

Les batteries dans le contexte de la transition énergétique

Prof. Patrice Simon,
Université Paul Sabatier
simon@chimie.ups-tlse.fr



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

→ *développer les technologies de stockage de l'énergie pour*

1. gérer/stoker les ressources en énergie renouvelables de la planète

Énergies fossiles



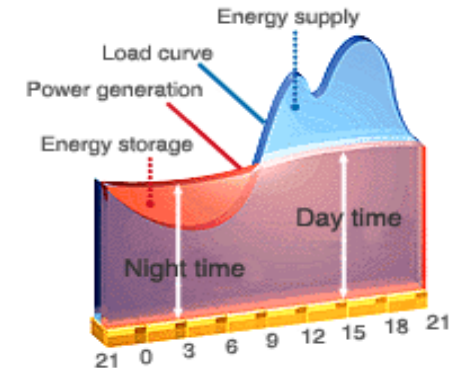
Vent



Soleil



Marées



2. accompagner l'amélioration des conditions de vie

(3,6 milliards de téléphones portables !!!)



3. favoriser le développement des HEVs ou EVs moins polluants (∇CO_2)



Audi e-tron

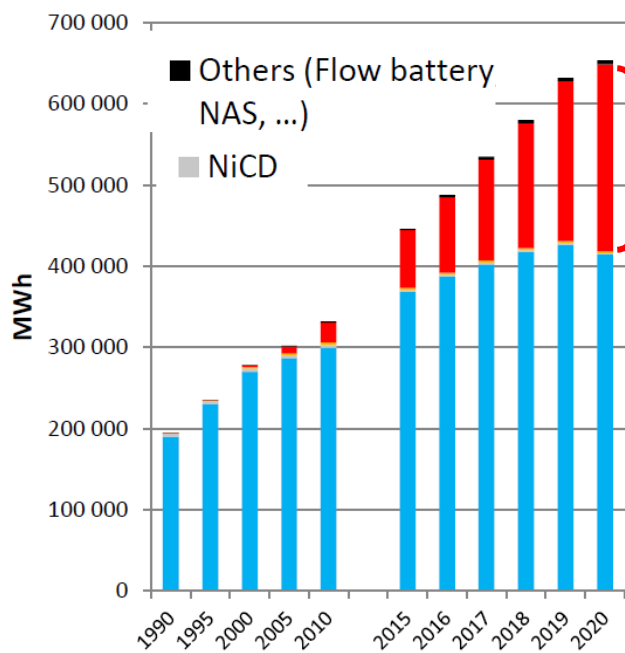
www.audi.fr

Renault Zoe



<http://www.automobile-propre.com>

1. Marché mondial des batteries en 2021



■ Lead Acid

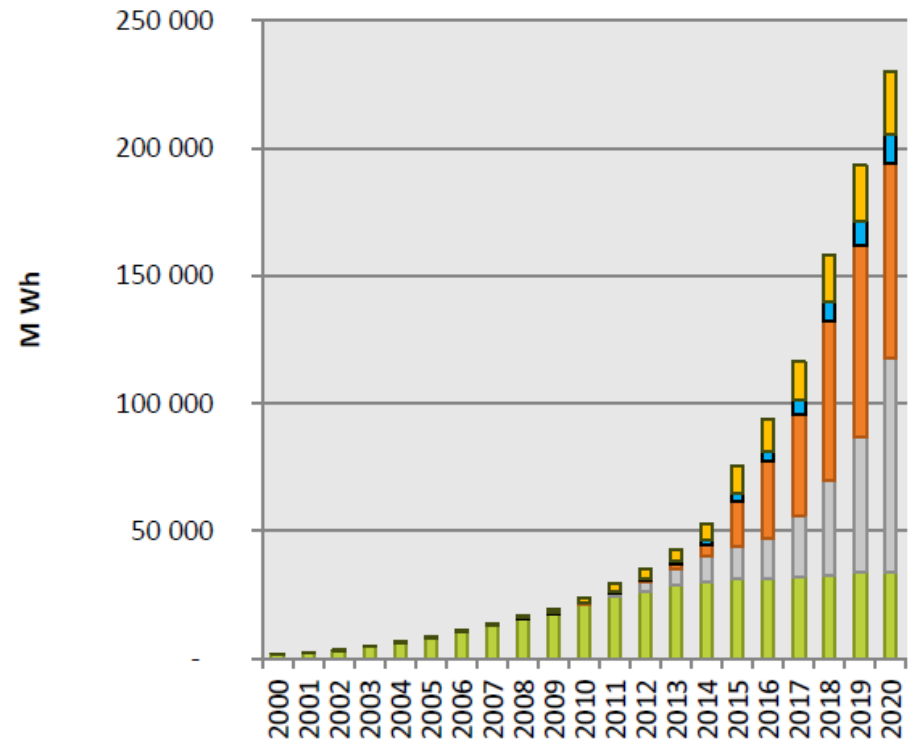
→ domine largement le marché

■ Li-ion

→ Plus forte croissance et investissements

Batteries Li-ion en 2020 :

- 235 GWh
- 70% pour mobilité
- 15% pour électronique
- 5% industriel + réseau
- 10% autres



1. Le stockage électrochimique de l'énergie



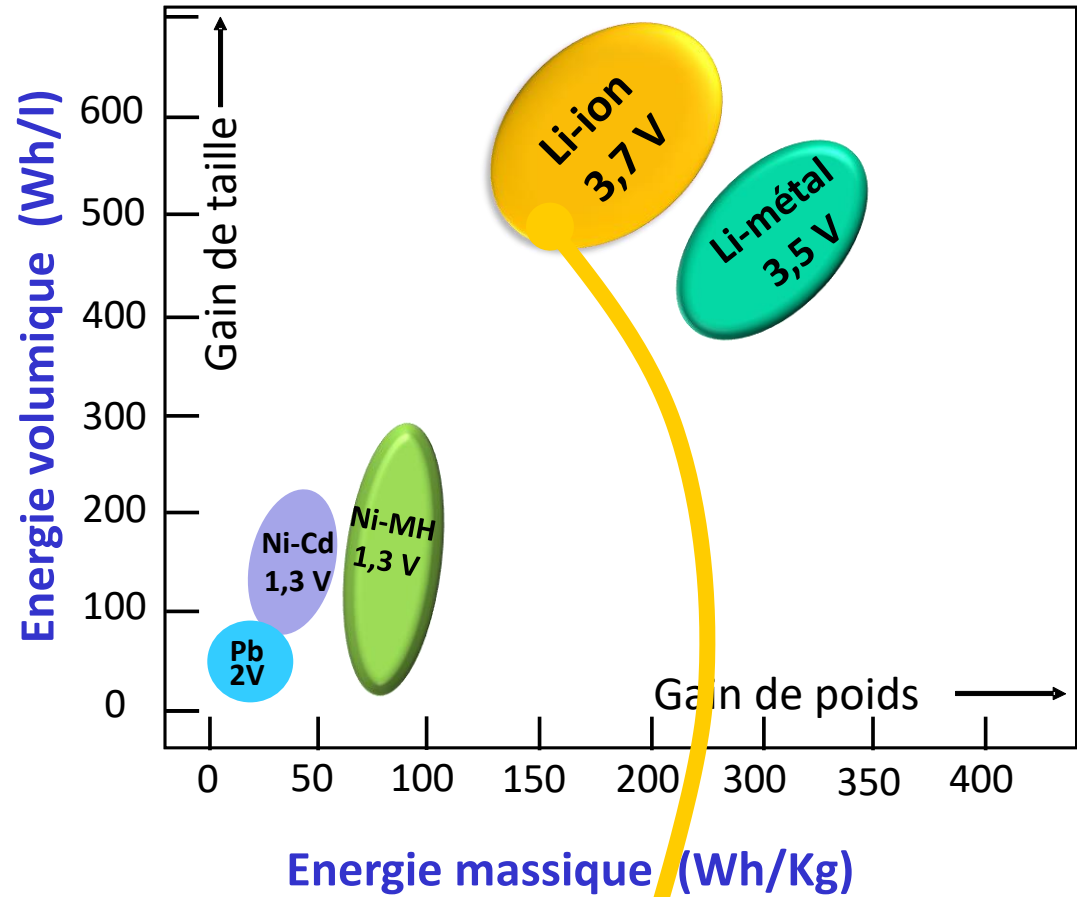
Alessandro Volta, 1801

(Cu/Zn)

- 1839 Piles à combustible
- 1859 Batteries Pb
- 1899 Ni-Cd
- 1973 Li métal
- 1975 Ni-MH
- 1979 Li^o-Polymère



Li-ion , 1990, Sony



Li-ion : rupture technologique

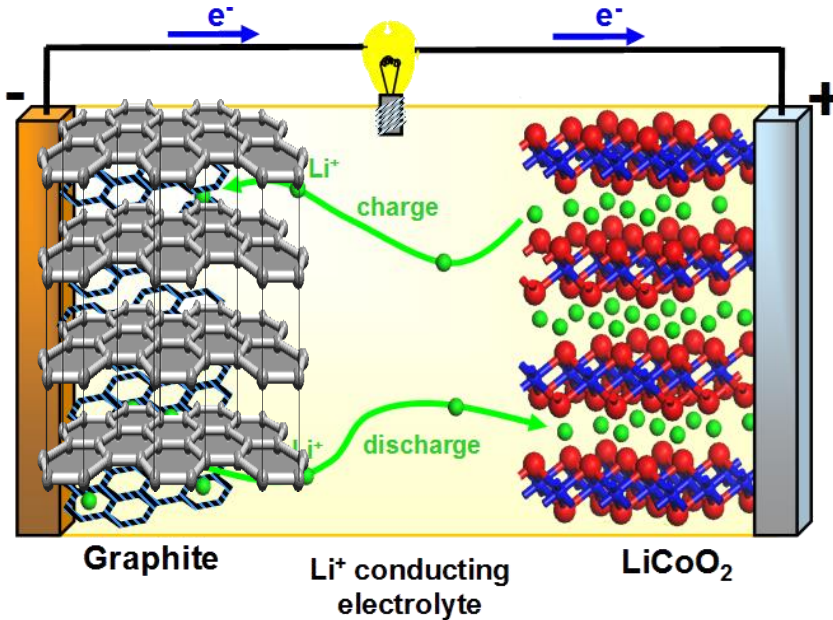
The Nobel Prize in Chemistry 2019

Niklas Elmehed

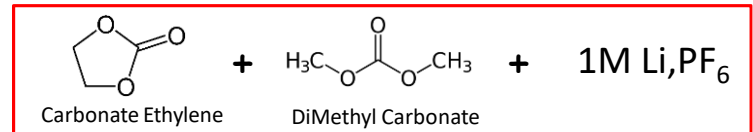


Le prix Nobel de chimie 2019 a été décerné le 9 octobre dernier à l'Américain **John B. Goodenough***, au Britannique **M. Stanley Whittingham** et au Japonais **Akira Yoshino** (photo © Asahi Kasei) « pour le développement des batteries lithium-ion ».

