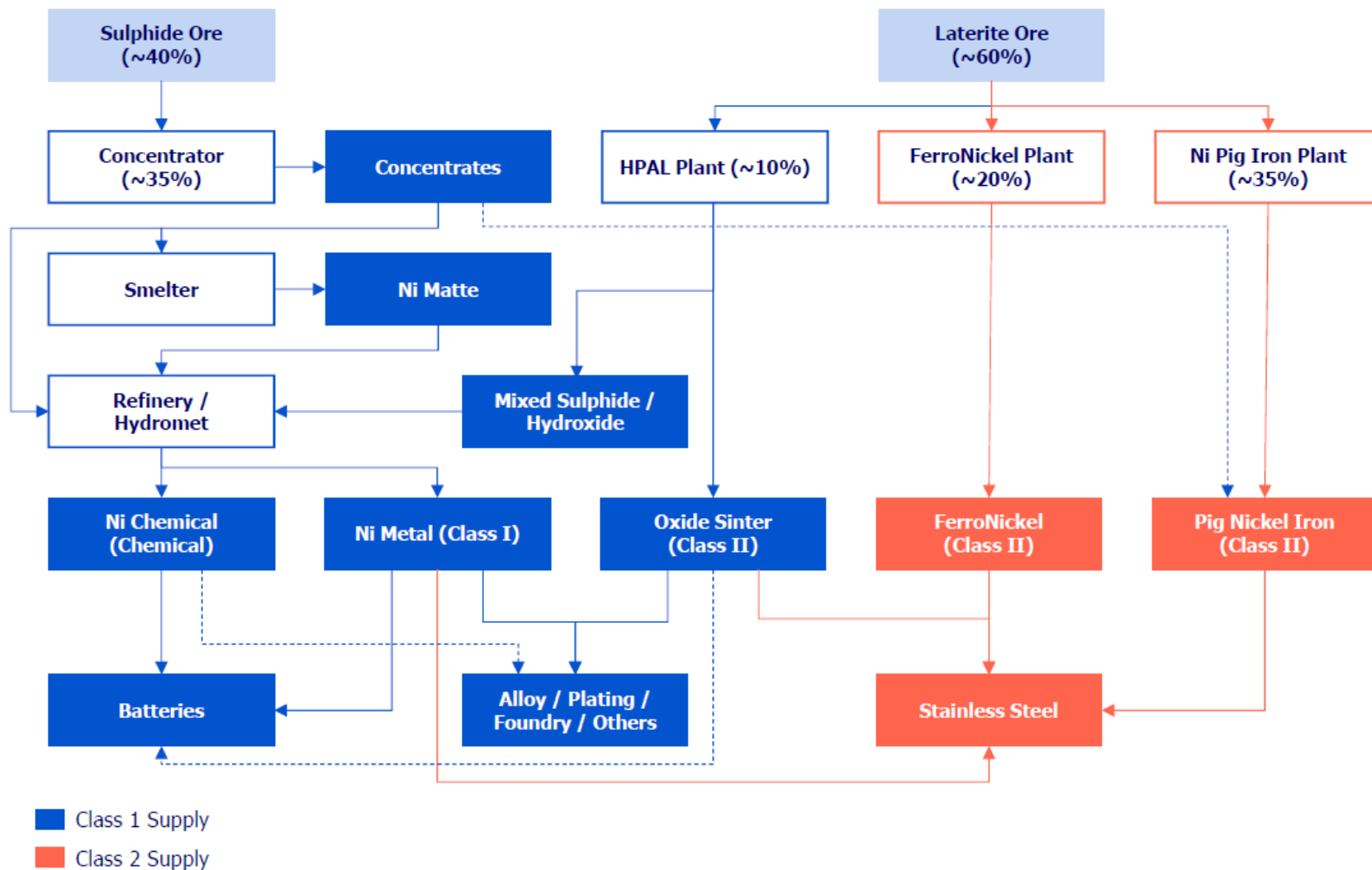


- **Marché cyclique et complexe, en pleine re-structuration :**
  - 1 750 kt aujourd' hui destinées aux aciers inoxydables/alliages/ revêtements devront être ré-orientées pour les applications batteries d'ici 2030

