

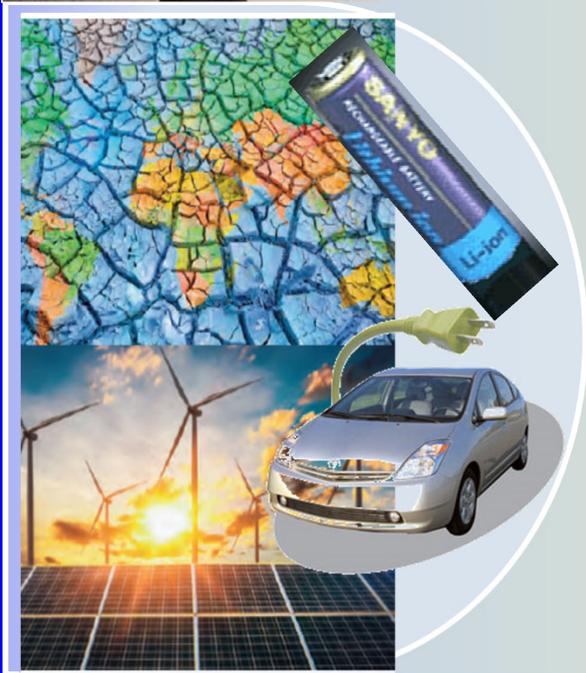


Face au changement climatique, le champ des possibles



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

28-29 Janvier, 2020



*Les batteries sont-elles la
bonne option pour un
développement durable ?*

Prof. Jean-Marie Tarascon

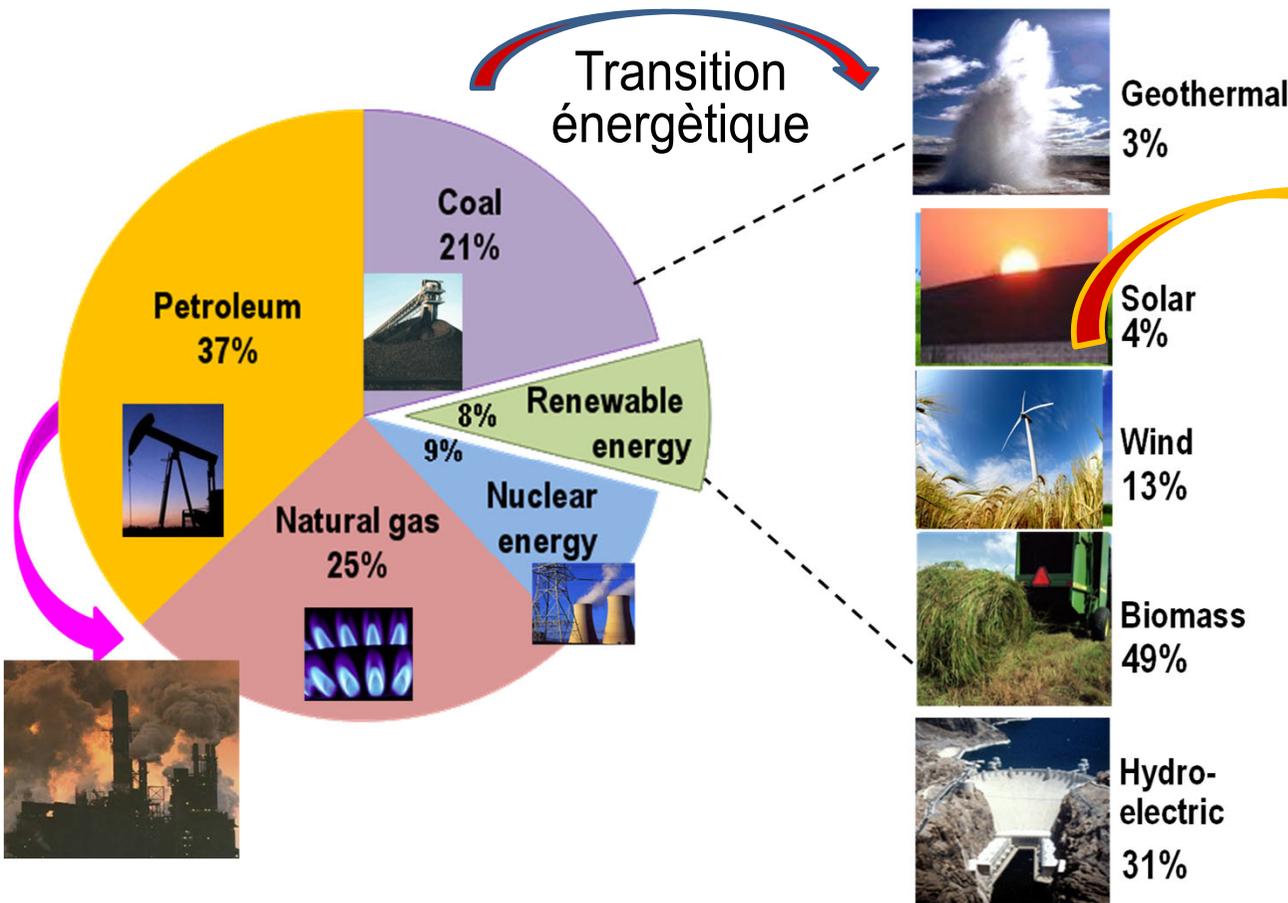


COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —



ENERGIE
RS2E

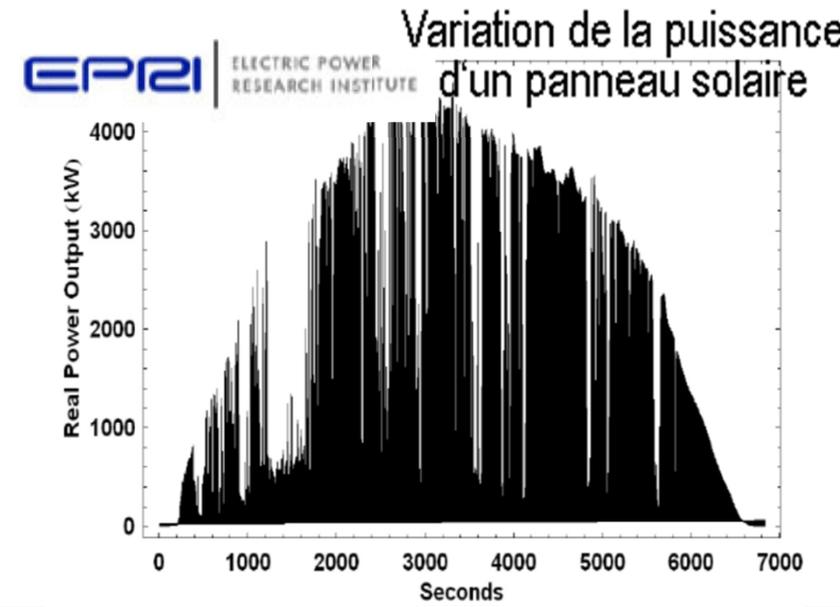
Rôle de la batterie dans la transition énergétique



Le soleil envoie sur notre planète 10 000 fois l'énergie dont nous avons besoin



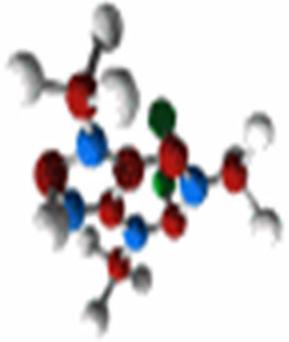
Efficacité de (~20%) à un coût de 3 US cents par kWh



Stockage ← Comment lisser ces fluctuations ? ← Large variations

Une option pour stocker l'énergie : Le stockage électrochimique

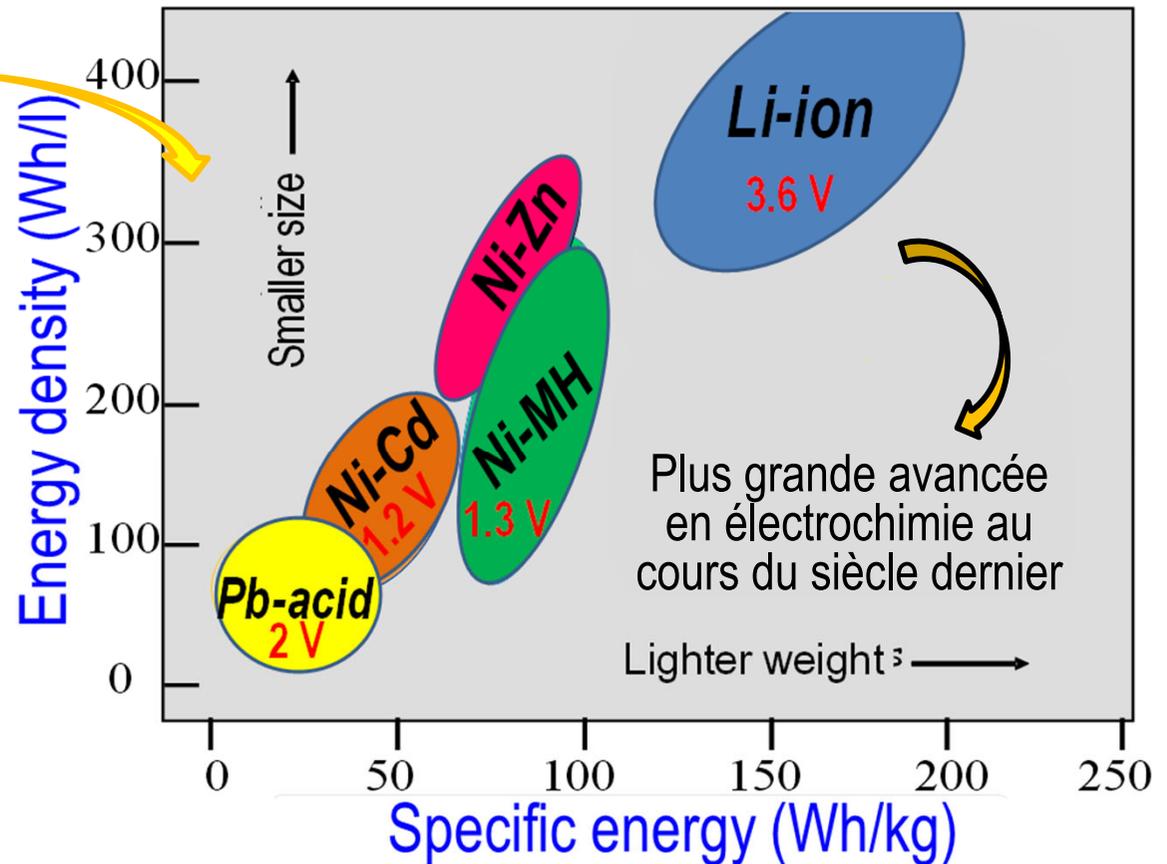
Chimique



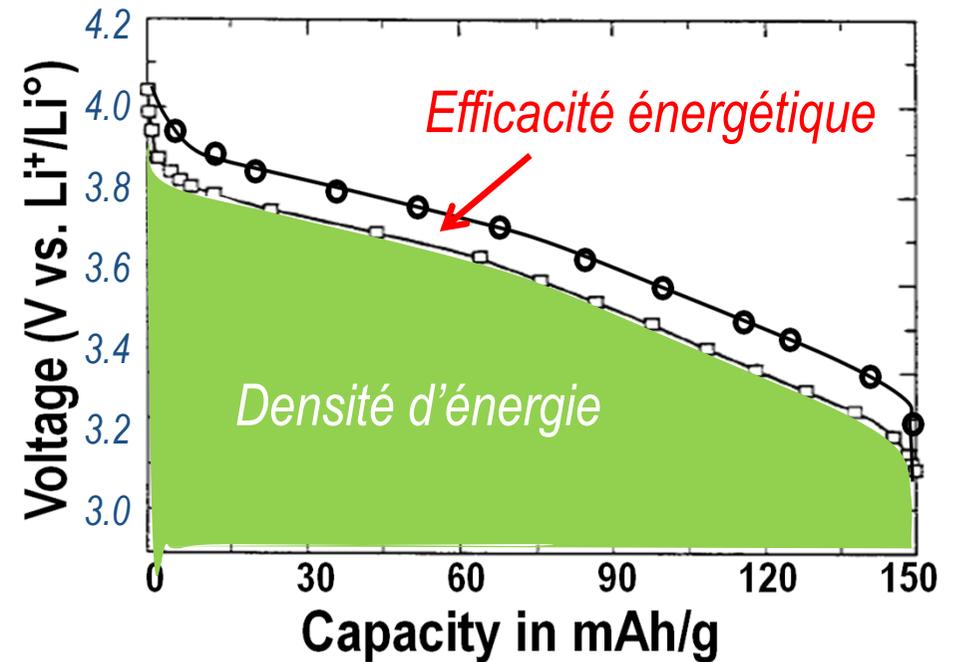
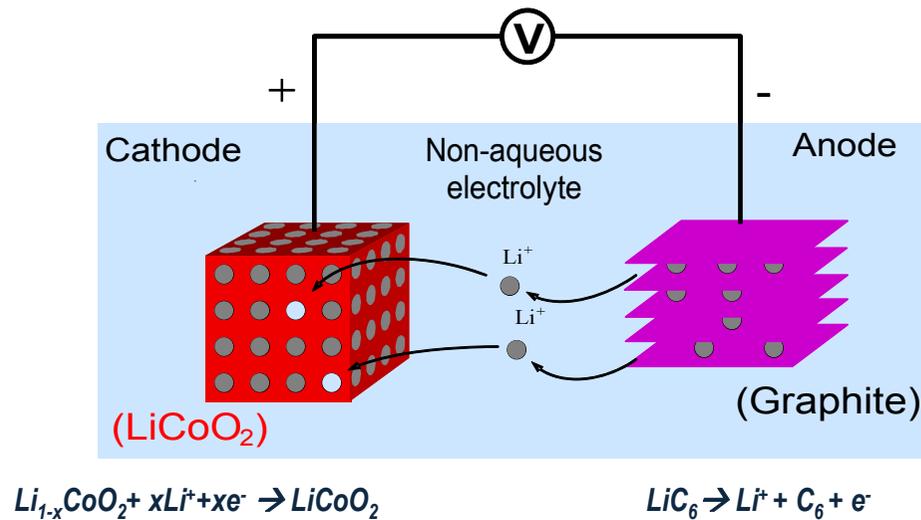
Électrique