2. La batterie Lithium ion : concept

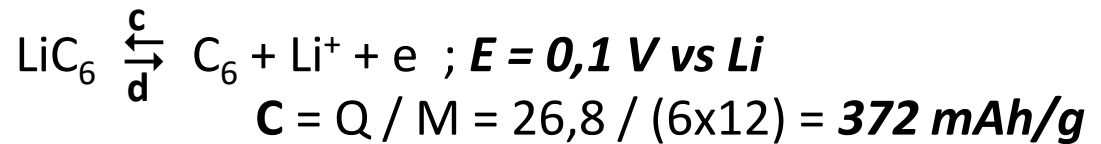


Electrolyte non aqueux
(EC+DMC) + Li⁺,PF₆⁻

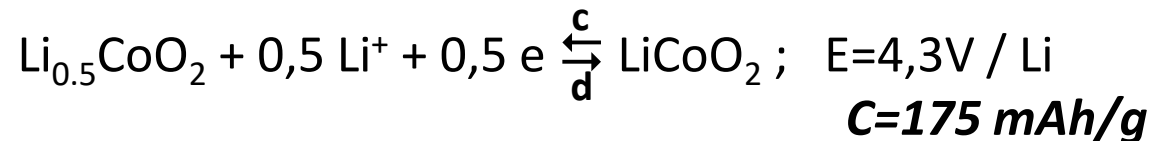


Intercalation ions Li⁺ aux deux électrodes : pas de Li métal

(-) Anode: C graphite

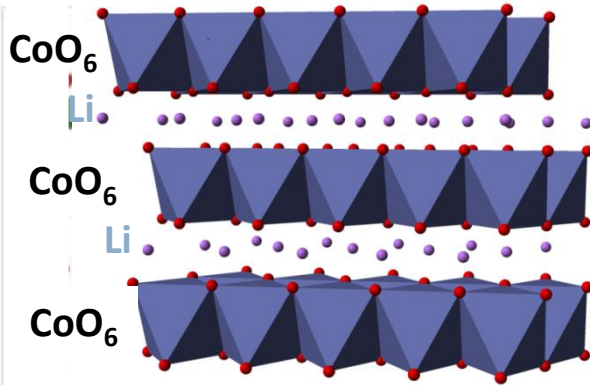


**(+) Cathode: type lamellaire
LiCoO₂**



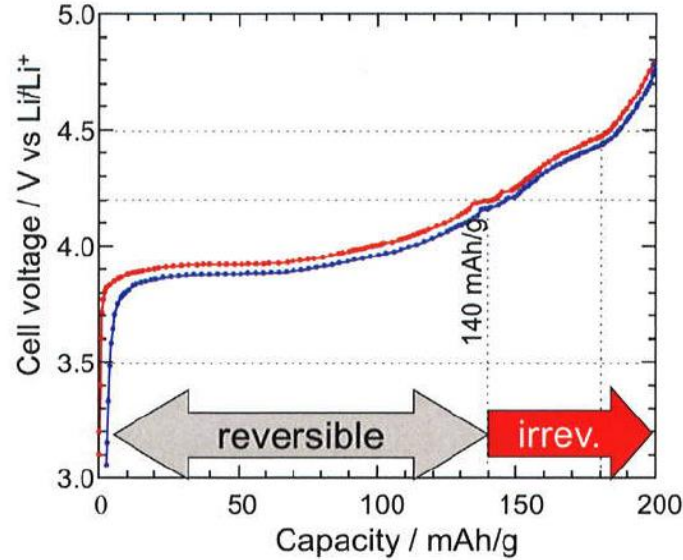
$\Delta E = 3,7 \text{ V} ; C = 55 \text{ Ah/kg} \rightarrow W_{(\text{énergie})} \approx 200 \text{ Wh/kg}$

Cathodes 2D : LiCoO₂



Structure: α -NaFeO₂ type
Layered structure (2-D)
2-D Li⁺ diffusion

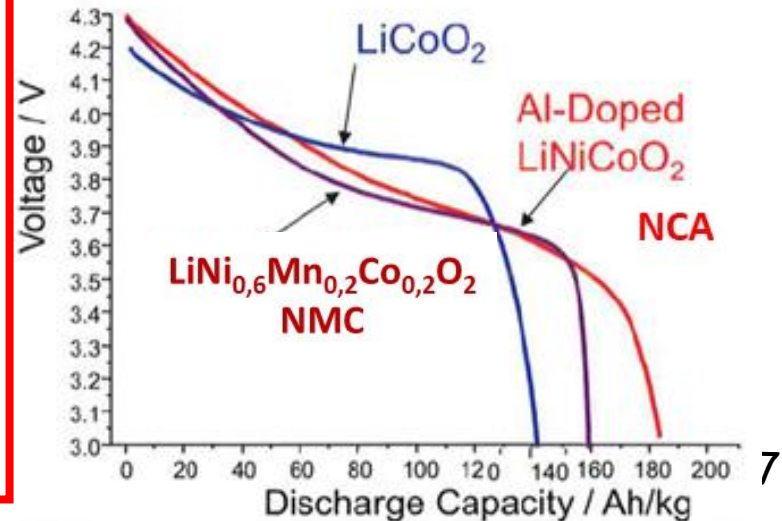
● Lithium
● CoO₆ octahedra

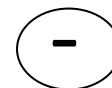


Type LiCoO₂: E=4,2V mais
 - C limitée à 150 mAh/g
 - **instabilité thermique** (Co-O)
 - coût
 → Diminuer [Co]

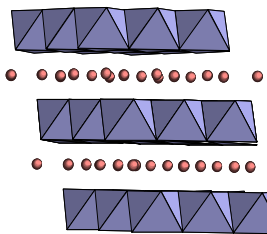
Diminuer teneur en Co :

- Substitutions Co par Ni, Mn^(+IV)
 → **Chimie NMC** : LiNi_{0,8}Mn_{0,1}Co_{0,1}O₂ ("Ni-rich" NMC 811)
- Substitution de Co par Ni et Al
 → **Chimie NCA** : LiNi_{0,8}Al_{0,05}Co_{0,15}O₂





Lamellaire type LiCoO_2



NCA, NMC 3,6V - 4,2V
($E \approx 220 \text{ Wh/kg}$)

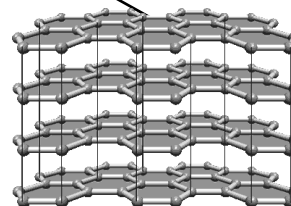
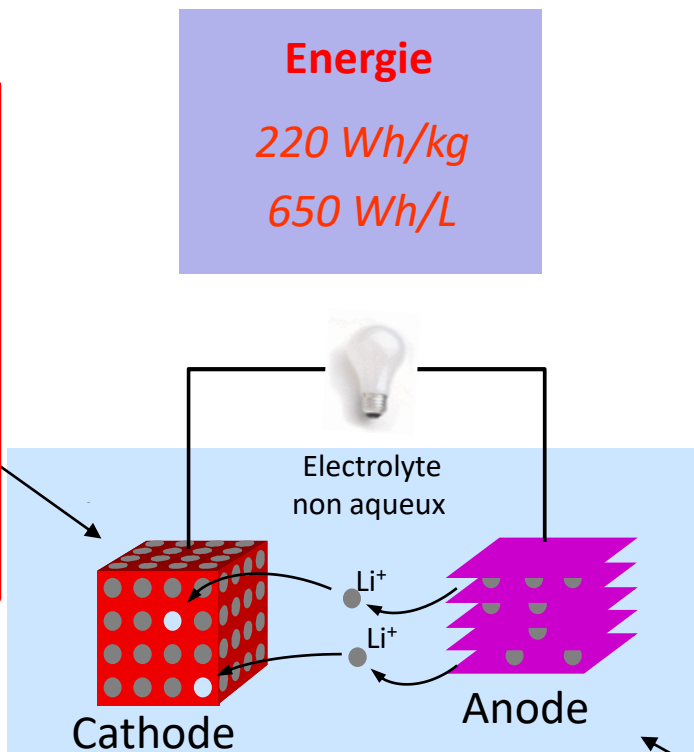
Energie

220 Wh/kg

650 Wh/L

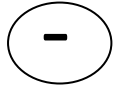
Caractéristiques:

- Tension 3,7 V moyenne
- Densité d'énergie élevée
- MAIS Co (à diminuer); Ni
- Sécurité

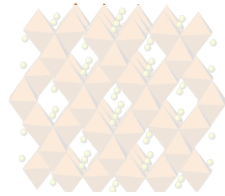


Li_xC_6 0,2 V

2.3 "Les" Technologies Li-ion : chimie LFP



Lamellaires



LiMn_2O_4
3,9 V

(P ↗, E ↘, T)

Energie

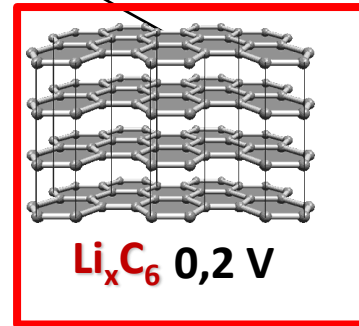
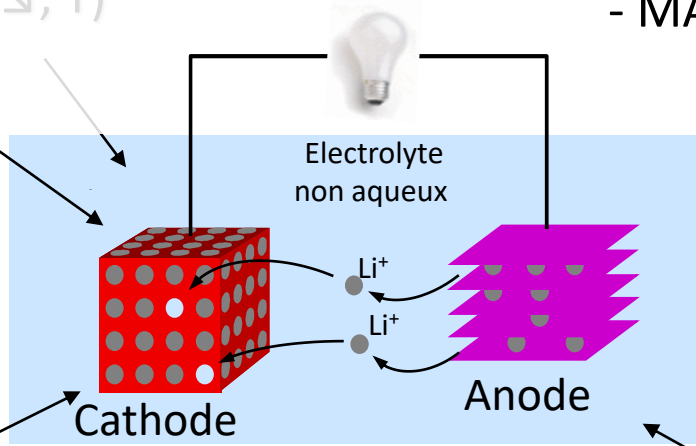
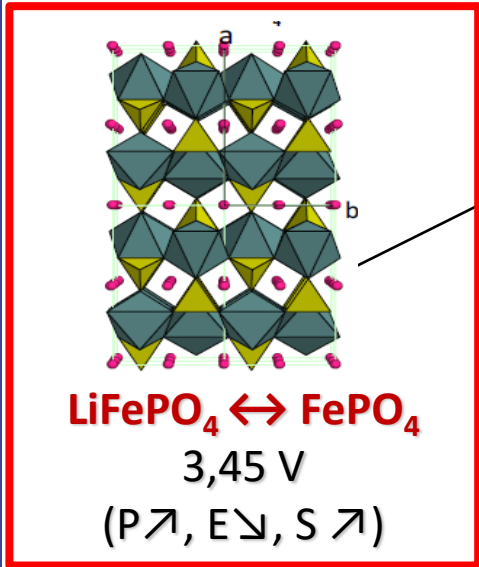
170 Wh/kg

350 Wh/L

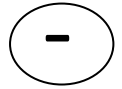
Caractéristiques:

- Tension 3,35 V constante
- Puissance élevée
- Pas de Co,
- MAIS densité d'énergie limitée

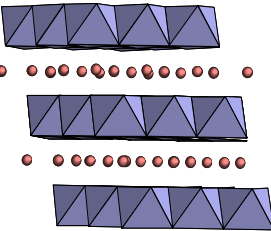
NCA, NMC 3,6V - 4,2 V



2.3 "Les" Technologies Li-ion : anode C/Si



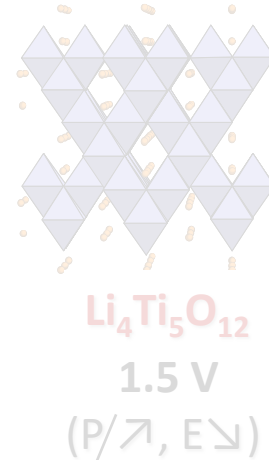
Lamellaires



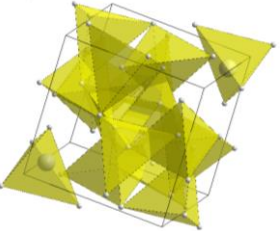
NCA, NMC
3,6V – 4,2V



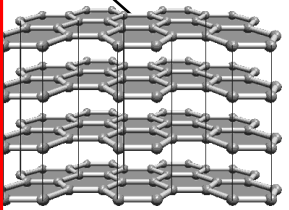
Energie
270 Wh/kg
770 Wh/L



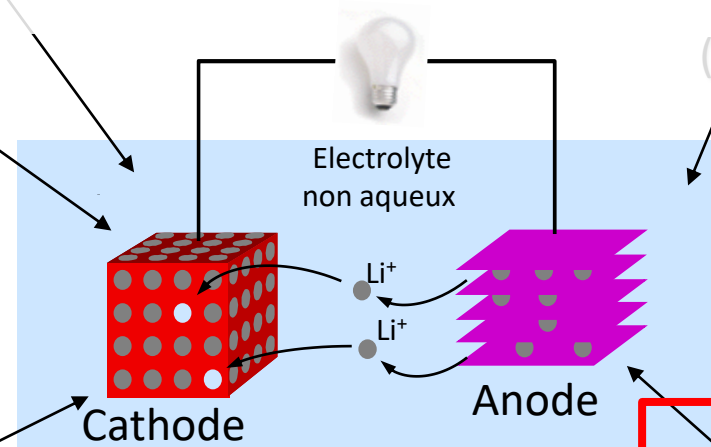
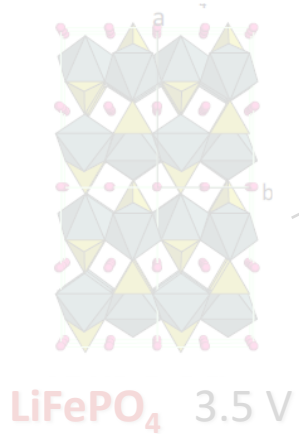
**Li_xSi_y
(alliage)**