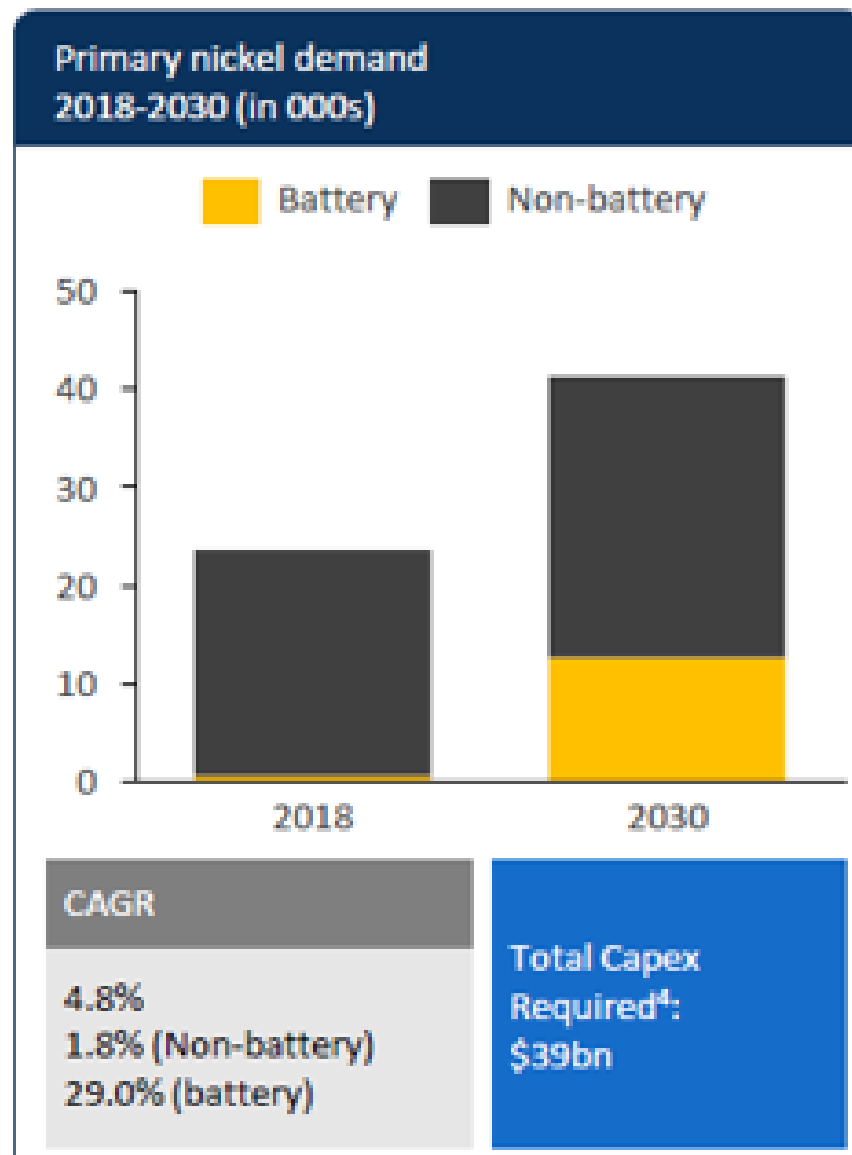


- **Or, toutes les sources de Ni ne sont pas adaptées pour ces transformations de façon économique aujourd'hui**
  - De nombreux investissements (risqués) sont nécessaires !