Batteries



Batteries à ions lithium: principes de fonctionnement

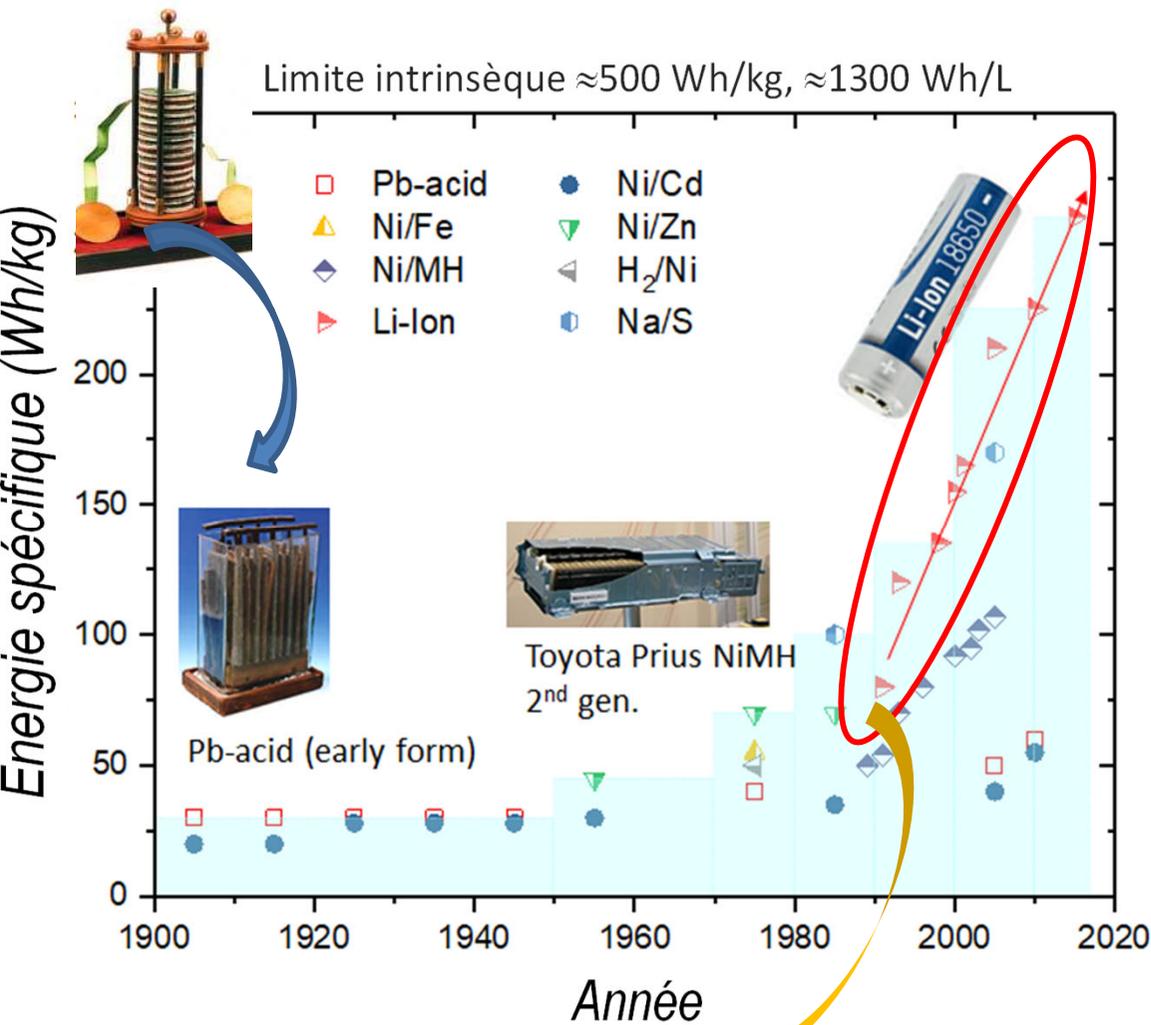


$$\text{Densité d'énergie (Wh/kg)} = \text{Potentiel V (volts)} \times \text{Capacité (Ah/kg)}$$

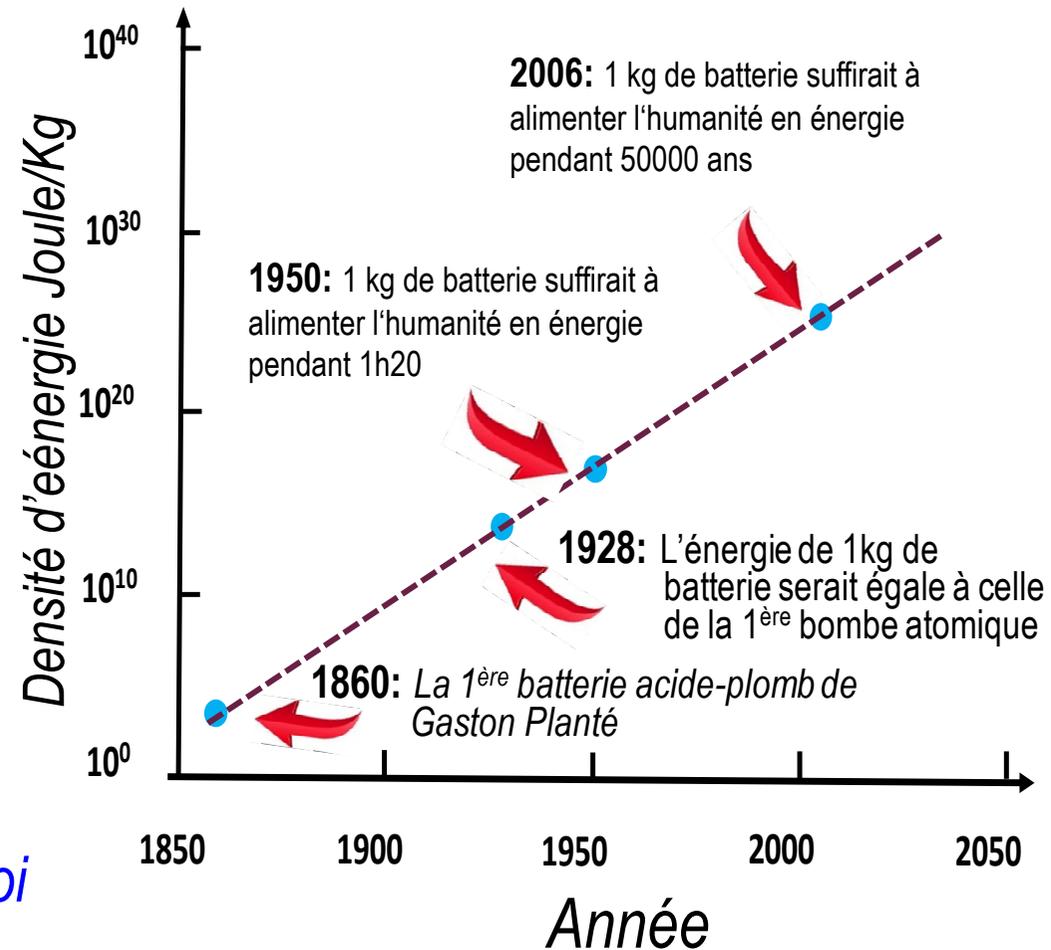
Tension de sortie d'une batterie qui dépend de la structure électronique du matériau

Quantité d'énergie électrique délivrée par une batterie d'1 kg en une heure

Evolution de la densité énergétique des piles rechargeables



➤ Où en serions-nous si les batteries avaient suivi la loi de Moore ???



La batterie Li-ion a doublé sa densité d'énergie en 30 ans ➔ Très loin de la loi de Moore ?

Les progrès ont été limités par la chimie...