0,4 V vs Li
(C ↗ et E ↗)



Li_xC_6 0,2 V vs Li



- Caractéristiques:**
- Energie ↗
 - Mais qqes % Si

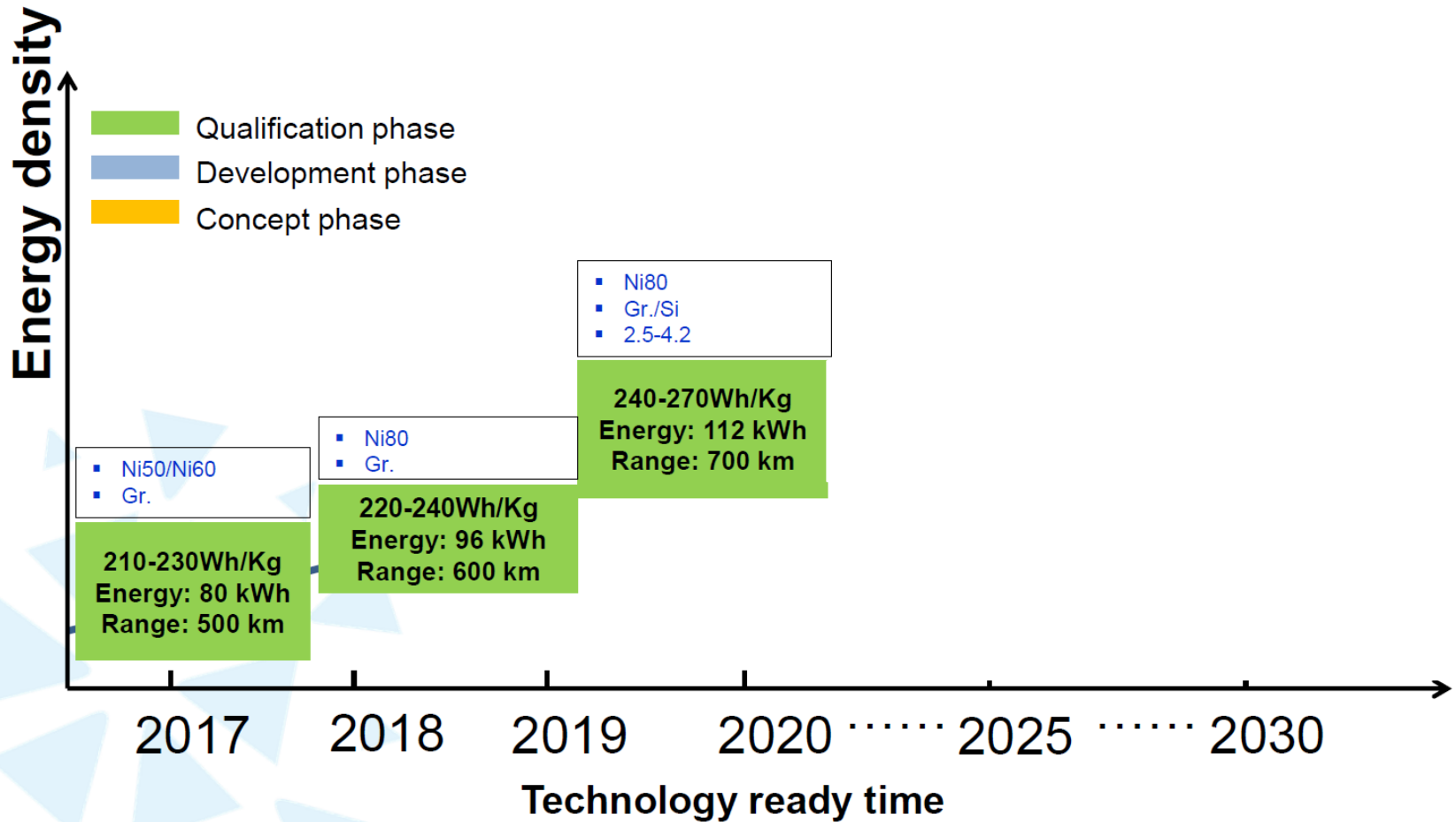
2.3 "Les" Technologies Li-ion : résumé

	Matériaux (+)	Abréviation	Avantages	Inconvénients
	LiCoO ₂	LCO	Energie	Sécurité, coût
*	Li(Ni, Co, Al) O ₂	NCA	Energie +	Sécurité, coût
	LiMn ₂ O ₄	LMO	Energie, coût, sécurité	Longévité faible
*	Li(Ni, Mn, Co) ₂ O ₂	NMC	Energie +	Sécurité
*	LiFePO ₄	LFP	Sécurité, coût	Energie plus faible
	Matériaux (-)	Abréviation	Avantages	Inconvénients
*	Carbones (graphite/amorphe)	LiC₆	Légèreté, REX	sécurité
	Titanates	LTO	Longévité, sécurité, puissance	Energie, cout
*	Alliages métalliques	Sn, SiC...	Energie	Longévité – Cyclage (développement)

Aucune chimie ne satisfait toutes les exigences

3. Roadmap des technologies (mobilité - EVs)

Exemple



- ✓ Enjeu clé : *charge rapide* (chimie ou technologie) ; 80%C en 20 minutes
- ✓ ~ 350 Wh/kg cellule en 2024 réaliste (270 Wh/kg en 2022 vs 150 Wh/kg 2005)

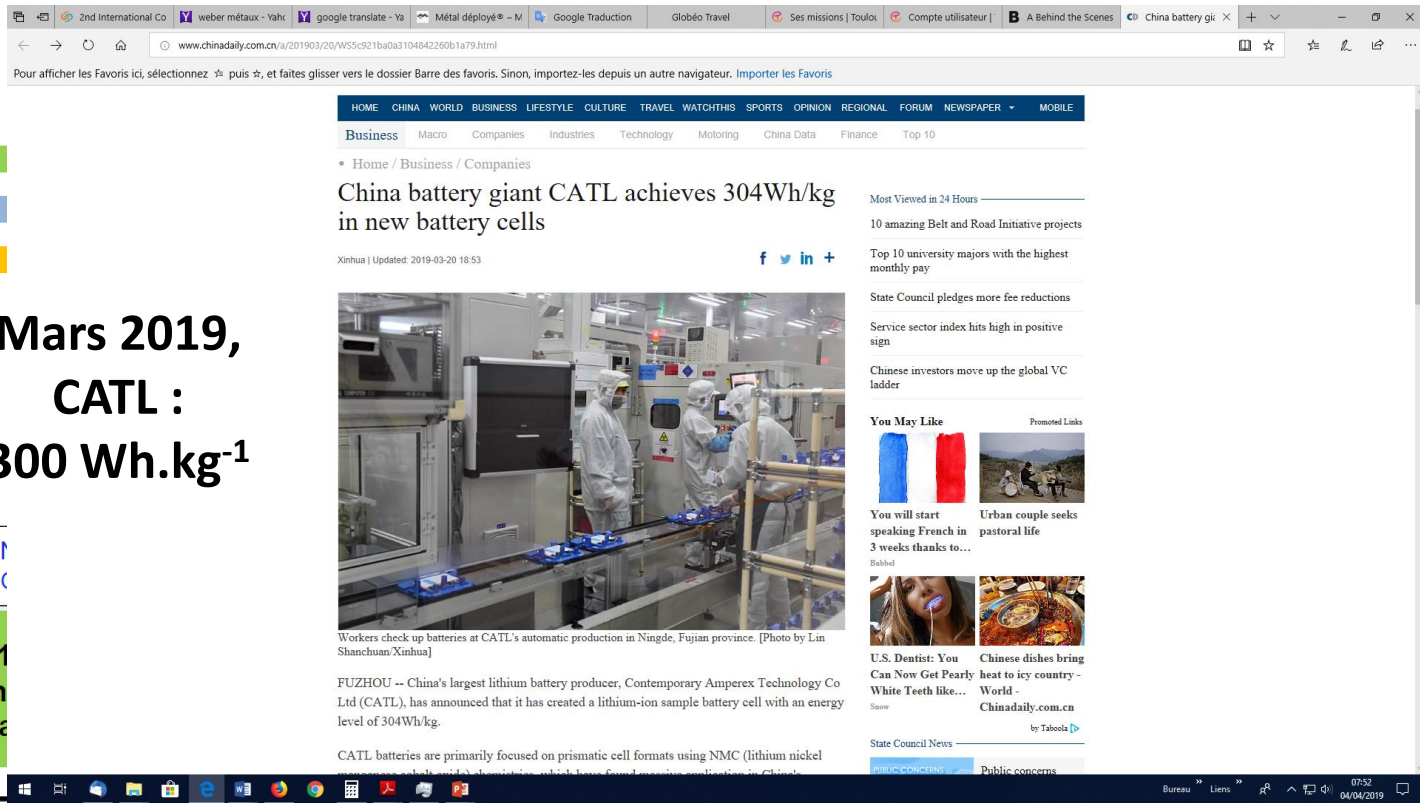
3. Roadmap des technologies (mobilité - EVs)

Energy density



Mars 2019,
CATL :
300 Wh.kg⁻¹

21
En
R

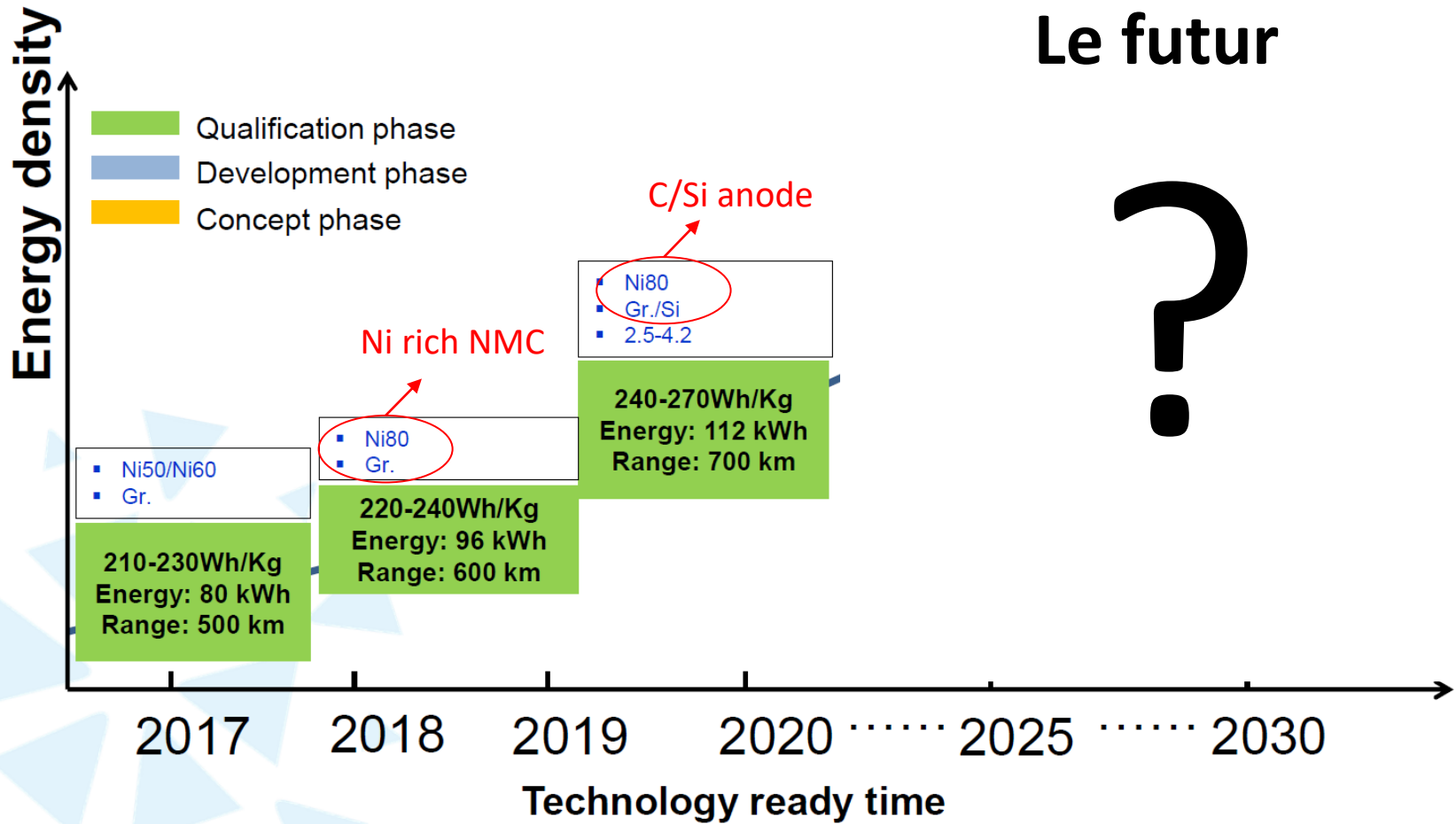


2017 2018 2019 2020 2025 2030

Technology ready time

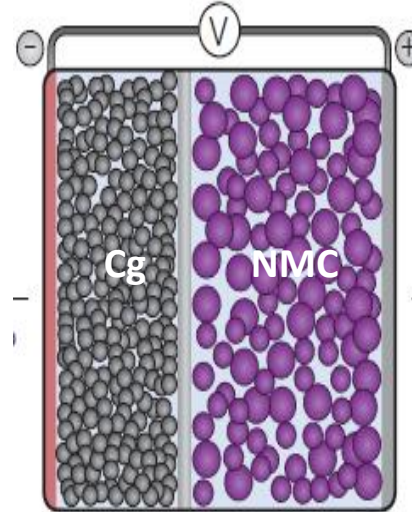
- ✓ Enjeu clé : *charge rapide* (chimie ou technologie) ; 80%C en 20 minutes
- ✓ ~ 350 Wh/kg cellule en 2024 réaliste (270 Wh/kg en 2022 vs 150 Wh/kg 2005)

3. Roadmap des technologies (mobilité - EVs)



Et au-delà de 350 Wh/kg?