## Nickel Supply Chain



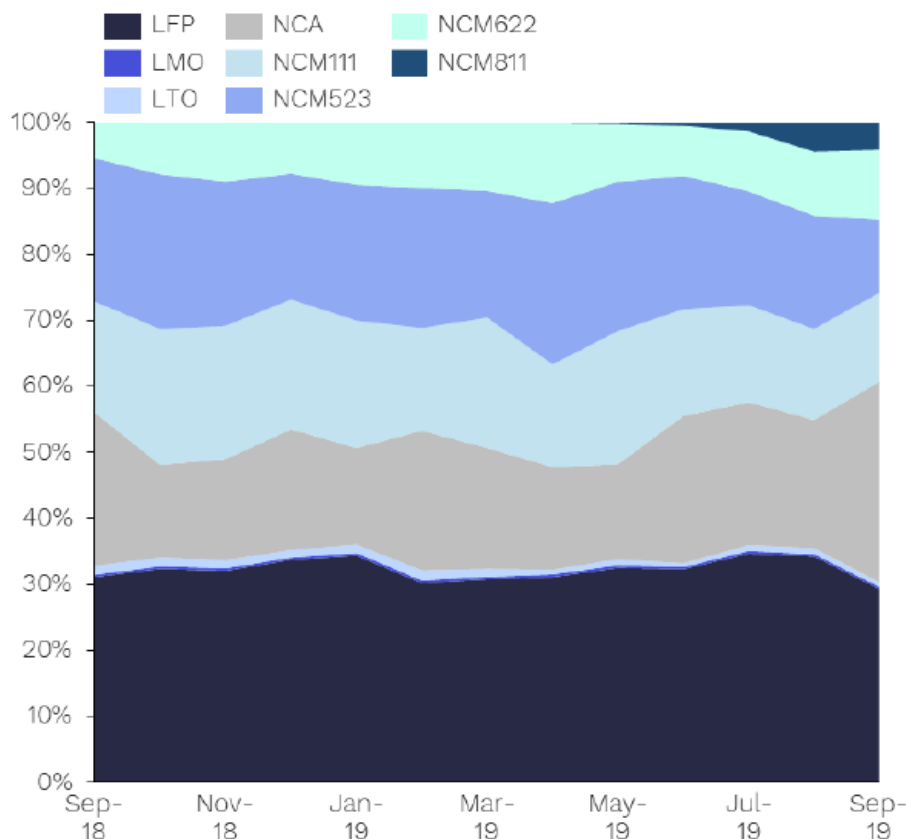
Source: Company reports, Canaccord Genuity estimates



## ■ Evolutions des variantes de chimies de batteries Li-ion

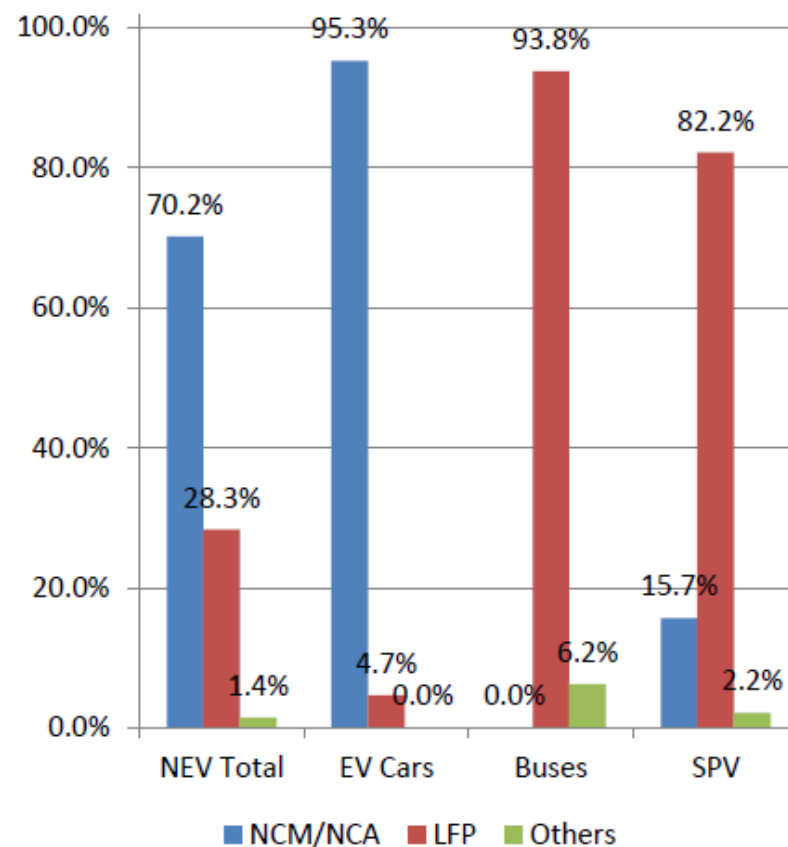
Répartition des chimies utilisées en 2018 et 2019 tous xEvs en circulation