Batterie Li-ion: un travail de longue haleine - Nobel 2019



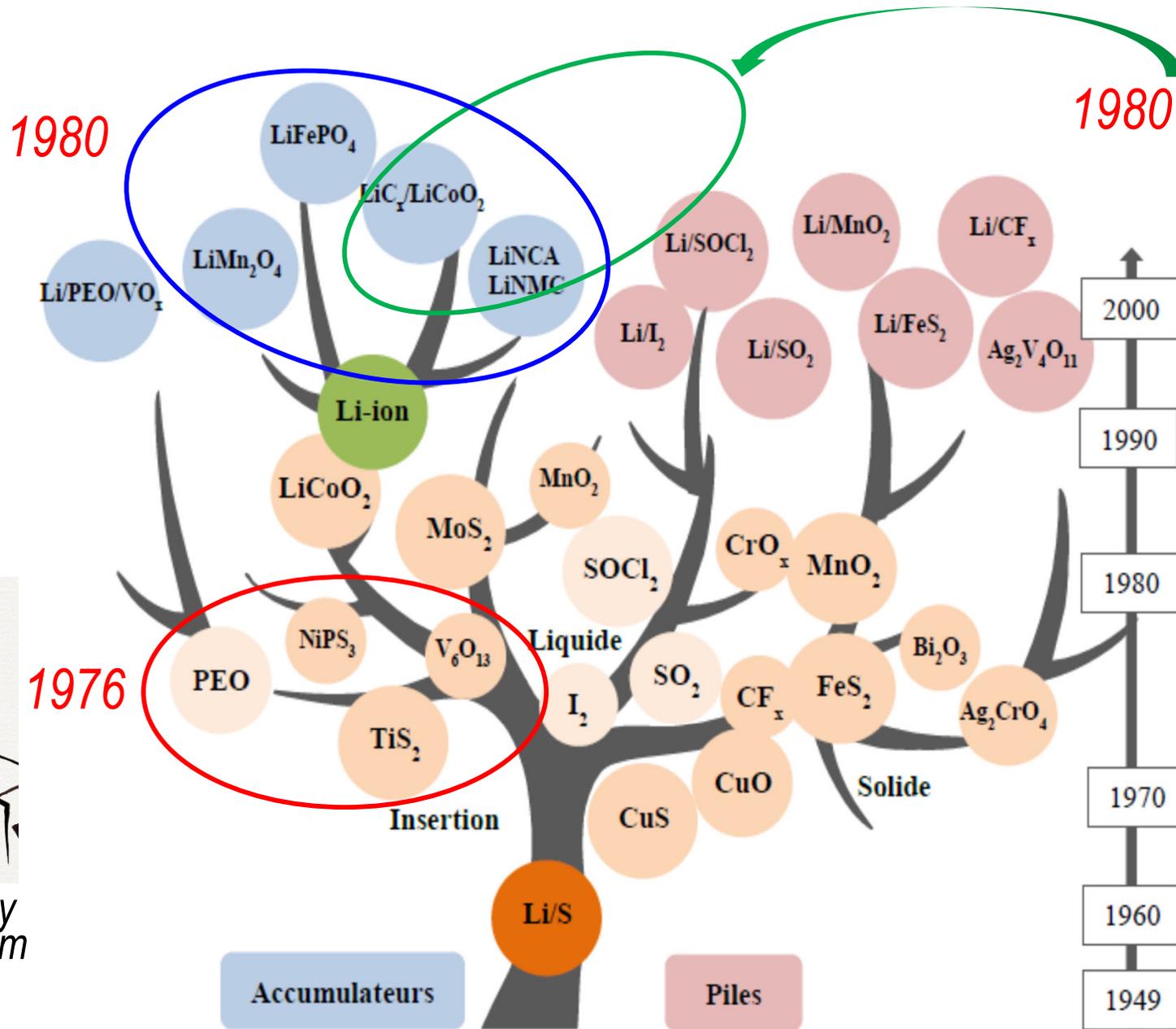
John B. Goodenough



M. Stanley Whittingham

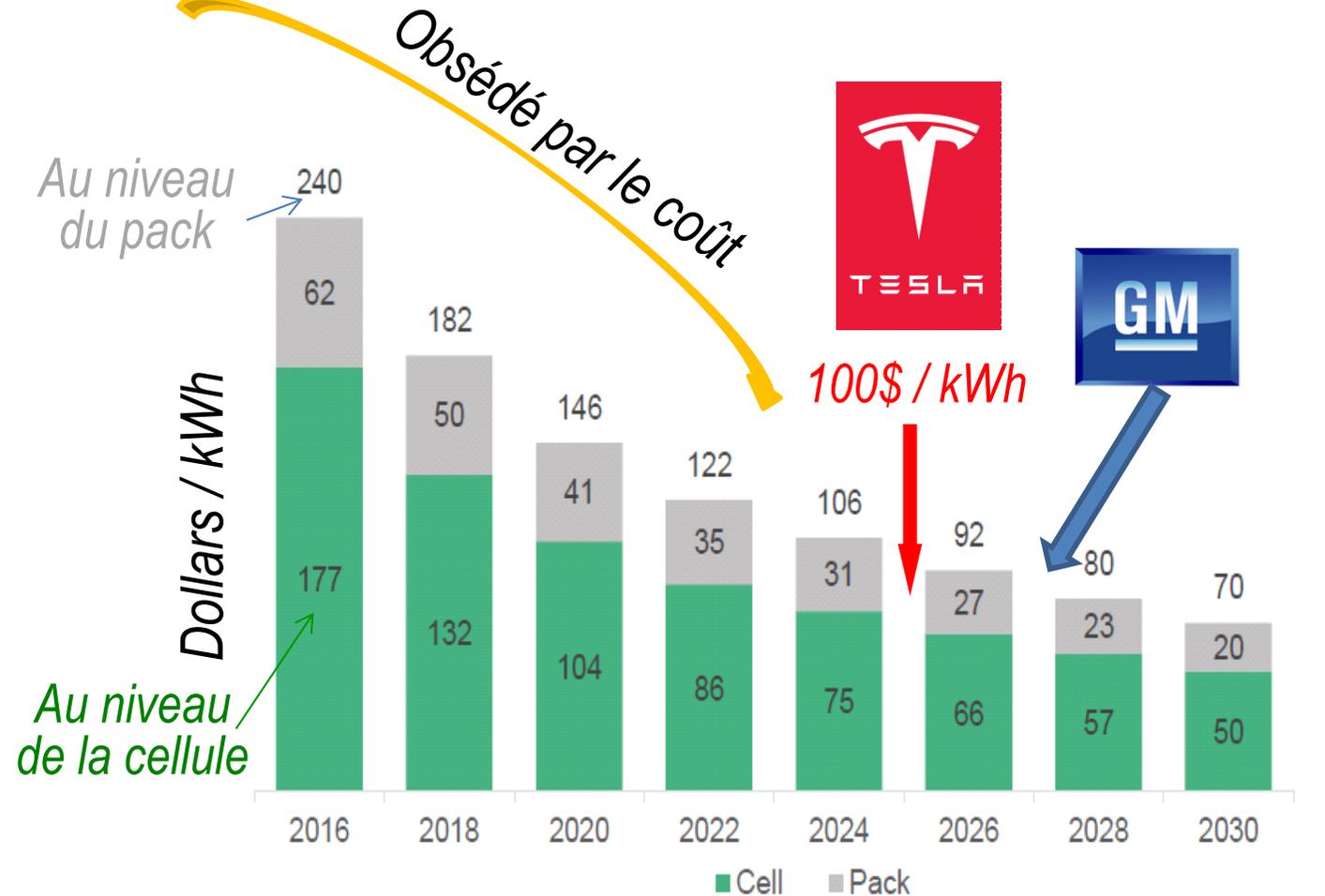
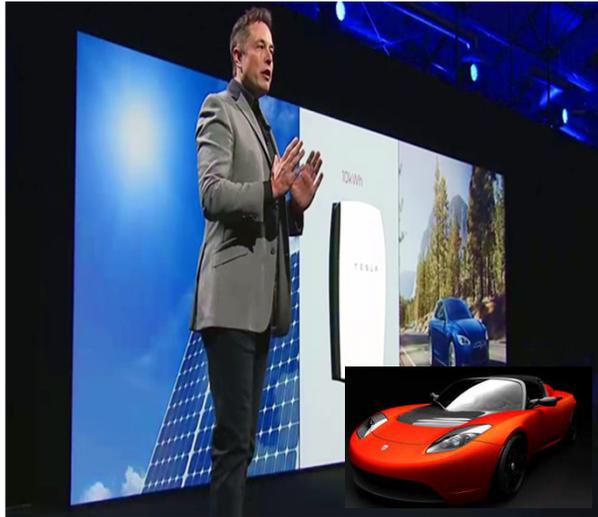


Akira Yoshino



Dernière révolution en matière de coût

☐ Annonce d'E. Musk en avril 2015



Source: Bloomberg New Energy Finance Scenario 5: Tesla Gigafactory NCA/graphite-Si
(Prix divisé par 10 sur les 10 dernières années)

Révolution dans le monde des fabricants et utilisateurs de batteries

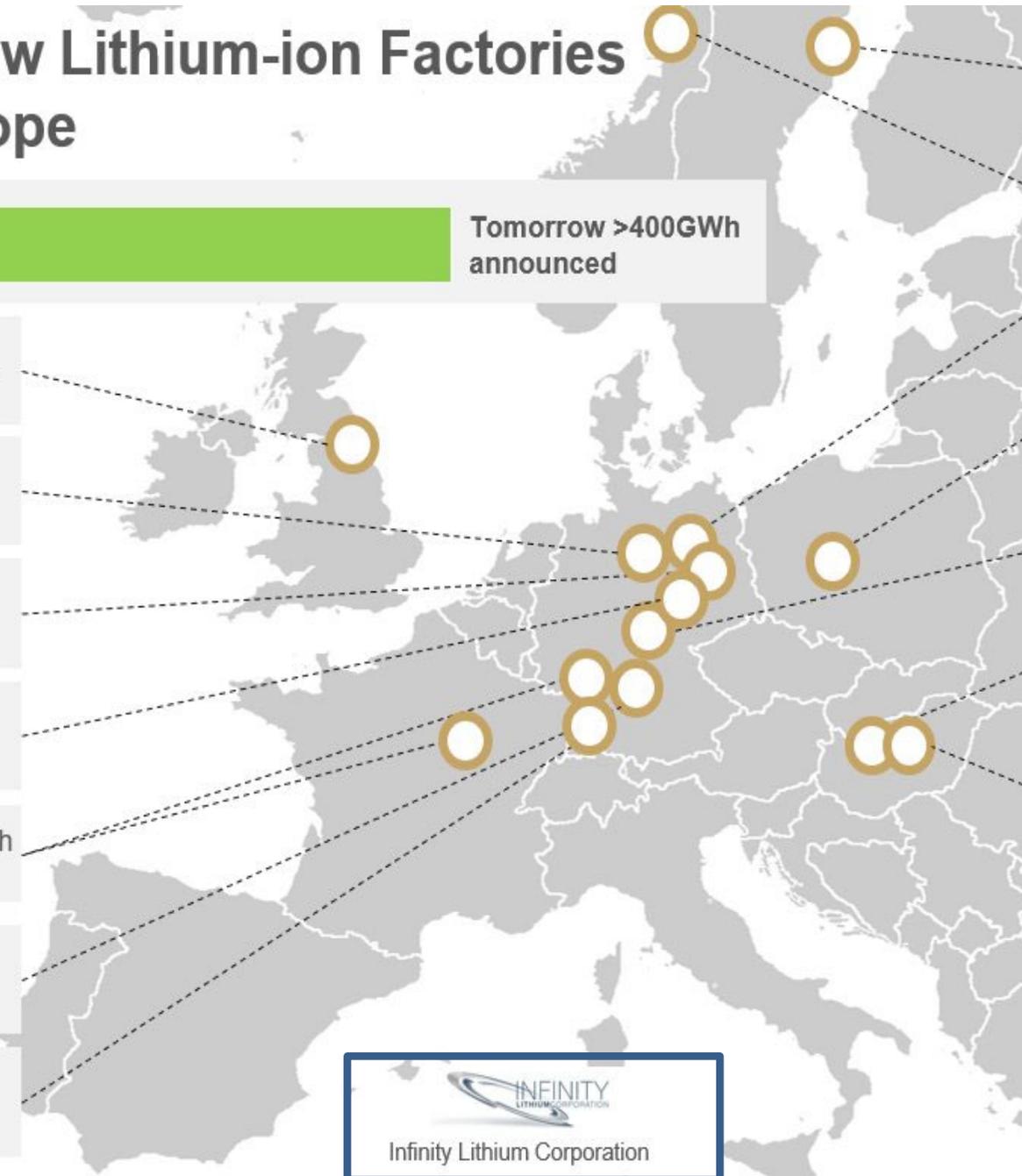
Répercussions en cours au niveau de l'Europe

Multitude Of New Lithium-ion Factories Planned In Europe

Today <10GWh Capacity

Tomorrow >400GWh announced

-  Started 2010, 2.5GWh
-  16GWh to start and ramp up to 30GWh
-  To build Gigafactory starting in 2021
-  Start 2022, up to 10GWh
-  Start 2022, 16GWh then 64GWh
-  Start 2023, up to 24GWh
-  Start 2020, up to 1GWh



Infinity Lithium Corporation

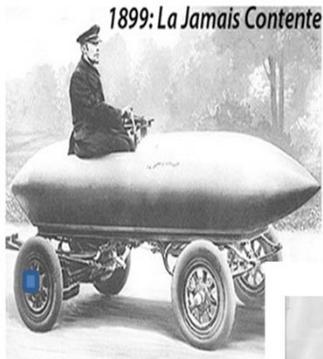
-  Start 2021, up to 40GWh
-  Start 2023, up to 32GWh
-  Start 2021, up to 12GWh
-  Started 2018 6GWh later up to 70GWh
-  Start 2022, up to 100GWh
-  Start 2020, up to 24GWh
-  Started 2018 3GWh, later 15GWh
-  Potential plant in Hungary
-  Potential plant in Europe
-  Potential plant in Germany

Le BOOM du véhicule électrique (VE)



1884: Thomas Parker

1884



1899: La Jamais Contente

1899



1942: L'oeuf électrique

1942



1960: Ford Comuta

1960



1997: Toyota "Prius"

1997



2013: Tesla

2013

2020



(GM "Volt")

(Peugeot "iON")

(Bolloré "Bluecar")

Renault "Fluence"

(Nissan "Leaf")

Vente des VE devraient dépasser la limite des

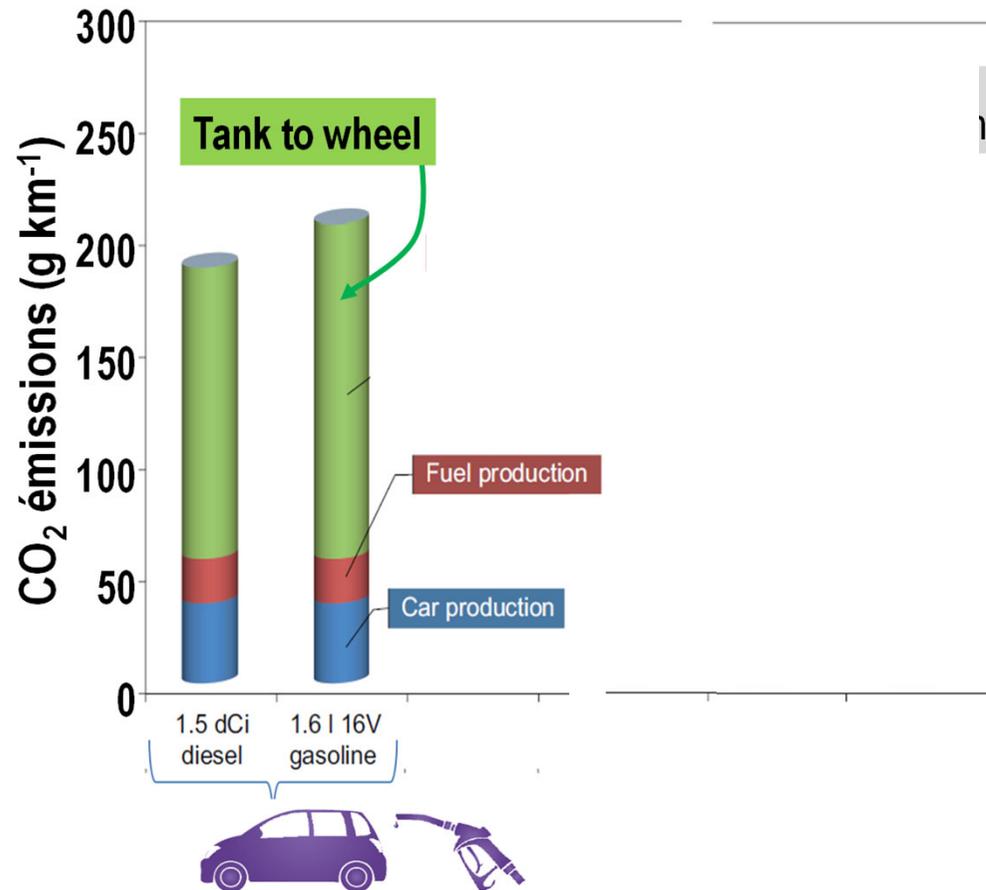
25 millions en 2025

Plus de 400 modèles annoncés

Le véhicule électrique est-il la solution pour un monde durable ?