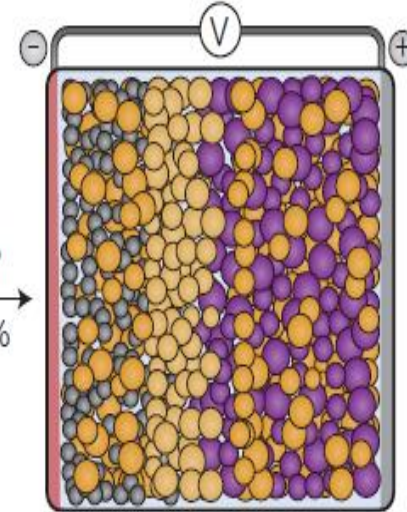
Batteries Li-ion



Electrolyte liquide

J. Janek, Nature Energy 2016

Solid state Li-ion battery



Electrolyte Solide

(oxydes, sulfure, polymères)

$$W_{\text{vol}} = +0\%$$

$$V_{\text{grav}} = -10\%$$

Performances

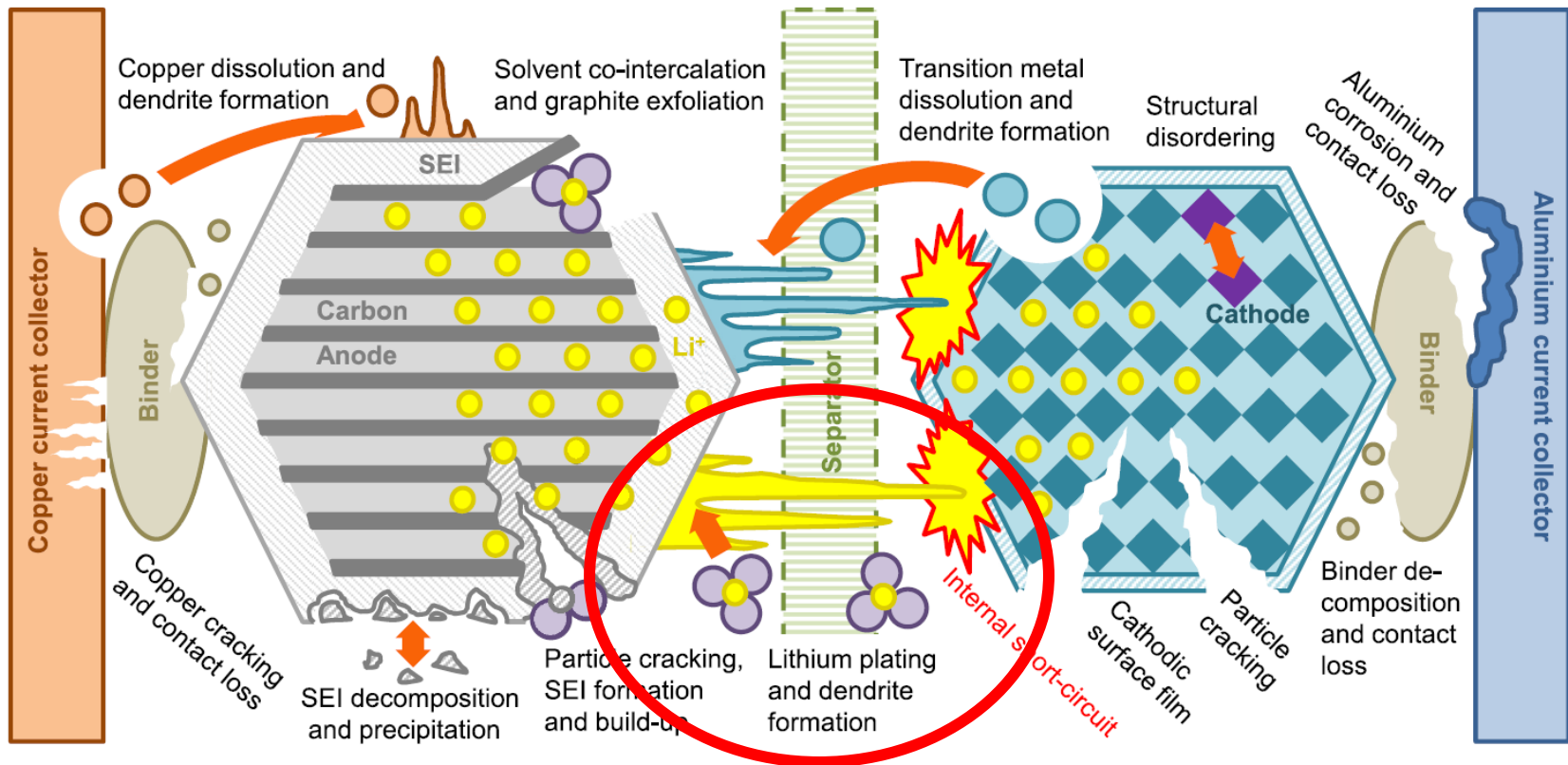


Mais sécurité



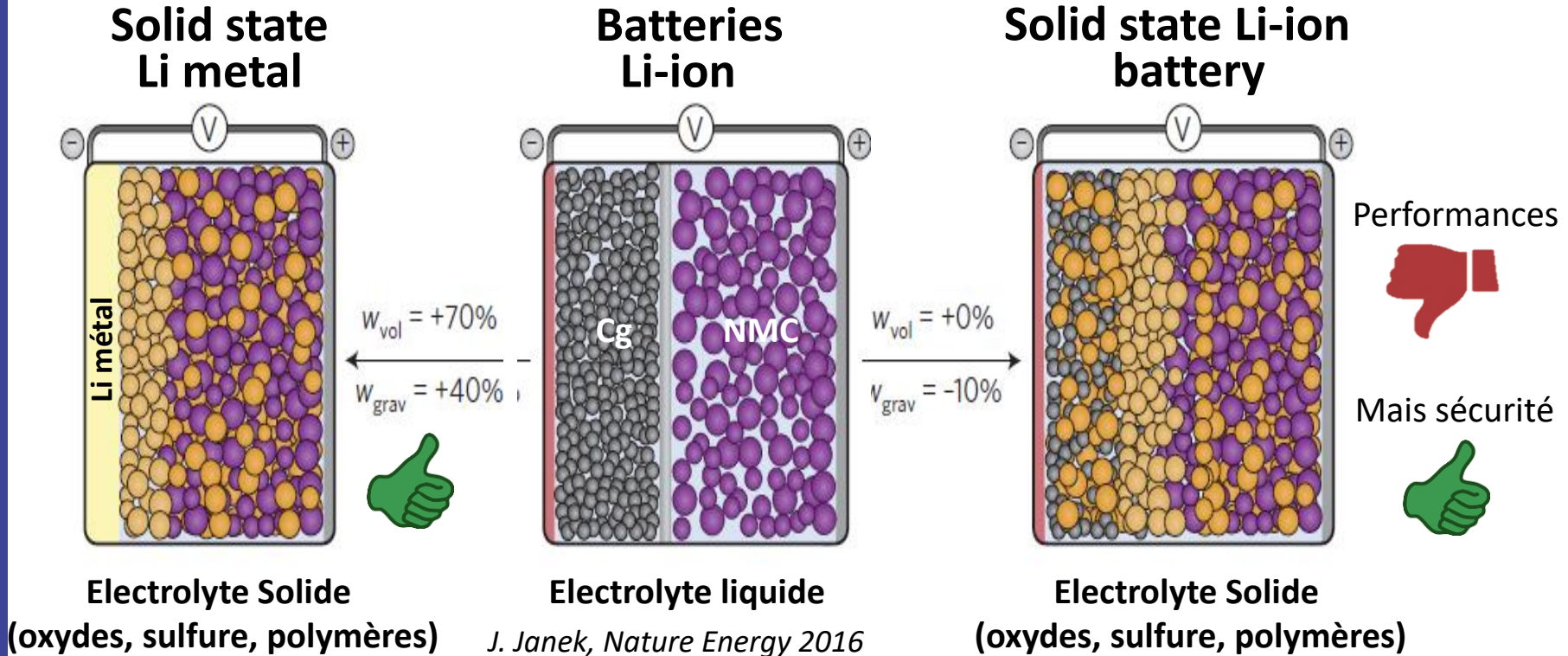
3. Batteries "Tout Solide"

Why solid state Li-ion batteries since no performance gain?



→ Replacing liquid electrolyte with solid-state improve safety

3. Batteries "Tout Solide"



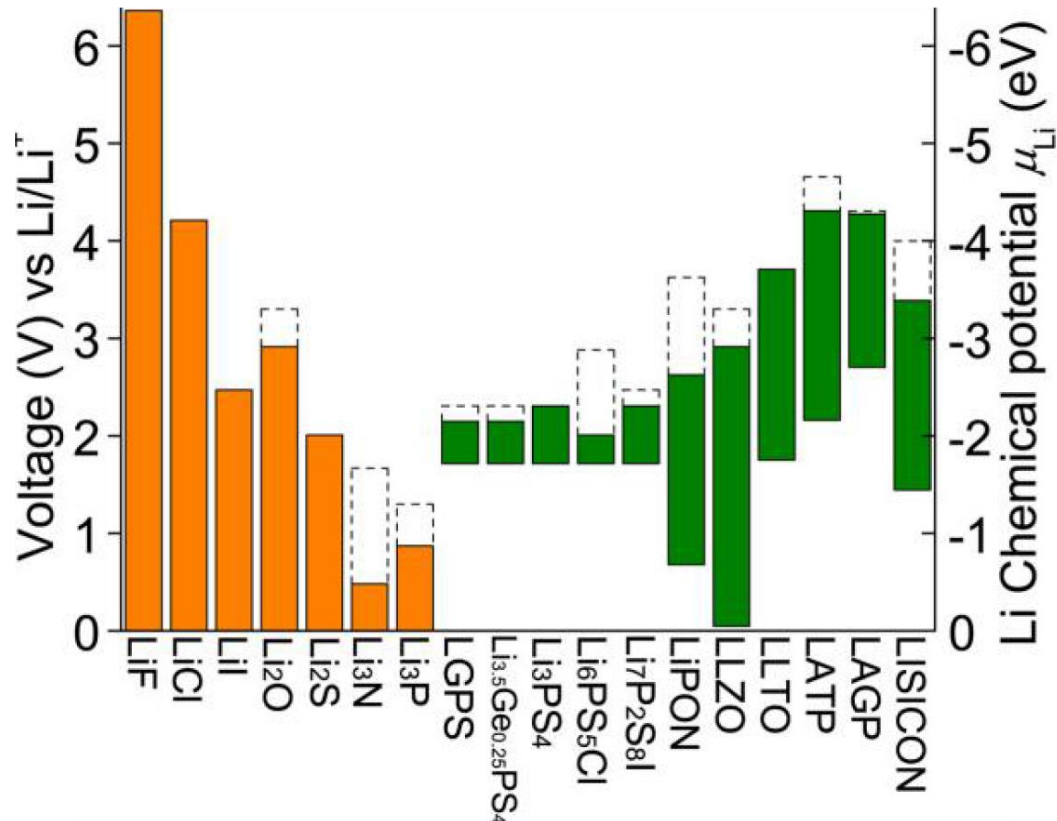
→ Densité d'énergie augmentée (Wh/L et Wh/kg) avec anode Li métal