Source : Rho Motion, 2019

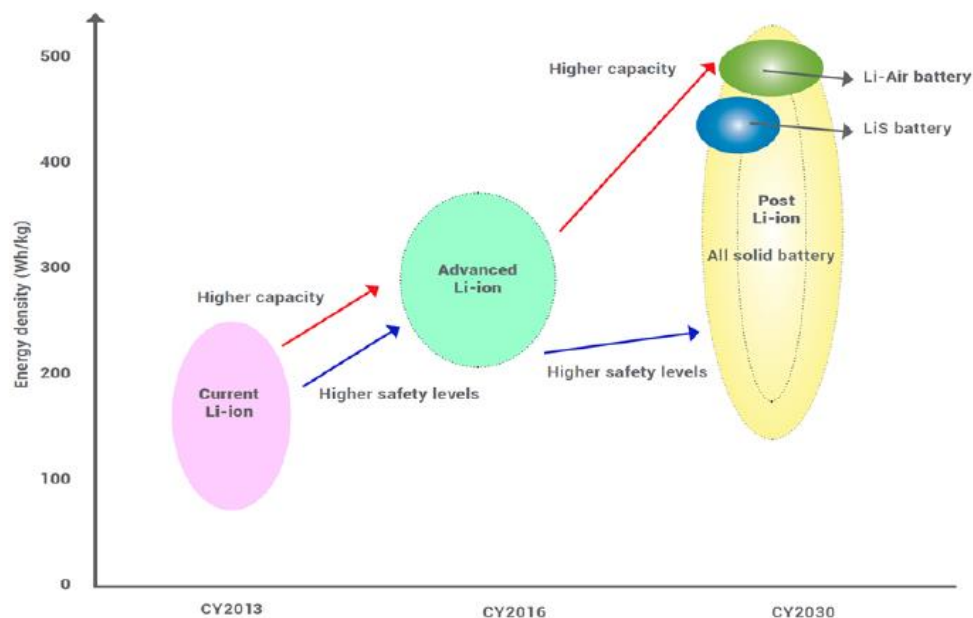


Répartition des chimies utilisées en 2019 en Chine par type de véhicules

Source : General Lithium, 2019



- Quelle évolution des technologies de stockage de l'énergie ?



Source: Panasonic

+ Red-ox Flow ?  
+ Hydrogène ?  
Etc. Etc.