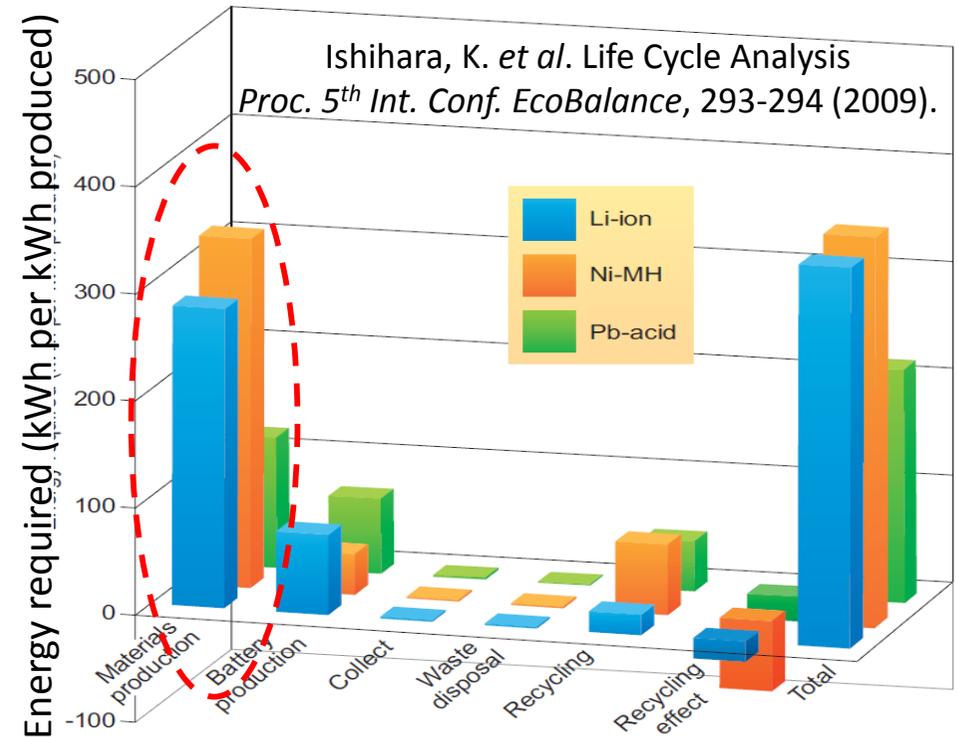
La meilleure solution pour une faible empreinte CO₂ ?

Importance de la source d'énergie primaire



Energie provenant de centrales thermiques : Non

Analyse du cycle de vie



➤ Assemblage d'une batterie de 1kWh

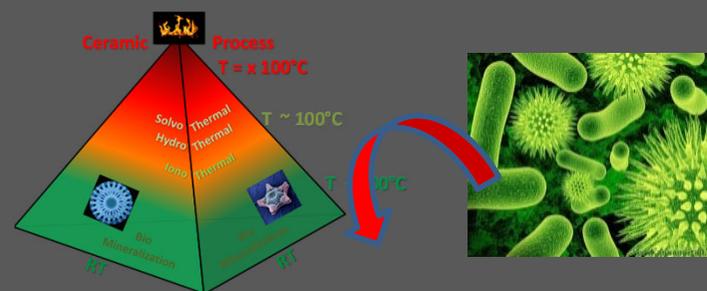
- ✓ Energie nécessaire ≈ 327 kWh
- ✓ CO₂ rejeté ≈ 90 kg

Science et innovation pour le développement de batteries plus vertes : Quelles tendances ?

Elaboration de matériaux performants à partir d'éléments abondants

A periodic table with specific elements highlighted. A red box labeled 'intercalant' covers elements Li, Na, K, Rb, Cs, and Fr. An orange box labeled 'redox center' covers elements V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, and Kr. A green box labeled 'anion' covers elements B, C, N, O, F, Al, Si, P, S, Cl, and Ar.

Développement de synthèses moins énergivores



Utilisation d'électrodes organiques renouvelables provenant de la biomasse

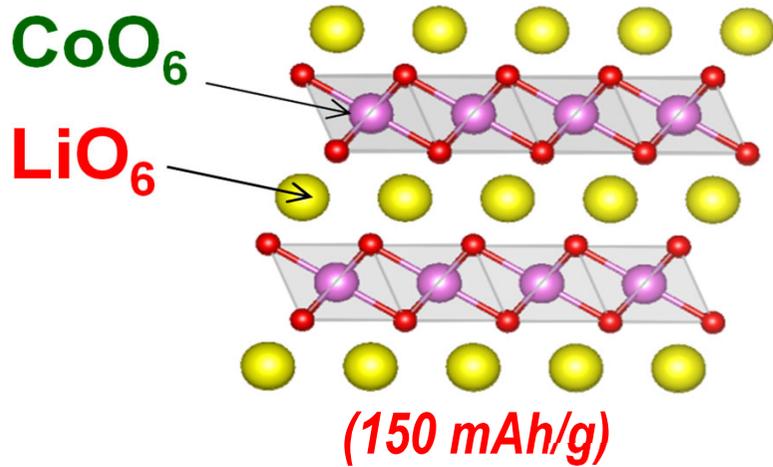


Exploration de nouvelles chimies au-delà du Li, plus éco-compatibles

Développer des batteries intelligentes à longue durée de vie

Les oxydes lamellaires : Evolution de leur capacité au fil des années via la chimie

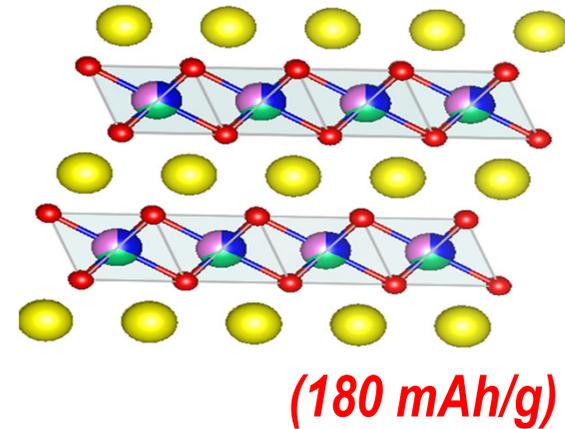
□ LiCoO₂ (1991)



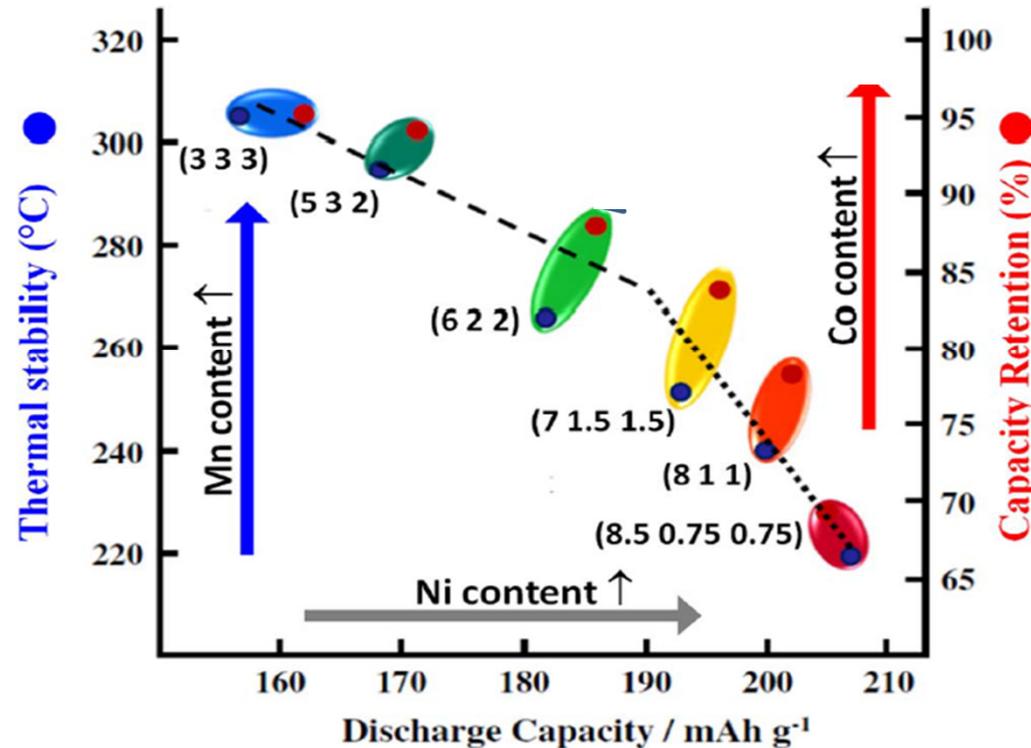
Remplacement du Co par le Ni et Mn



□ Oxydes lamellaires (2008)



Extraction du Co:
une question d'éthique



Durabilité
de la
technologie
Li-ion actuelle
?

La batterie Li-ion : Maitrise de sa chimie pour une grande durabilité



J. Dahn



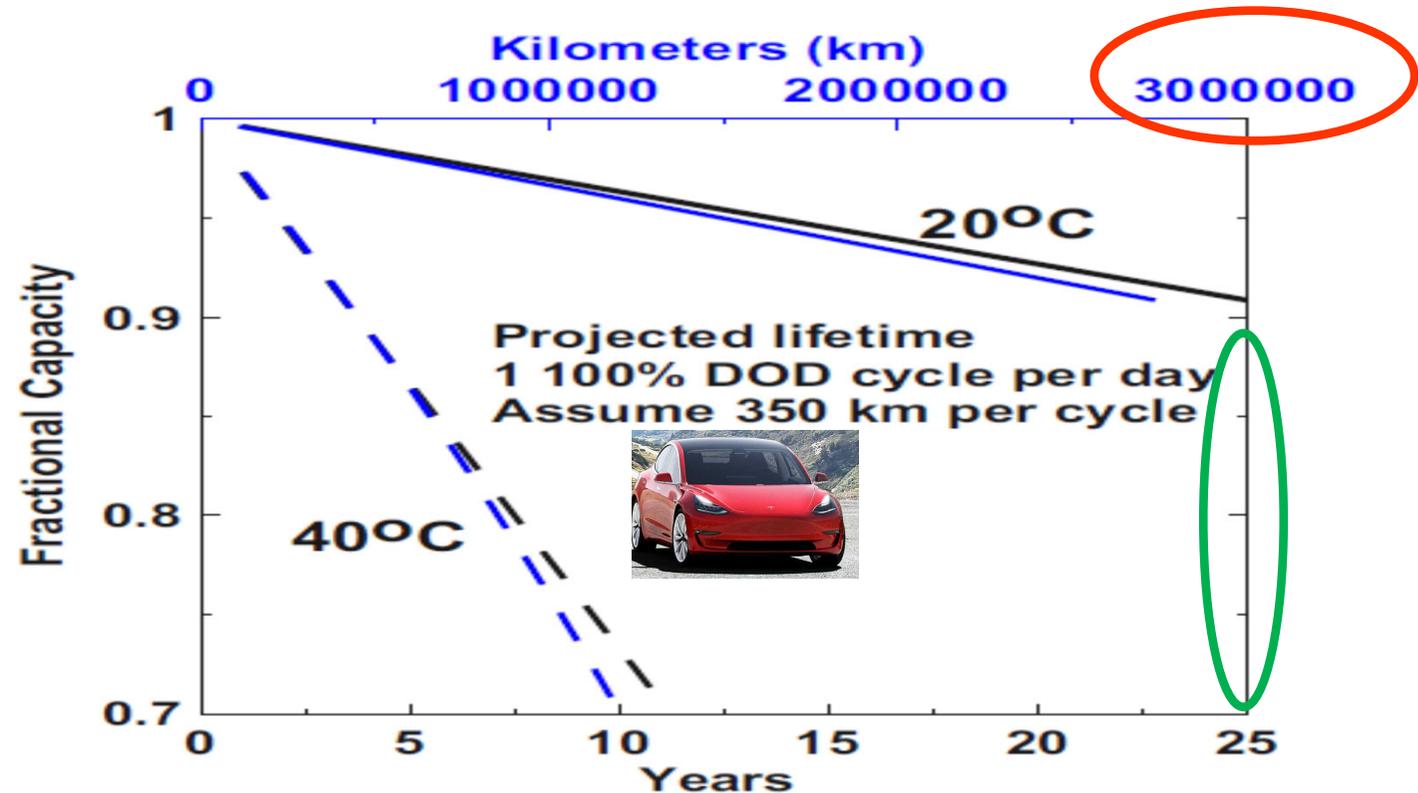
A Wide Range of Testing Results on an Excellent Lithium-Ion Cell Chemistry to be used as Benchmarks for New Battery Technologies

Jessie E. Harlow,^{1,2} Xiaowei Ma,^{1,2} Jing Li,^{1,2} Eric Logan,^{1,2} Yulong Liu,^{1,2} Ning Zhang,^{1,2} Lin Ma,^{1,2} Stephen L. Glazier,^{1,2} Marc M. E. Cormier,^{1,2} Matthew Genovese,^{1,2,*} Samuel Buteau,^{1,2} Andrew Cameron,^{1,2} Jamie E. Stark,^{1,2} and J. R. Dahn^{1,2,**,z}