Mais :

- i) Maîtriser *l'interface Li métal / ES*
- ii) Stabilité électrochimique et mécanique des ES : *interfaces*

MAIS

- i) les électrolytes solides oxydes pas stables thermod. vs Li métal
- ii) électrolytes sulfures pas stables à la positive



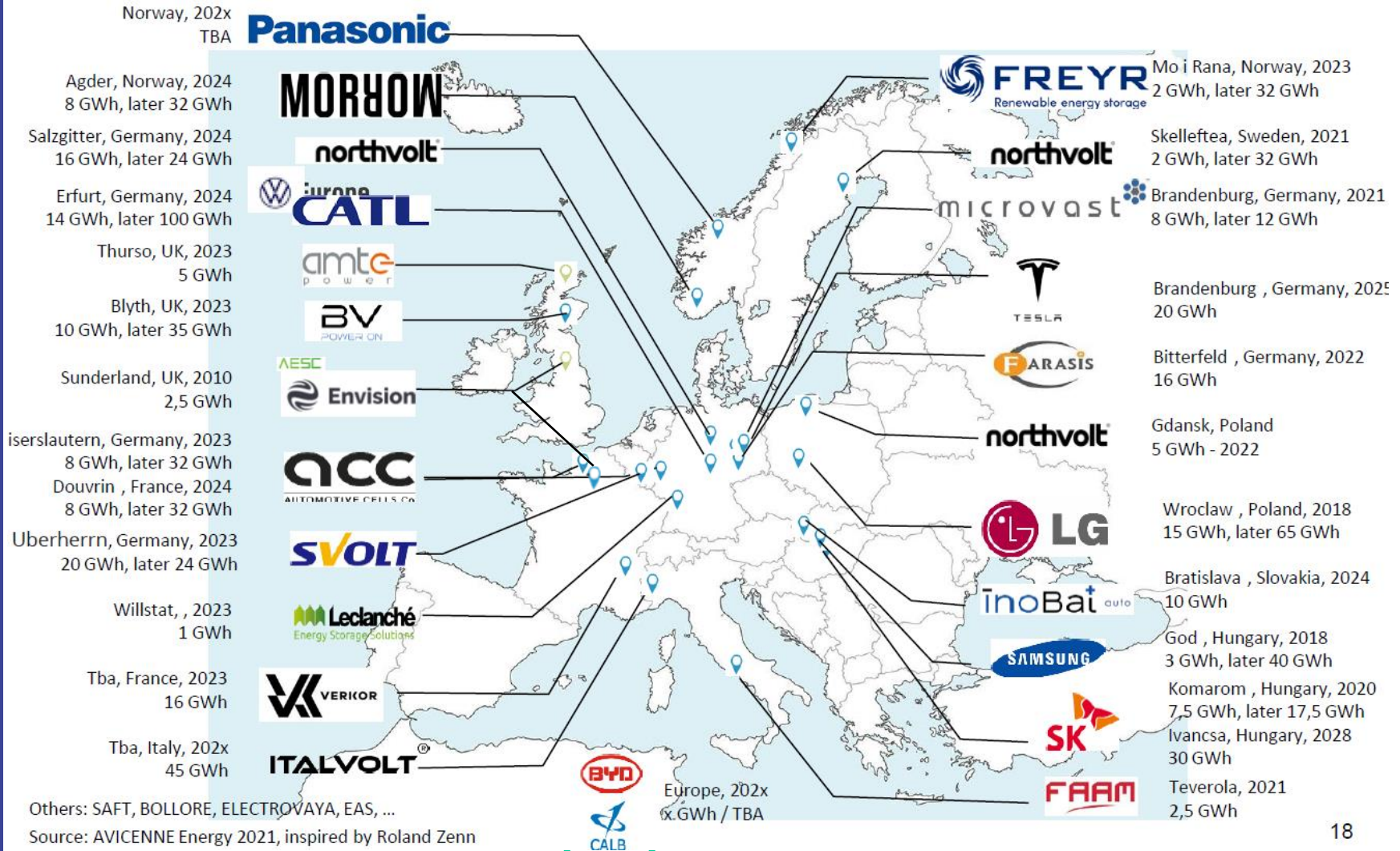
- Déposer des couches tampons pour maîtriser les interfaces
- Contrôler les variations de volume

Batteries « tout solide » : défi important...

4. Capacité de production en EU

EU battery needs in 2025:

- ~200 billions euros market
- need 15 to 25 Gigafactories (~25 billions €) to produce ≈ 500 GWh in 2028 (for EU only)



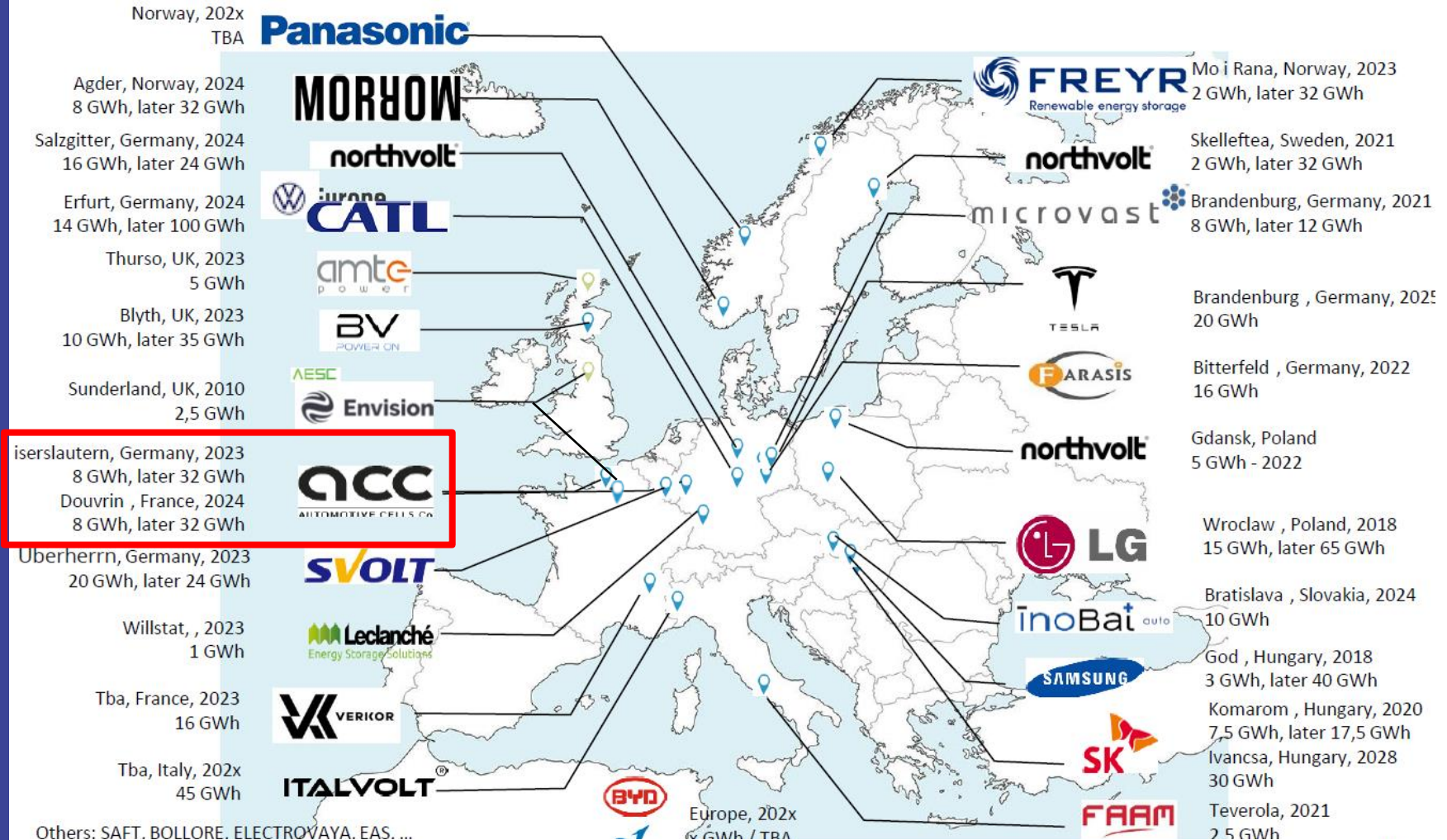
Majorité des gigafactories : industriels asiatiques...

Source : Ch. Pillot, Avicenne (2021)

4. Capacité de production en EU

EU battery needs in 2025:

- ~200 billions euros market
- need 15 to 25 Gigafactories (~25 billions €) to produce ≈ 500 GWh in 2028 (for EU only)



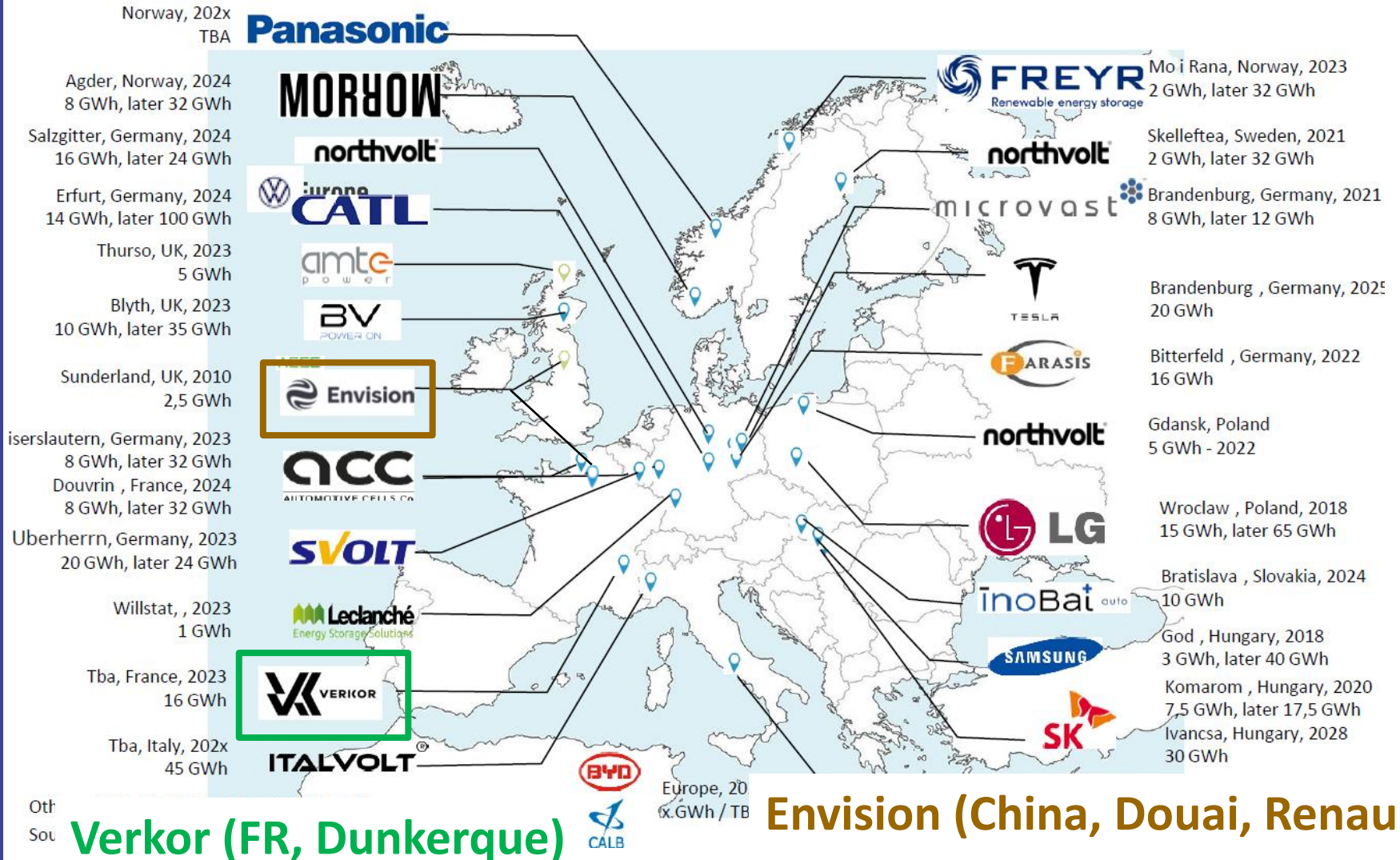
MAIS initiative Européenne : création de ACC (Saft/Stellantis)