## Conclusions

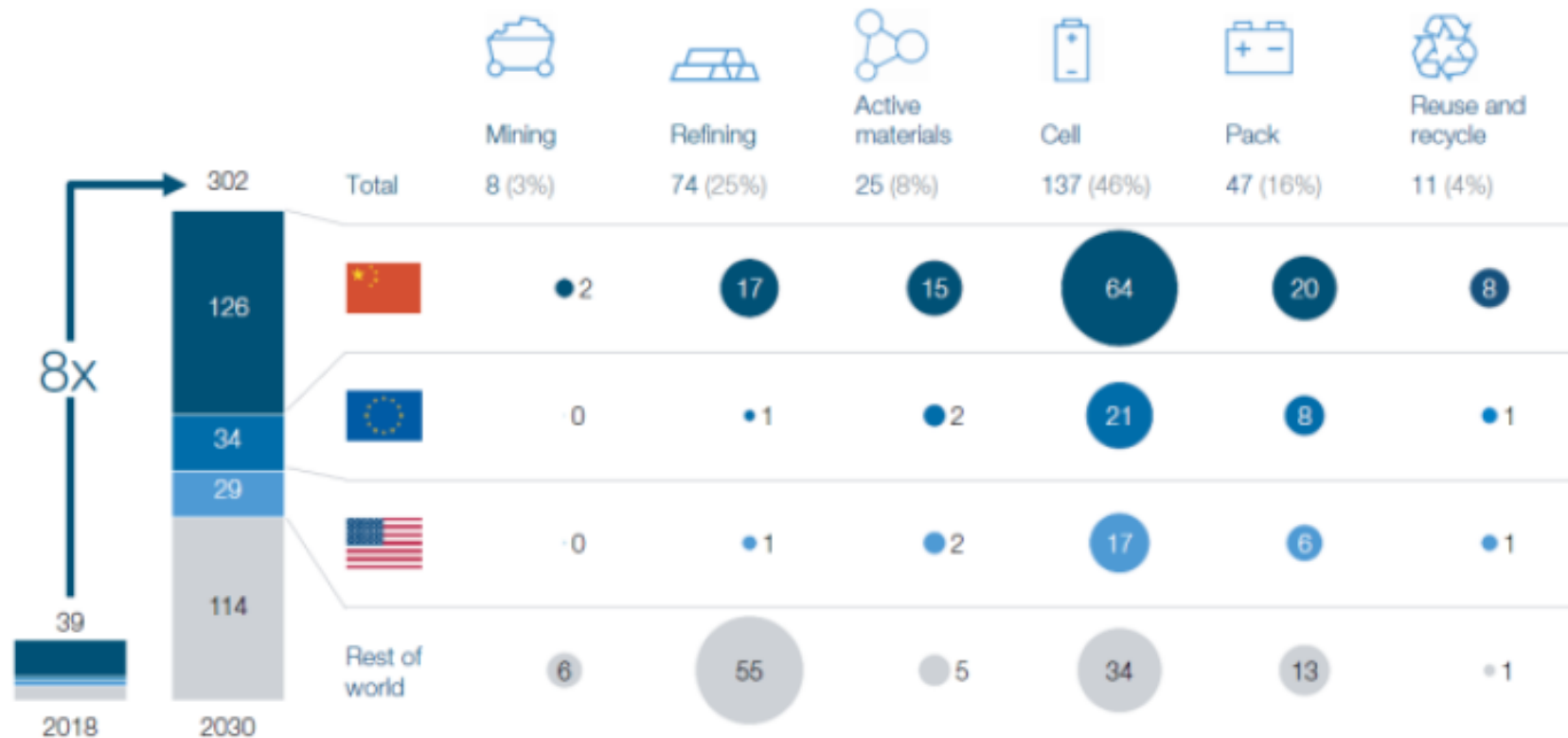
rho  
motion

- **Short term:** Reliability and availability are key
- **Medium term:** Energy density increase supported by battery chemistry development
- **Long term:** Many applications, many solutions

- Marché des véhicules électriques et opportunités économiques ?

## Lithium-ion battery value chain provides revenue opportunities of \$300 billion by 2030

Revenues, base case 2030, \$ billion



NOTE: Calculated based on demand from mobility, energy storage and consumer electronics applications as well as battery pack prices for 2030 (not including lead-acid batteries)

Source: World Economic Forum, Global Battery Alliance; McKinsey analysis



**Merci de votre attention**