Septembre
2019
260000 fois

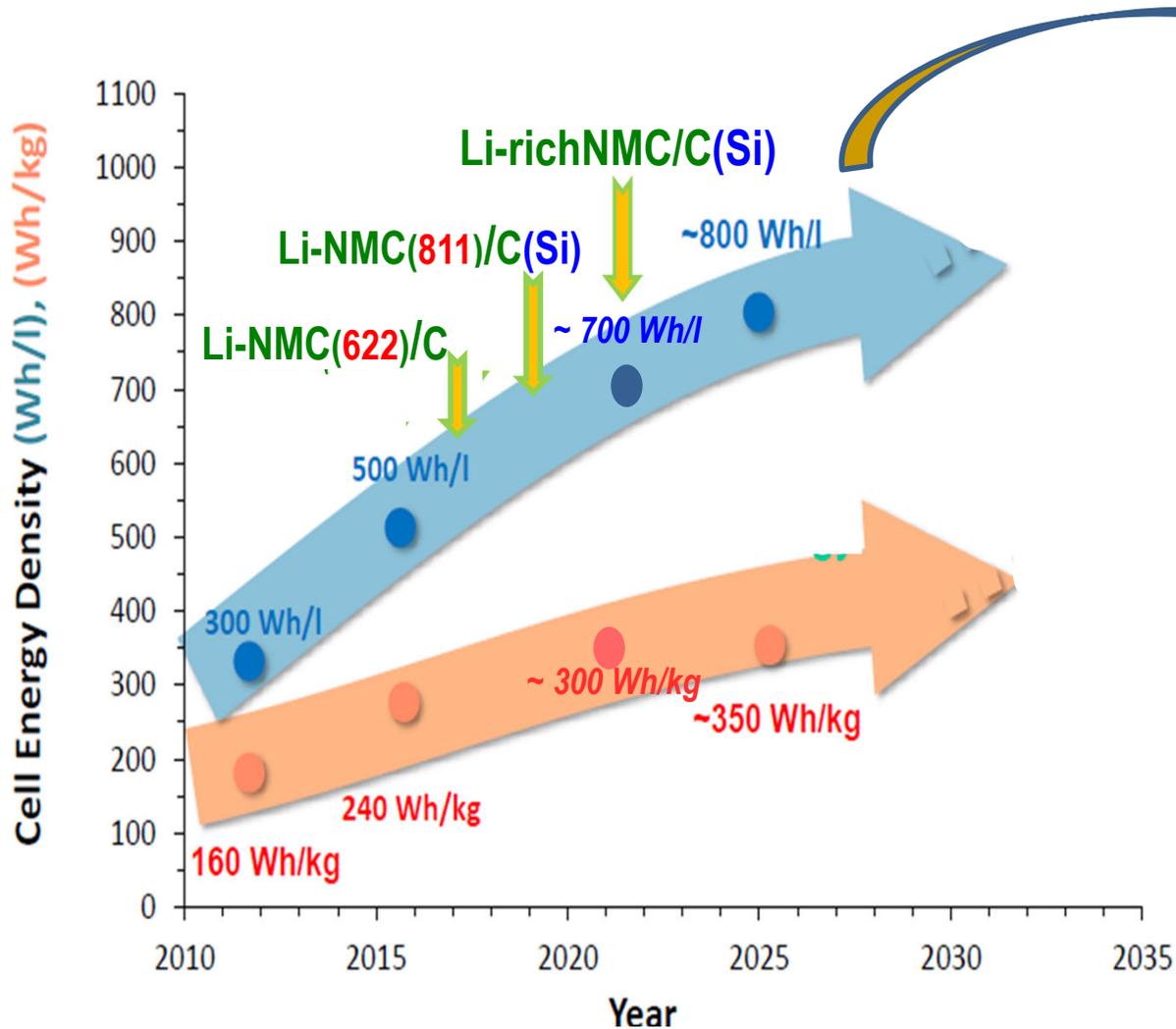


Trois années
de tests sur
Cellules
(NMC(532)/Carbone)

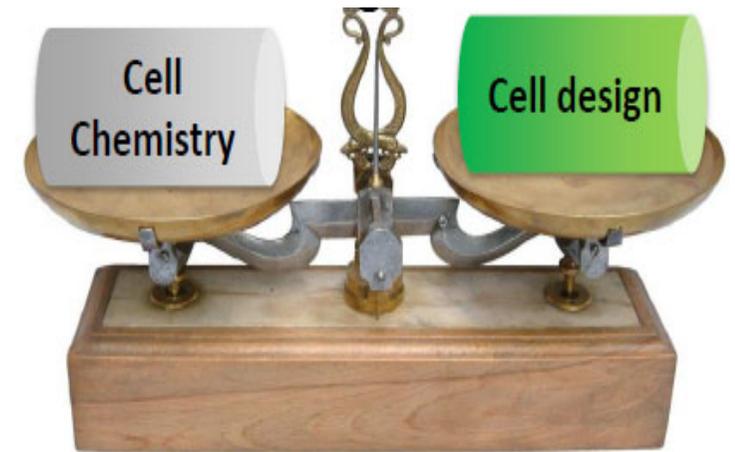


Challenges restant associés à la technologie Li-ion...

La technologie Li-ion : Que pouvons-nous espérer ?



Comment obtenir 800Wh/l
et aller au-delà
?



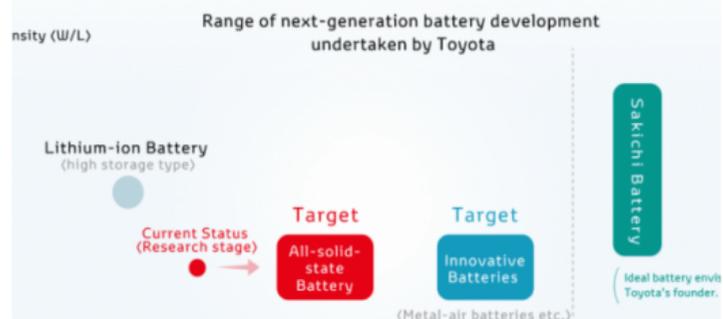
**Les batteries
tout solide**

Les batteries tout solide : Le plus grand engouement d'aujourd'hui dans le domaine des batteries

Recherche tirée par l'industrie

Toyota plans to leapfrog Tesla electric cars by 2022 with fast charging solid state batteries

brian wang August 23, 2017 38 comments



BMW's New Partner Tells Us Why Solid State Batteries Will Beat Tesla's Tech

By Mike Brown on December 18, 2017

Filed Under Innovation, Batteries, Cars, Design, Elon Musk & Gigafactory

BMW's electric car efforts got a big spark on Monday, when solid state battery developer Solid Power announced a new partnership that will see the pair working to create the next generation of rechargeable vehicles. If their efforts are successful, it could beat out the likes of the Tesla Model 3 that uses regular lithium-ion batteries.

FINANCIAL TIMES

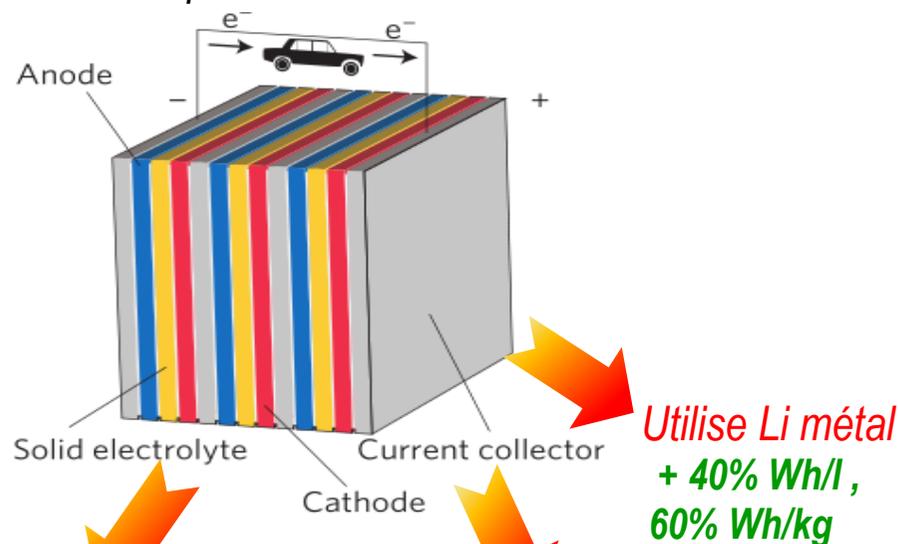
fastFT Batteries + Add to myFT

UK govt backs research into solid-state batteries for electric cars

Faraday Institution aims to put UK 'at the forefront of battery technology worldwide'

Avantages des batteries tout solide

Tous les composants sont solides

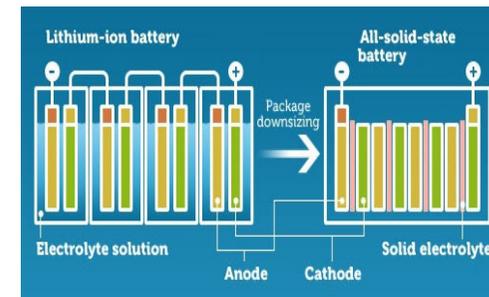


Electrolyte solide par rapport à liquide

Configuration bipolaire



Plus de sécurité

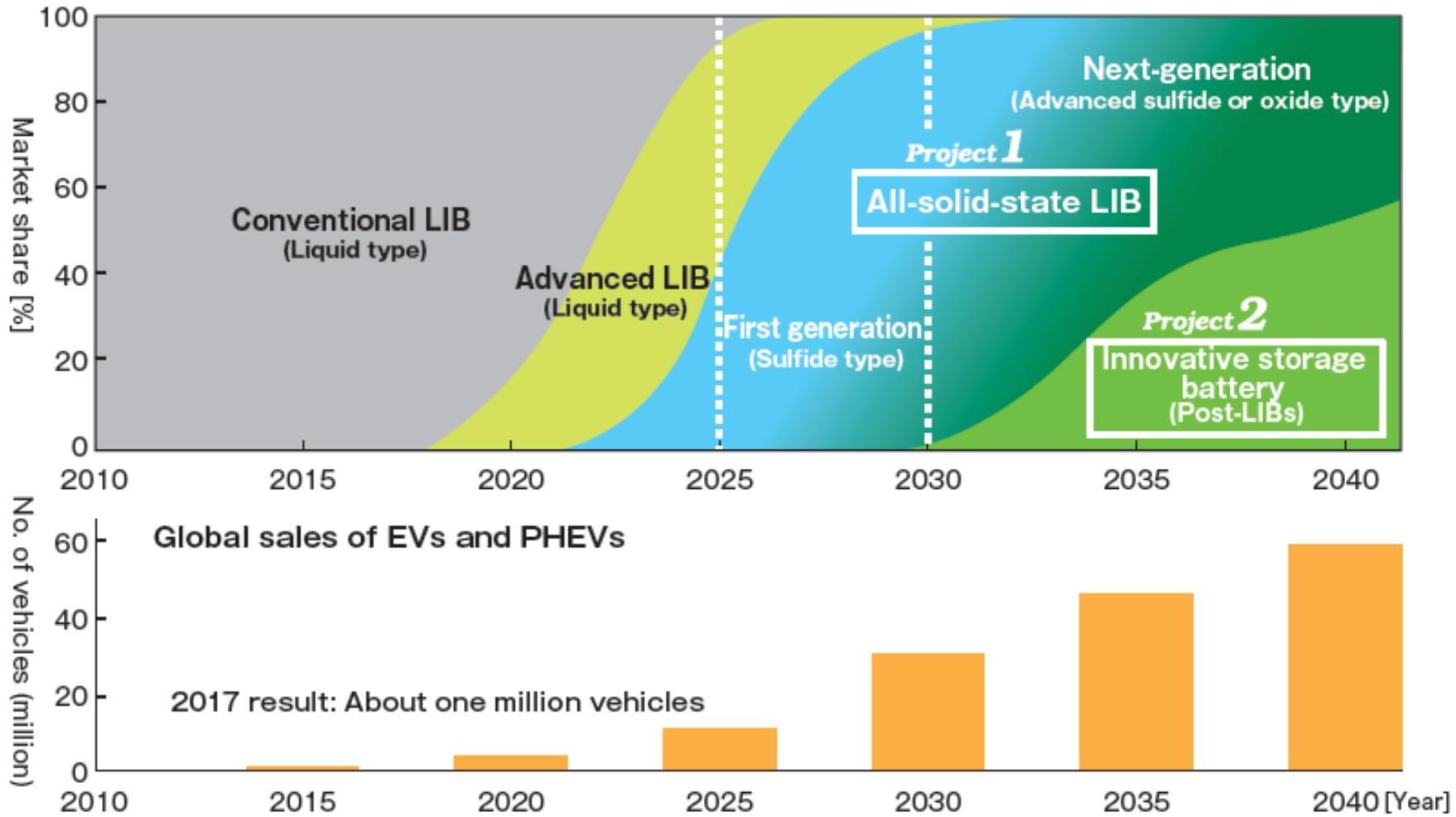


Plus compacte → plus de Wh/l

Les batteries tout solide sont sur la feuille de route de toutes les institutions

► La vision du Japon

Long-term forecast of technology and market for automotive batteries



* Source: Created by NEDO based on various other materials.

Progrès substantiels au niveau des conducteurs ioniques

Kanno
Nature Materials
Vol. 10 - (2011)

σ_{RT} comparable to Liquid electrolyte ($10^{-3} - 10^{-2} \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$)

Garnets
 $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$

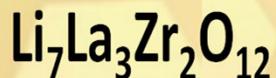
Les batteries tout solide sont prometteuses, mais la route sera longue que ce soit au niveau fondamental ou appliqué avant la commercialisation



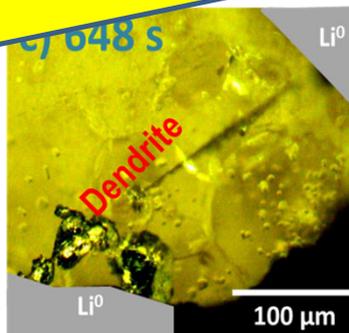
La cible de 2022 est totalement irréaliste ..