Source : Ch. Pillot, Avicenne (2020)

4. Capacité de production en EU

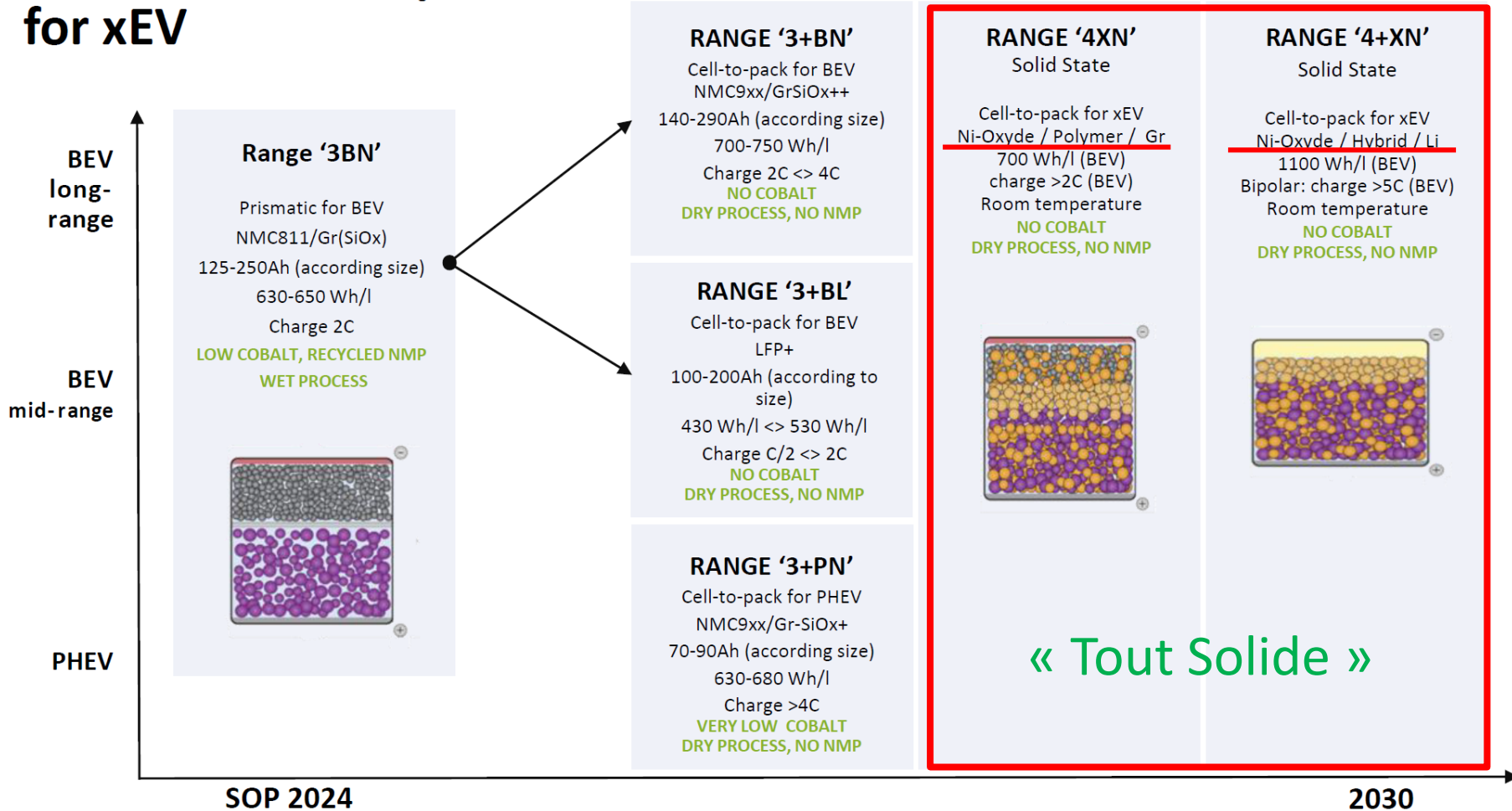
EU battery needs in 2025:

- ~200 billions euros market
- need 15 to 25 Gigafactories (~25 billions €) to produce ≈ 500 GWh in 2028 (for EU only)

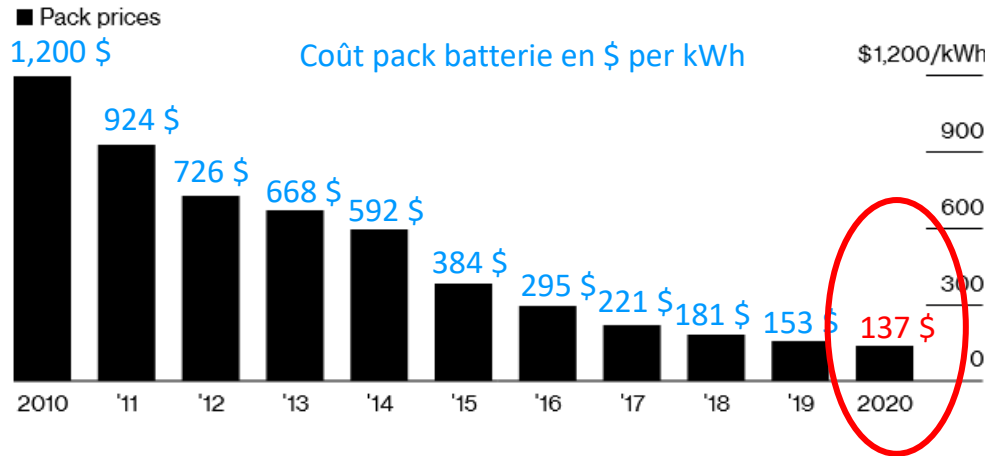


4. Capacité de production en EU

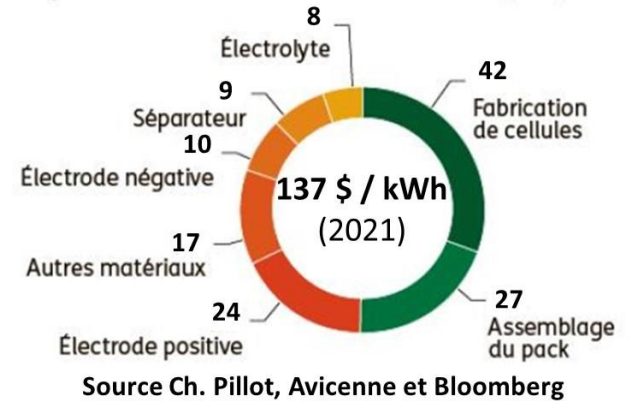
ACC Cell Roadmaps for xEV



5. Production des batteries Li-ion : coût (1)



Répartition des coûts d'une batterie Li-ion en \$ par kWh

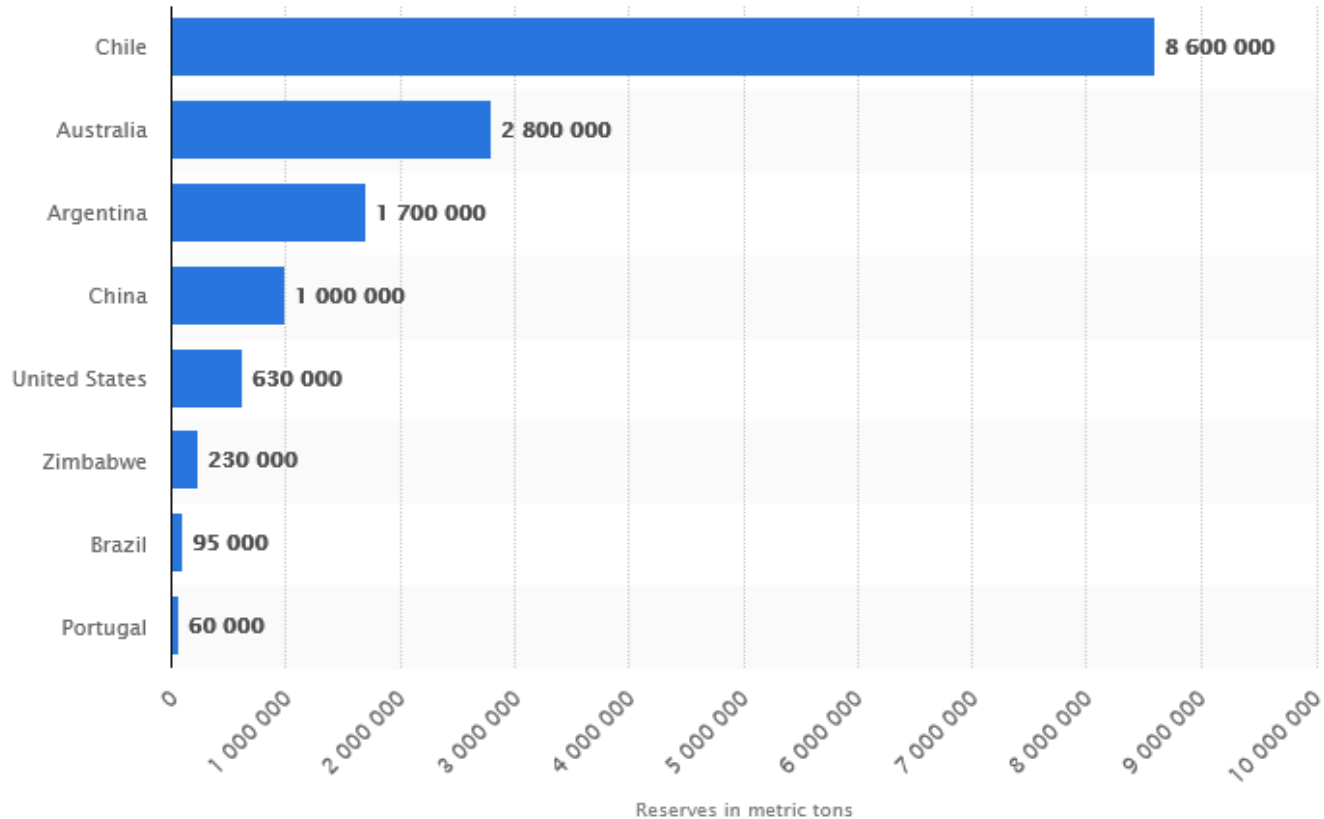


Coût de la technologie Li-ion divisé par 2 depuis 2015 (en cours...)

Nouvelles chimies doivent être aussi performantes en termes de coûts

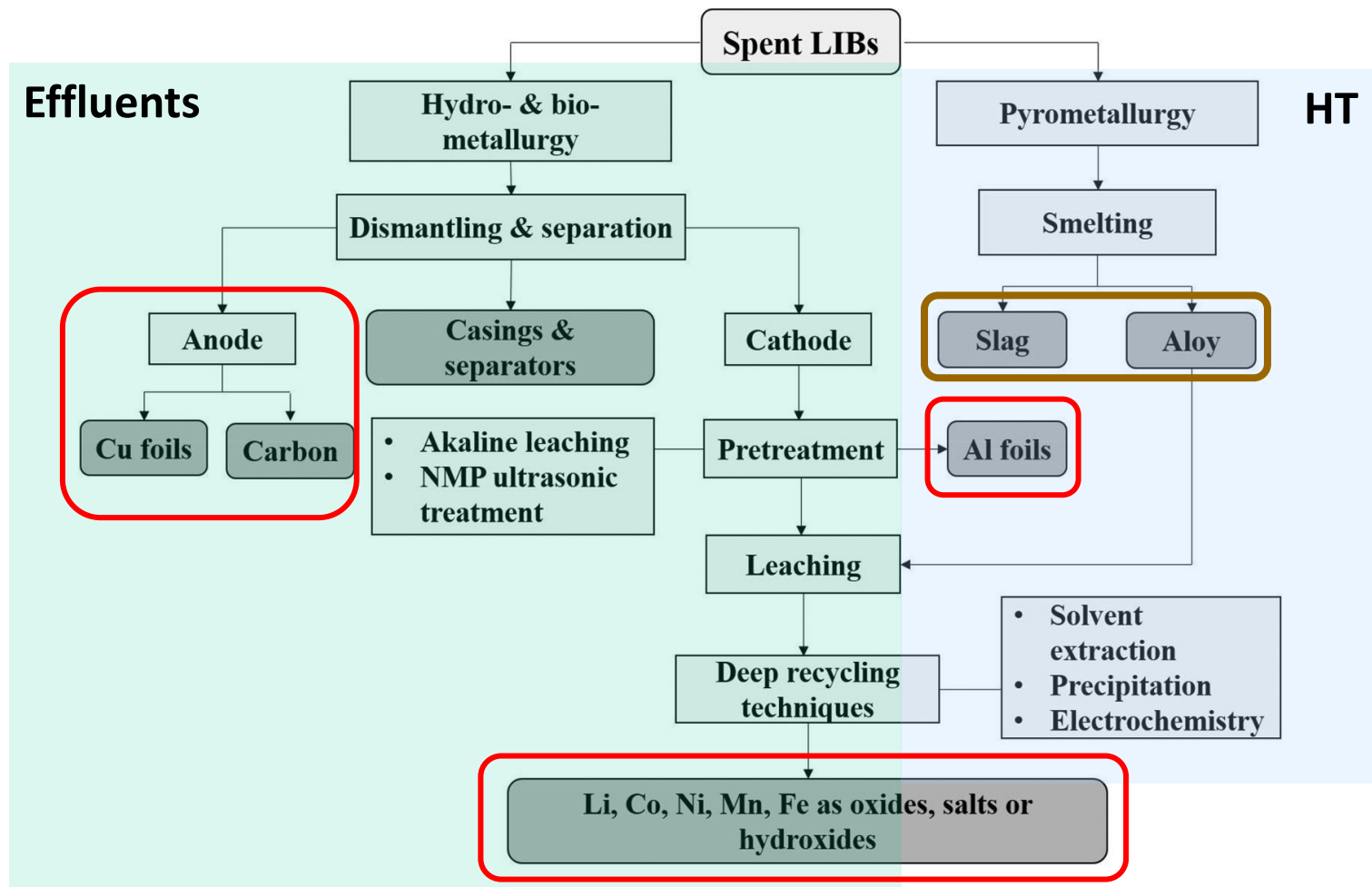
La technologie Li semble être installée pour une longue période

Réserves de Lithium dans le monde (tonnes)



- ✓ Réserves conséquentes MAIS Amérique du Sud, Australie, Chine
- ✓ Sécuriser l'approvisionnement (Cf Rapport Varin Métaux critiques)
 - Première ressource : la mine urbaine (recyclage)
 - Seconde vie des batteries de voiture (réseau, stationnaire)

Deux procédés existants : hydrométallurgie et pyrométallurgie



Country	Company	Process	Capacity (tpy)	Product
Germany	Accurec	Mechanical, electric furnace	6 000 (e)	Co alloy, Li ₂ CO ₃
Finland	AkkuSer and Boliden	Mechanical for copper refining by Boliden	4 000 (e)	Copper, black mass
Germany	Duesenfeld	Combination of mechanical and hydrometallurgical (LithoRec process based)	3 000 (e)	Co, Ni, Mn as active materials
Austria	Neometals	Mechanical and hydrometallurgical	Lab scale	Possible recovery of Co, Ni, Cu, Li, Gr
Germany and Austria	Redux	Mechanical and hydrometallurgical	10 000 (e)	Plastics, Fe, Cu, Al
France	SNAM	Pyrometallurgy	300 (e)	Black mass (Co, Cu, Ni)
Belgium	Umicore	Pyrometallurgy and hydrometallurgy	7000	Co, Ni, Cu chemicals
Sweden	uRecycle	Mechanical	na	Black mass
United-Kingdom	AEA Technology	Hydrometallurgy	na	na
United-Kingdom	G&P Batteries	na	na	na
France	Euro-dieuze	Hydrometallurgy	200	na
France	Eramet	Pyrometallurgy	20 000	Ferro-nickel/ Ferro-manganese alloy

Note: (e) = estimate ; na = not available

Source: Lebedeva et al, 2017; Dallöf et al, 2019; Lv et al., 2018; Neometals, 2019; Redux, 2019; Umicore, 2019; uRecycle, 2019

La filère recyclage : fort développement (+ Northvolt)

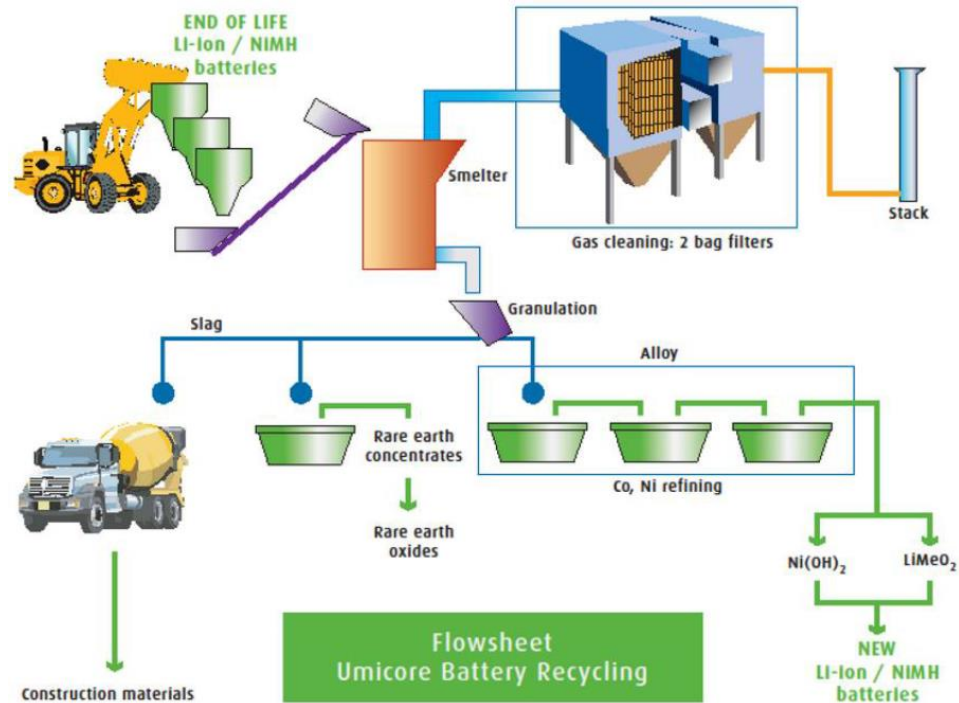
UMICORE (matériaux positifs) : leader dans le domaine

France active (plus Orano, Solvay) Recycling of Li-ion batteries, R. Danino-Perraud, IFRI March 2020

5.3 Production des batteries : Recyclage

UMICORE recycling process : mixed Hydro-Pyro process

Figure 3 : Umicore recycling process



Source: Elwert et al, 2015.

Recovery rate of Co, Ni, Cu : up to 95%

5.4 Production des batteries : empreinte CO₂

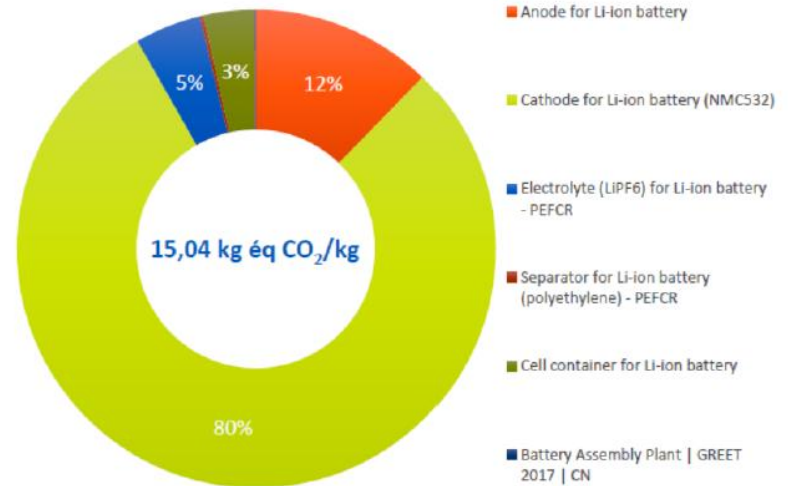
Bilan environnemental d'une batterie Lithium ion (model ACV EDF – outil Simapro)

outil Simapro)



Bilan GES de la cellule

L'évaluation GWP de la fabrication de la cellule (kg éq CO₂/kg)



Le bilan GES de la fabrication d'un kWh de capacité de stockage est de 83 kg éq CO₂ (hors infrastructure).

Moins de 40 kg eq CO₂ par kWh possible en Europe en utilisant énergie décarbonée sur tout la chaîne de fabrication, inclus en particulier celle des matériaux précurseurs

5.4 Production des batteries : empreinte CO₂

Batteries: empreinte CO₂

- L'étude suédoise (IVL) de 2017: **150-200** kgCO₂/kWh – très critiquée- a été refaite fin 2019 et donne: **61-106** kgCO₂/kWh
- Batterie 2018, Li NMC622: **96** kgCO₂/kWh de capacité dont:
 - 61 kgCO₂ minerais, autres matériaux et fabrications des poudres
 - 35 kgCO₂ fabrication des cellules, modules et pack (avec électricité de Corée comptée à 602g/kWh)
- Batterie 2019, Li NMC811: **87** kgCO₂/kWh fab. Chine
66 kgCO₂/kWh si fab. France
- 2020-24? **40** kgCO₂/kWh si fab. Suède, économie d'échelle, meilleure densité, faible Cobalt, meilleur mix energie pour minerai et poudres.

→ **Concordance des chiffres avec étude précédente**

5.4 Production des batteries : durée de vie

Jeff Dahn, Dalhousie University (also Scientific Advisor, Tesla)

Journal of The Electrochemical Society, **166** (13) A3031-A3044 (2019)

A3031



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}

¹Department of Physics and Atmospheric Science, Dalhousie University, Halifax, N.S B3H 4R2, Canada

²Department of Chemistry, Dalhousie University, Halifax, N.S B3H 4R2, Canada

We present a wide range of testing results on an excellent moderate-energy-density lithium-ion pouch cell chemistry to serve as benchmarks for academics and companies developing advanced lithium-ion and other “beyond lithium-ion” cell chemistries to (hopefully) exceed. These results are far superior to those that have been used by researchers modelling cell failure mechanisms and as such, these results are more representative of modern Li-ion cells and should be adopted by modellers. Up to three years of testing has been completed for some of the tests. Tests include long-term charge-discharge cycling at 20, 40 and 55°C, long-term storage at 20, 40 and 55°C, and high precision coulometry at 40°C. Several different electrolytes are considered in this LiNi_{0.5}Mn_{0.3}Co_{0.2}O₂/graphite chemistry, including those that can promote fast charging. The reasons for cell performance degradation and impedance growth are examined using several methods. We conclude that cells of this type should be able to power an electric vehicle for over 1.6 million kilometers (1 million miles) and last at least two decades in grid energy storage. The authors acknowledge that other cell format-dependent loss, if any, (e.g. cylindrical vs. pouch) may not be captured in these experiments.

© The Author(s) 2019. Published by ECS. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License (CC BY, <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse of the work in any medium, provided the original work is properly cited. [DOI: 10.1149/2.0981913jes]



La durée de vie des batteries > 400,000 km

RADICAL REDESIGNS

| NATURE | VOL 507 | 6 MARCH 2014

Lithium-ion batteries are today's best choice for portable, rechargeable applications. Better batteries could be made by changing the electrodes, the electrolyte or the charge-carrying ions. Researchers are also pursuing other designs.