Greffage

Aspérités



Ingénierie de surface



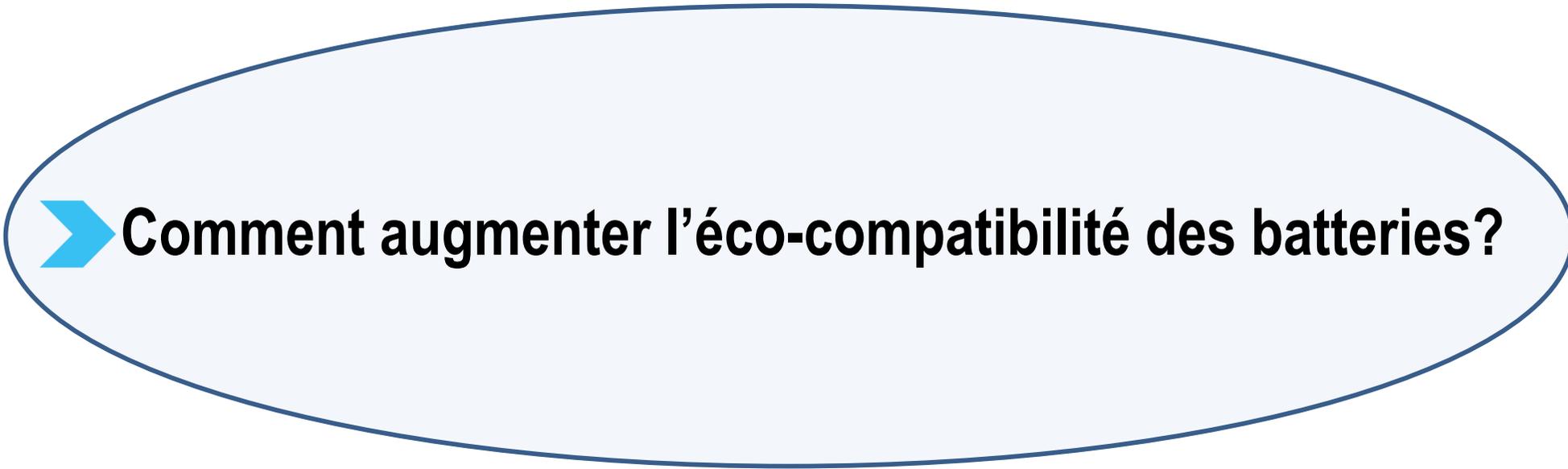
Crack filling with Li

aux joints de grains
Dendrites de lithium

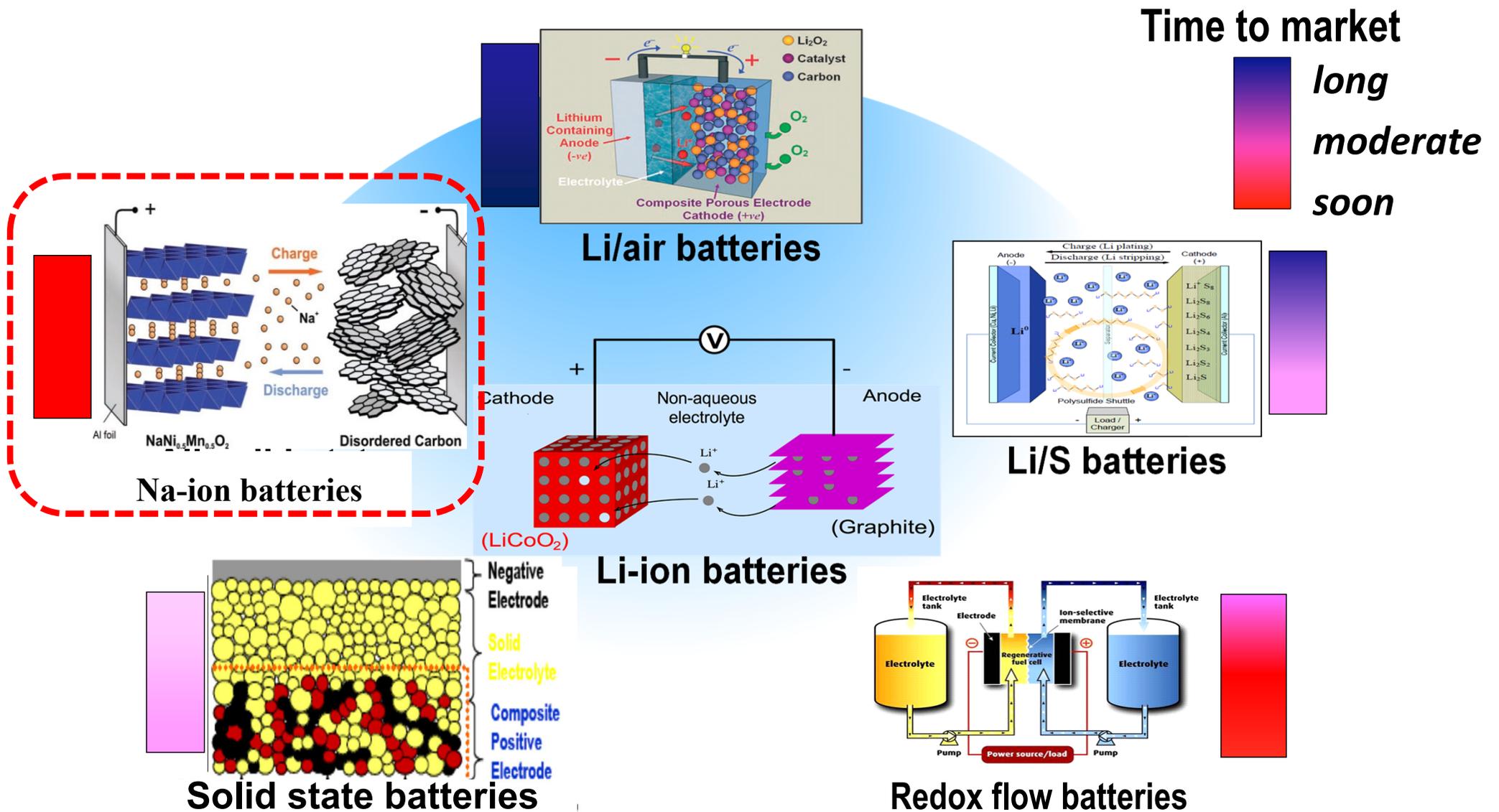




➤ Comment augmenter l'éco-compatibilité des batteries?



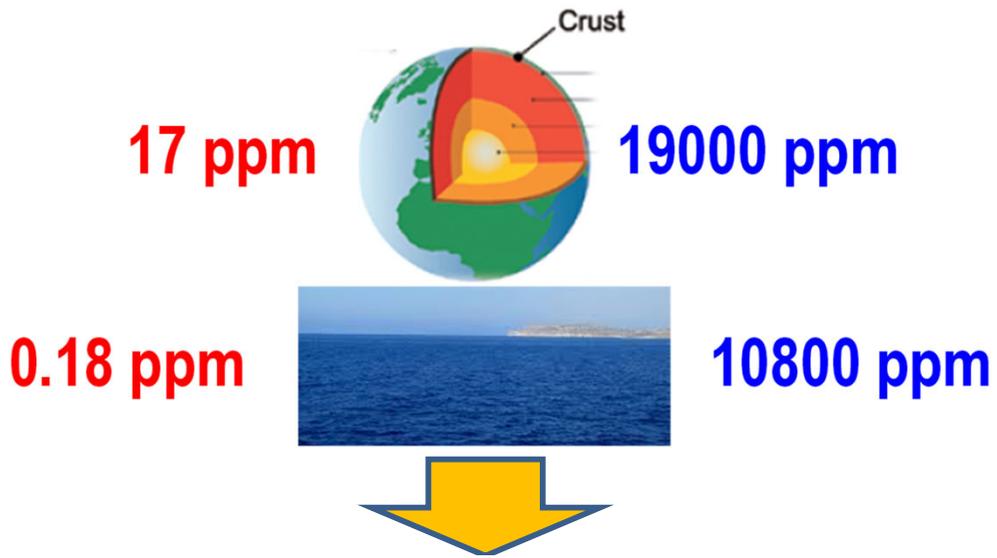
Diversification des batteries pour un développement durable

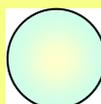


Aucune d'entre elles n'a atteint un état de maturation suffisant...

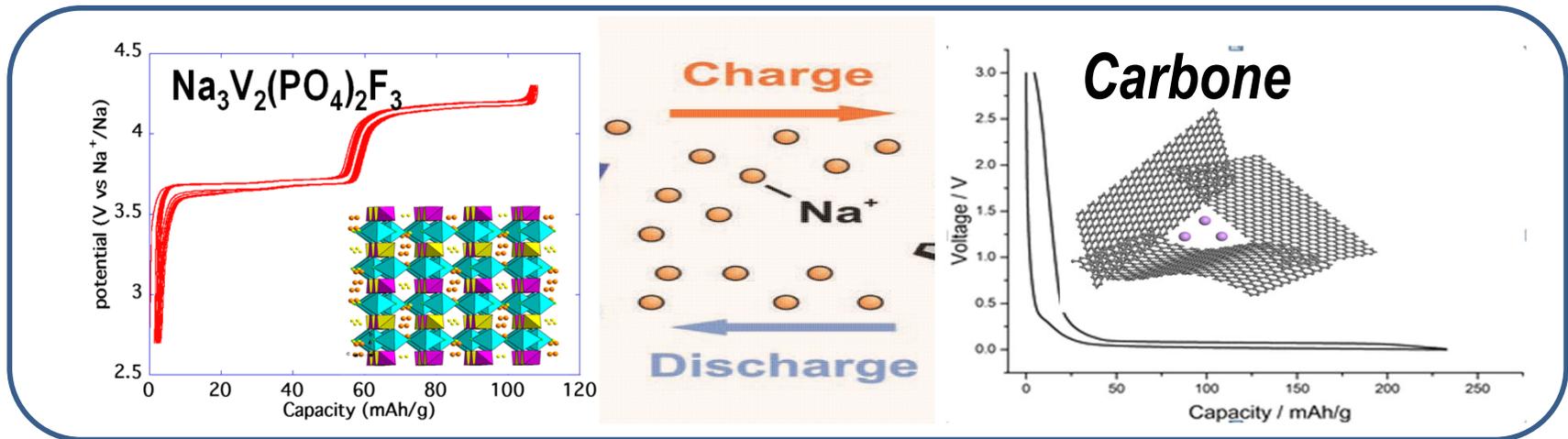
Du Li-ion au Na-ion

3 **6.941**
 0.98
 180.5 **Li** 
 0.534 $1s^2 2s^1$
Lithium



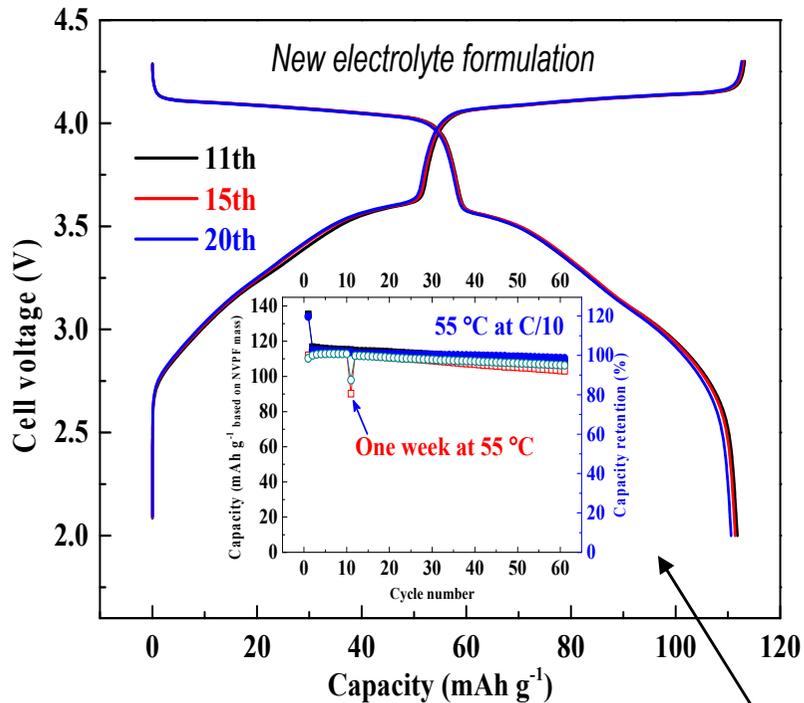
11 **22.941**
 0.9
 98 **Na** 
 0.97 $2s^2 2p^6 3s^1$
Sodium

Développer des batteries Na-ion ... Mise au point d'une nouvelle technologie

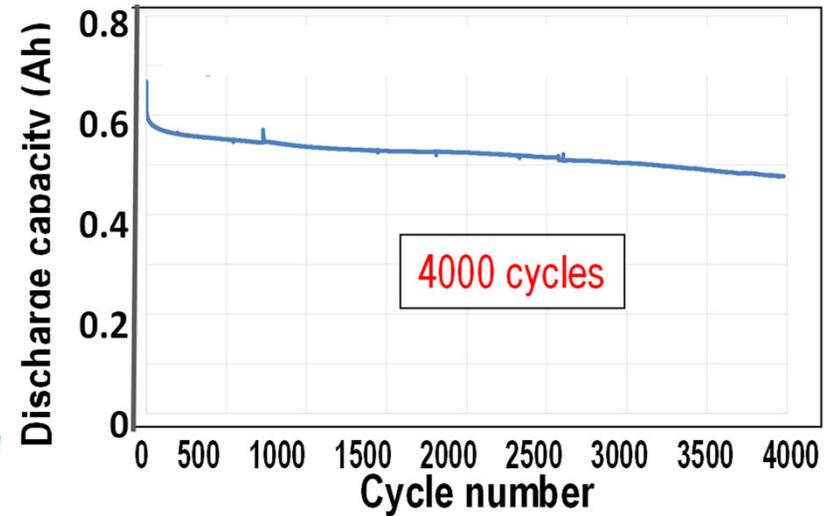


Performances des cellules Na-ion (NVPF/C)

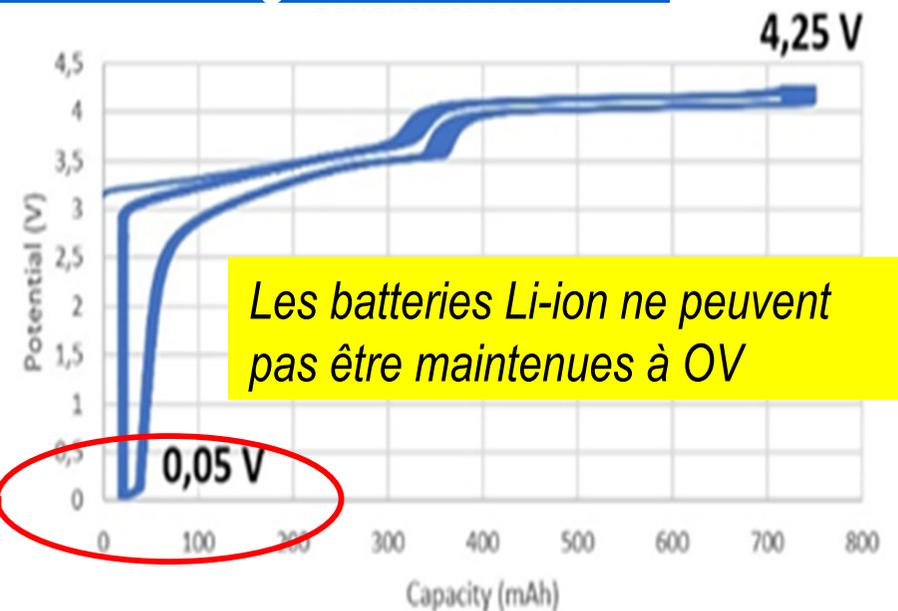
Cyclage à 55°C



Performance en cyclage



Stockage à 0 volt

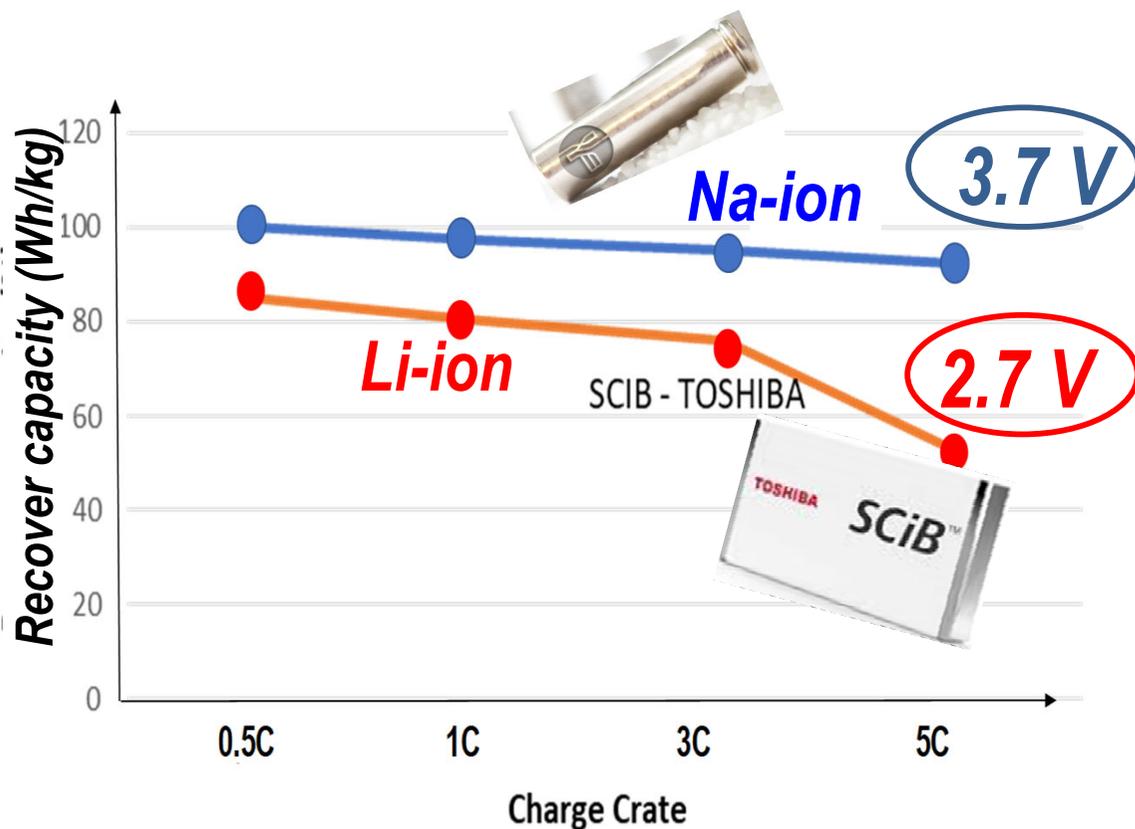


1. Bonnes performances en T
2. Très bonne durée de vie
3. Facile à transporter et à stocker

Les batteries Li-ion ne peuvent pas être maintenues à 0V

La puissance : Un autre avantage du Na-ion

► PUISSANCE – COMPARAISON AVEC LA CELLULE SCiB (Li-ion) de TOSHIBA



Les cellules Na-ion affichent des performances qui se comparent favorablement à celles des cellules Li-ion SCiB tout en ayant une tension de sortie plus élevée

Création d'une filière française Na-ion en Picardie



Comment allonger la durée de vie des batteries?

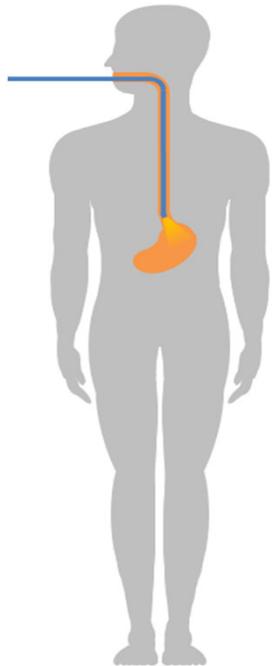
 Leur donner une seconde vie en y injectant de l'intelligence

La seconde vie des batteries

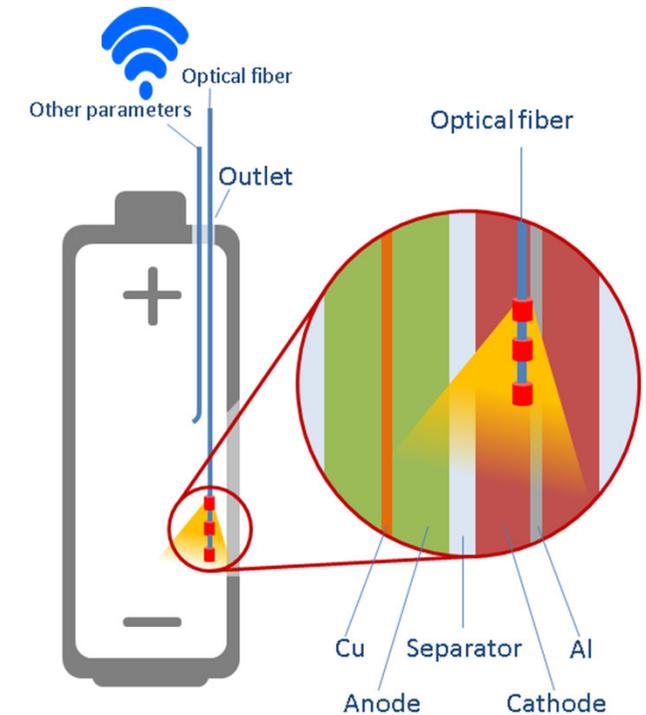
□ Donner aux batteries une double fonctionnalité



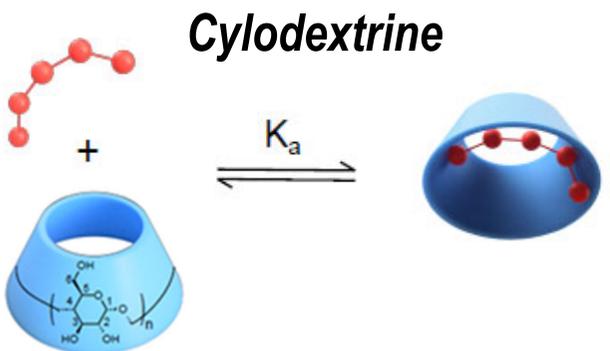
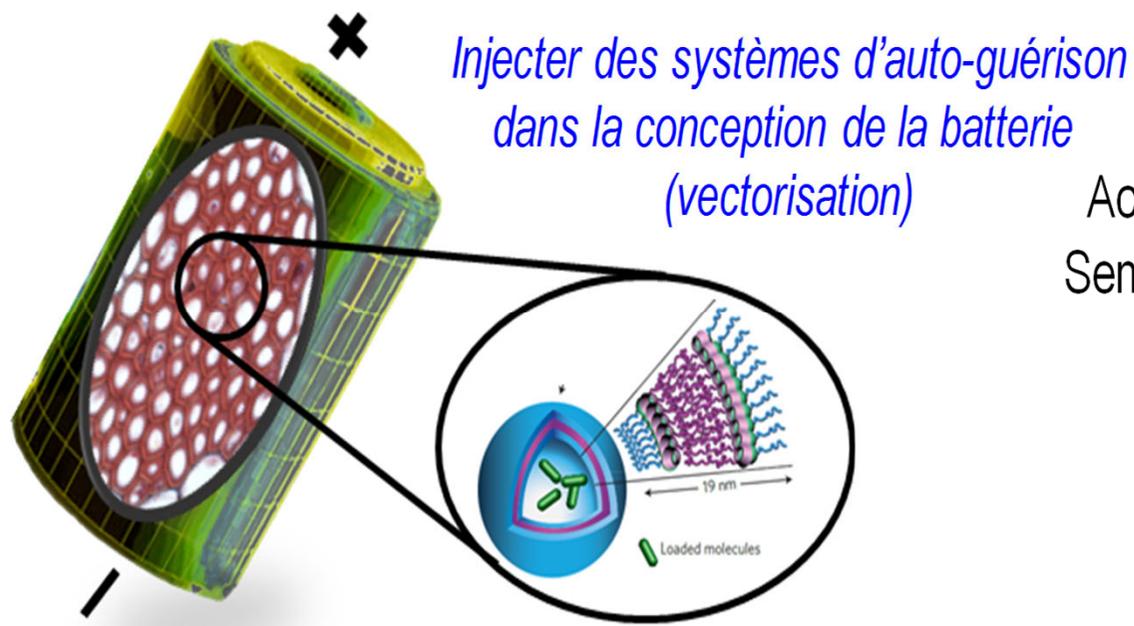
Meilleure traçabilité pour établir leur bilan de santé en direct comme pour les êtres humains



Injecter de l'intelligence dans les batteries via des capteurs (optiques, acoustiques, électriques.) pour une surveillance en temps réel

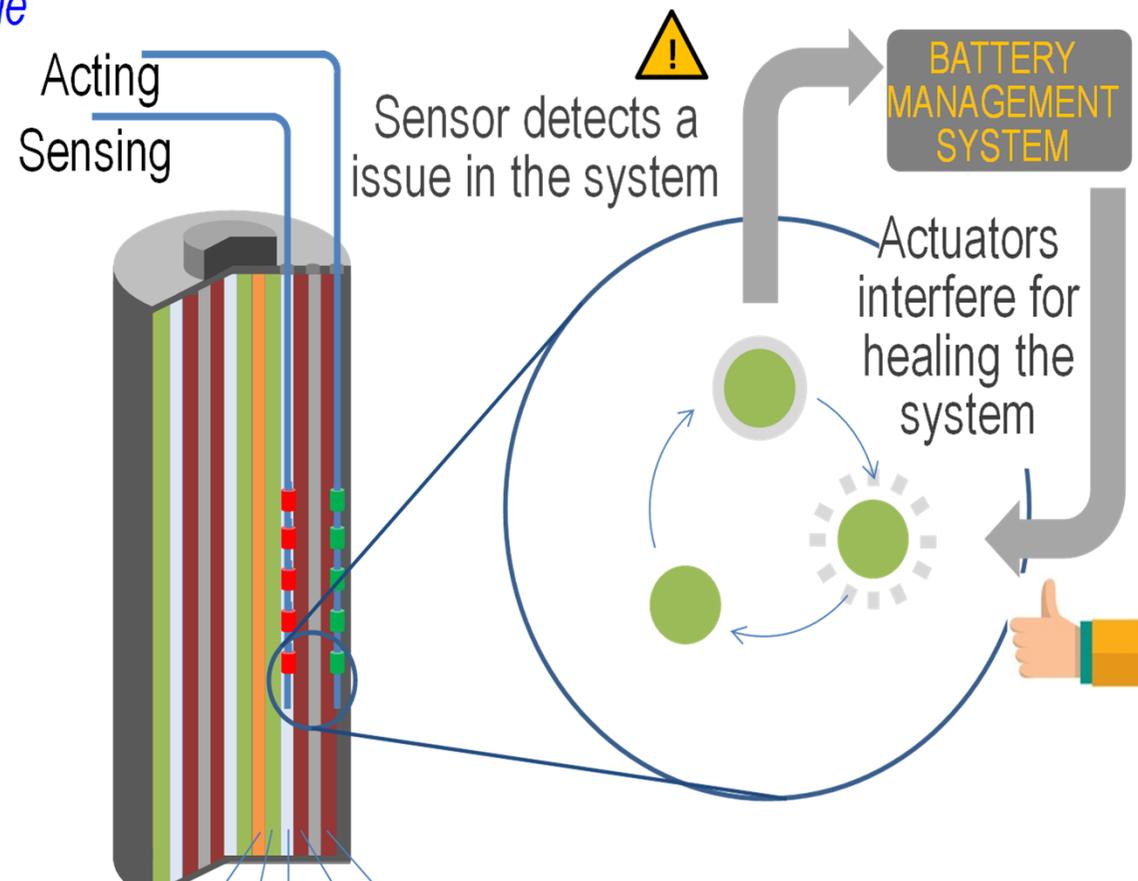


□ Développement de systèmes auto-réparants



Température comme stimulus

□ Batterie du futur intégrant des fonctions de diagnostic et d'auto-réparation



Repousser l'âge de recyclage des batteries ...

Les batteries et leur devenir : Anticiper le futur sans refaire les erreurs du passé

□ L'histoire du plastique

1900s'- L'ère du polymère

Bakelite, the world's **first fully synthetic plastic**, was invented on Feb 5, 1907

'A MATERIAL OF THOUSAND USES'

Was **invented by** Belgian-born American chemist **Leo Hendrik Baekeland**



It kick-started the **modern plastics industry**

Because it was **durable, lightweight & easily** mouldable it revolutionised the consumer durables industry



It was useful in automotives & electrical industries also



Bakelite's biggest influence was on perhaps the fashion industry—making jewellery attractive & cheap



2000s'- La pollution par le plastique, un problème majeur



L'Inde : le dépotoir des plastiques du monde



□ Les batteries à ions Li , 100 ans plus tard ?

2000s'- L'âge du véhicule électrique



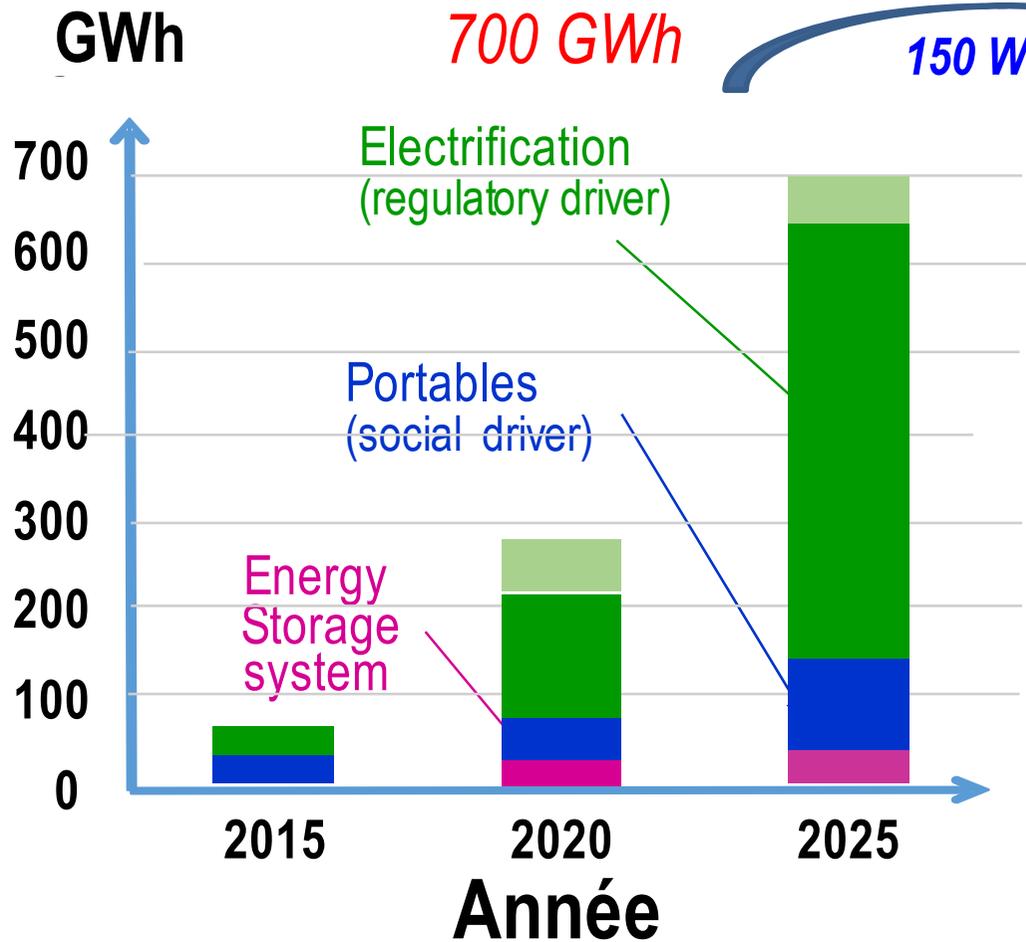
Crucial d'agir pour anticiper le recyclage de grands volumes de batteries

Les batteries à ions Li : Quelques chiffres du marché

Li-ion en termes d'énergie stockée

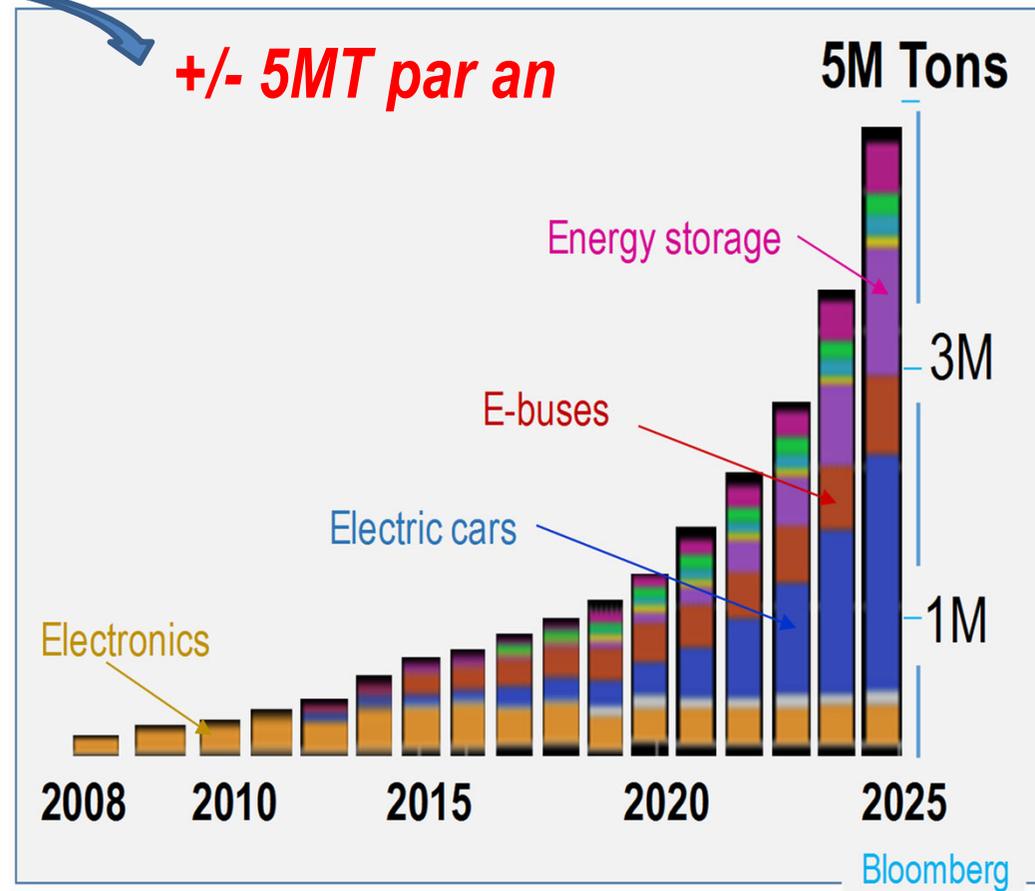
Li-ion en termes de masse à recycler

Volumes gigantesques
à recycler



150 Wh/kg

+/- 5MT par an



Agir maintenant pour anticiper le recyclage de 5 MT de batteries par an en 2025

Repenser les procédés de recyclage

2 méthodes

Pyrométallurgie

Hydrométallurgie

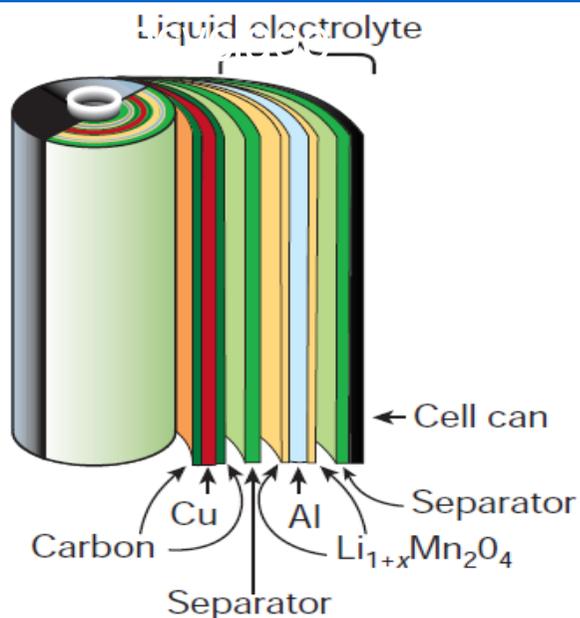


Favoriser les circuits courts de recyclage :

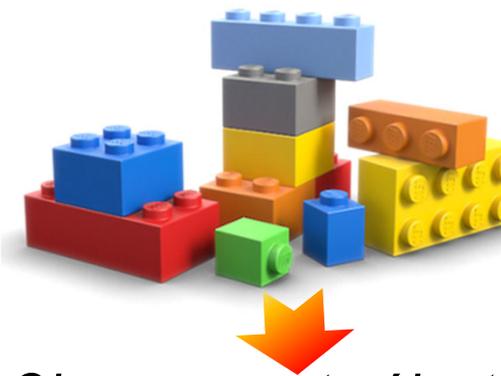
Méthode direct

(séparation physique et retraitement)

Repenser la configuration des batteries



Batterie de type « LEGO »

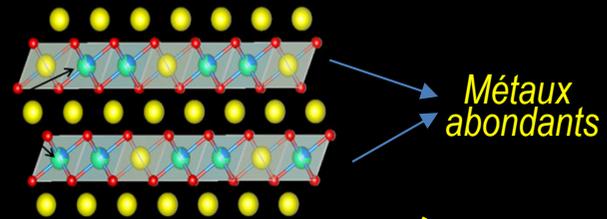


Changement sélectif des composants de la batterie

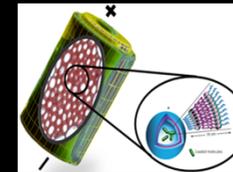
Conclusions: Les batteries sont elles une bonne option pour un développement durable ?

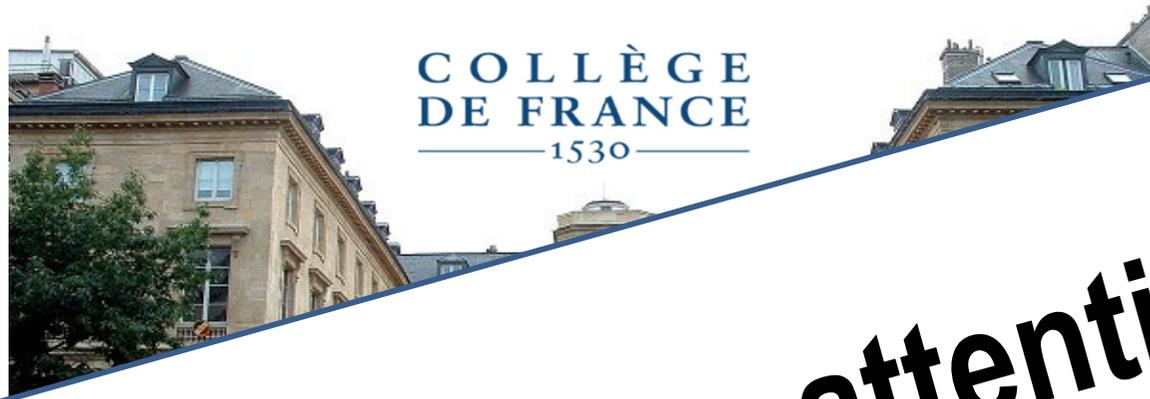
Oui mais à quelques conditions

- Utiliser de l'énergie primaire en provenance d'énergies renouvelables pour recharger les batteries
- Développer des matériaux d'électrodes à plus haute capacité et à base de métaux abondants
- Développer des technologies de batteries plus éco-compatibles
- Injecter de l'intelligence dans les batteries pour repousser l'âge pivot de recyclage et autoriser une seconde vie
- Lancer une politique de recyclage agressive incluant procédés et circuits courts de récupération et mise en place de normes strictes



Métaux abondants





Merci pour votre attention