LITHIUM-ION BATTERY

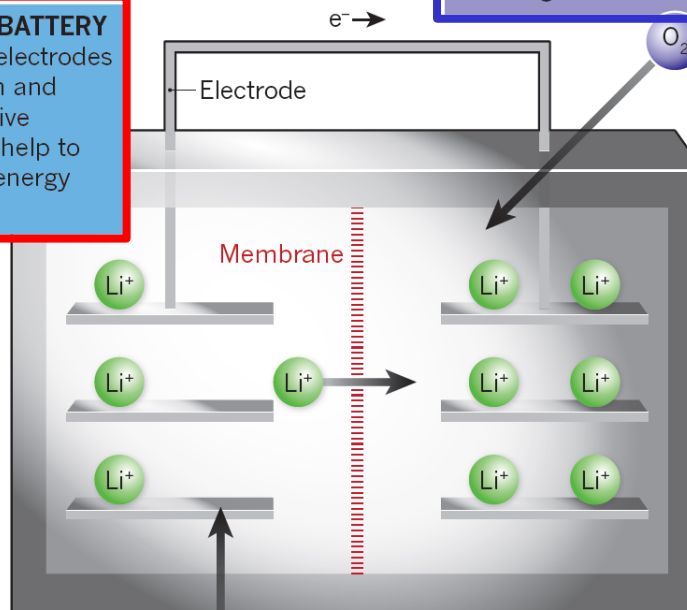
A chemical energy gradient drives lithium ions through a membrane from a graphite electrode to a metal oxide one, causing electrons to flow around a closed circuit.

LI-SULPHUR BATTERY

Changing the electrodes to solid lithium and chemically active sulphur could help to pack in more energy per kilogram.

LITHIUM-OXYGEN

Batteries that pull in oxygen from the air could pack a serious punch, if major technical challenges can be overcome.



2,4V ; 400 Wh.kg⁻¹
Pré-séries
(mais puissance,
auto-décharge)

Un rêve...

Aujourd'hui :
Négative pas stable, électrolyte ?

MAGNESIUM-ION BATTERY

Redesigning the electrodes and replacing the lithium with heavier ions that carry more charge, such as magnesium, could double the energy carried per volume.

LiS la plus mature de ces nouvelles chimies ; Li-air : à oublier

Le Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E): 2011



Direction : J.-M. Tarascon , P. Simon

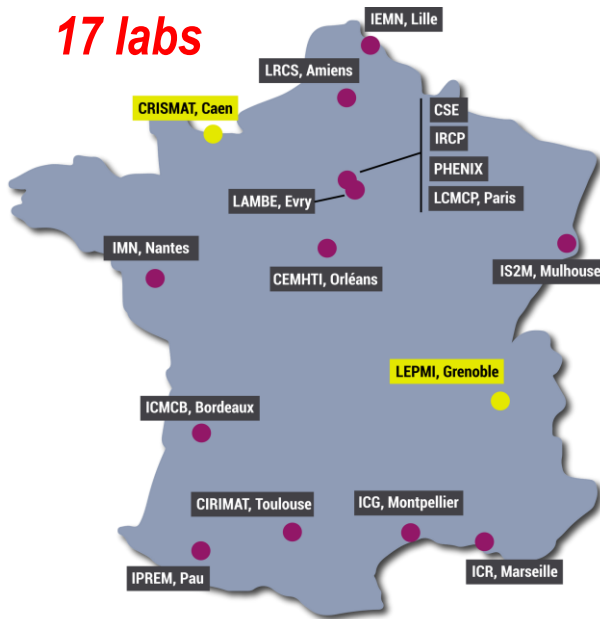


Liberté - Égalité - Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

De la recherche amont vers l'industrie

17 labs



18 Industriels

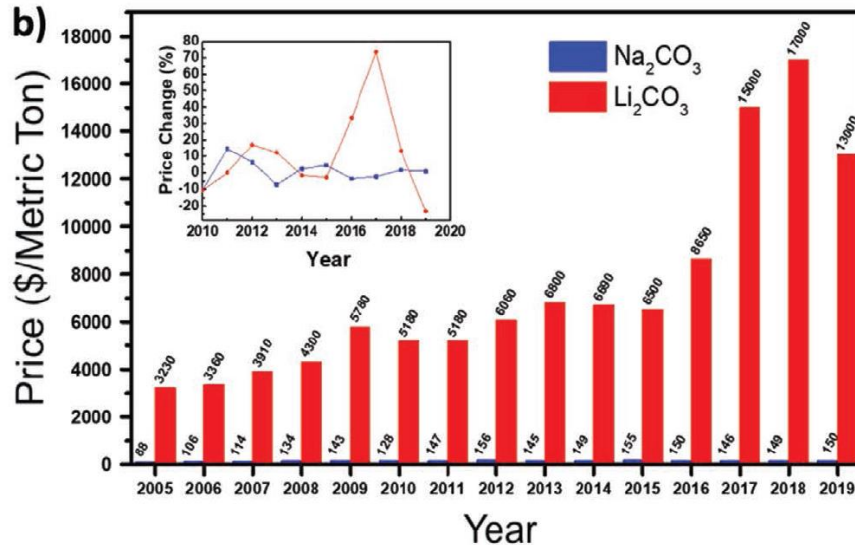


3 centres de transfert

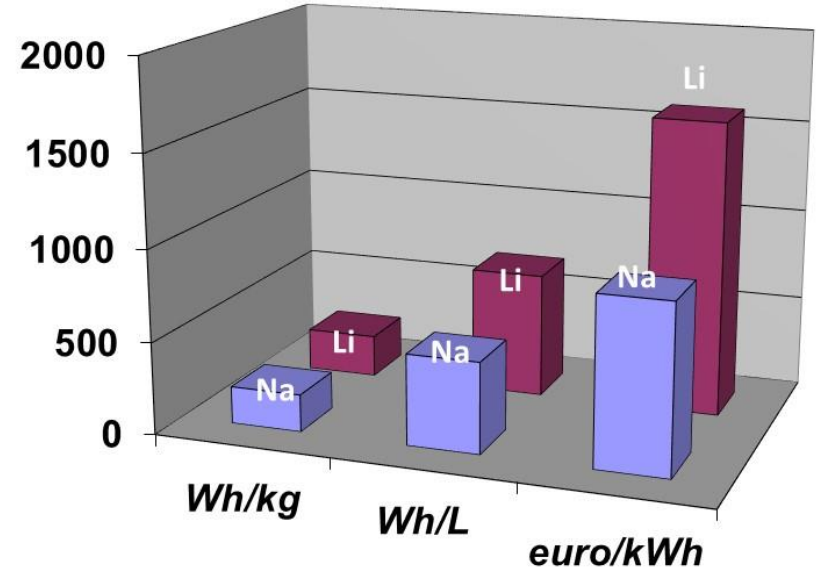


3. Autre chimies : Na-ion ?

« Le sodium seul se consomme, et la mer me le fournit elle-même. Je vous dirai, en outre, que les piles au sodium doivent être considérées comme les plus énergiques, et que leur force électro motrice est double de celle des piles au zinc. » Jules Verne, 20.000 lieux sous les mers (1869))



Hirsh et al., Adv. Energy Mater. 2020, 2001274



Abondance :

$$\text{Na}^+ = \text{Li}^+ \times 10^5$$

Prix :

Li₂CO₃ : 0,9 euro/kg

Na₂CO₃ : 0,08 euro/kg

Potentiel :

Li⁺/Li : -3.05 V

Na⁺/Na : -2.71V

Capacité :

Li⁺/Li : 3860 mAh/g

Na⁺/Na : 1166 mAh/g

→ Alternative Li-ion, coût, abondance mais ~-40% densité d'énergie vs Li ion

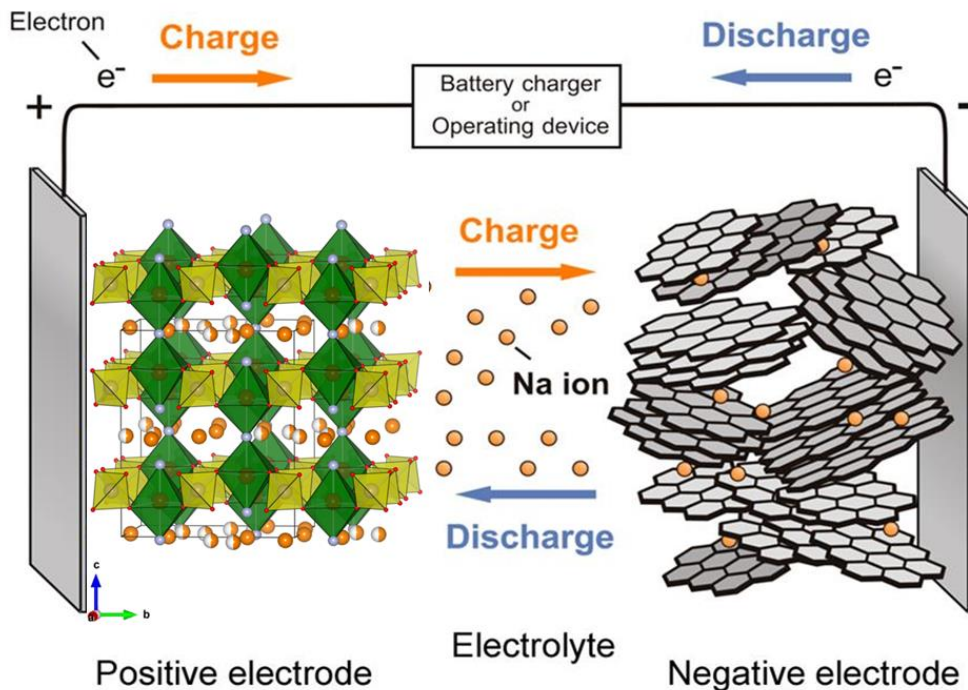
→ Recharge rapide ; stockage 0V ; puissance élevée



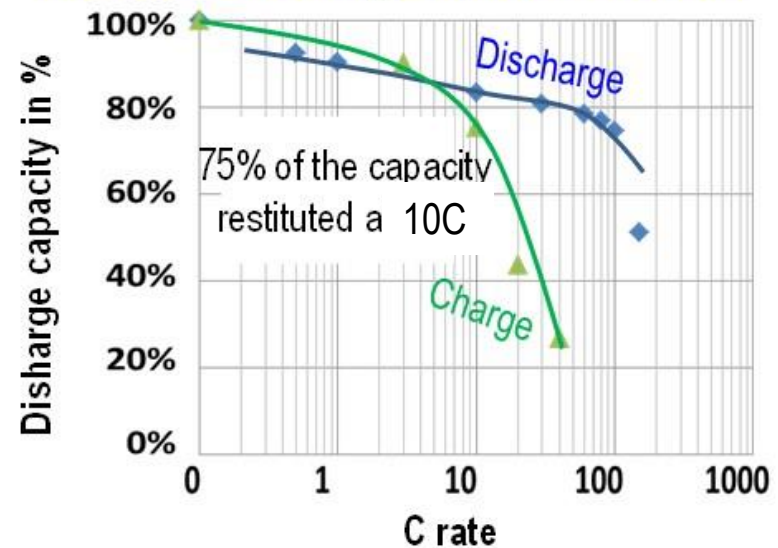
TIAMAT

6. Autre chimies : Na-ion

TIAMAT Na-ion (2018): patented chemistry



Vitesse de recharge C/NVPF Na-ion



- 120 Wh/kg
- 3,000 cycles
- 80% @ 10C
- Stockage 55°C

Fabrication des 18650 Na-ion au HUB de l'Energie (RS2E)

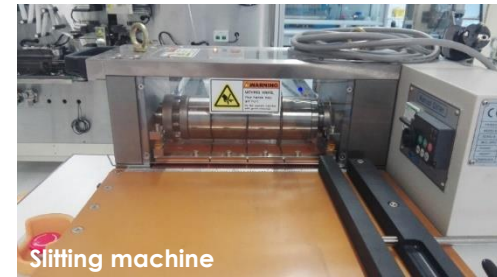
Coating machine



Calendering machine



Slitting machine



Winding machine



A dry Room



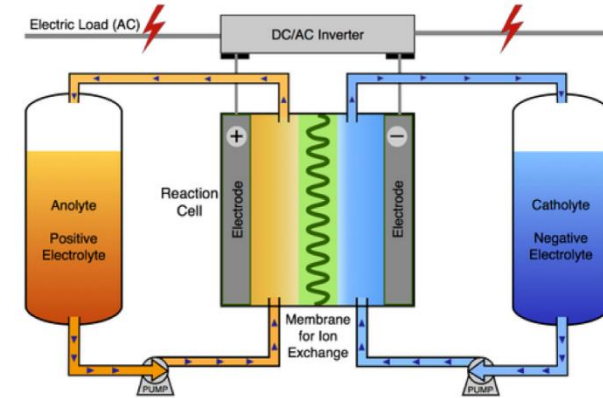
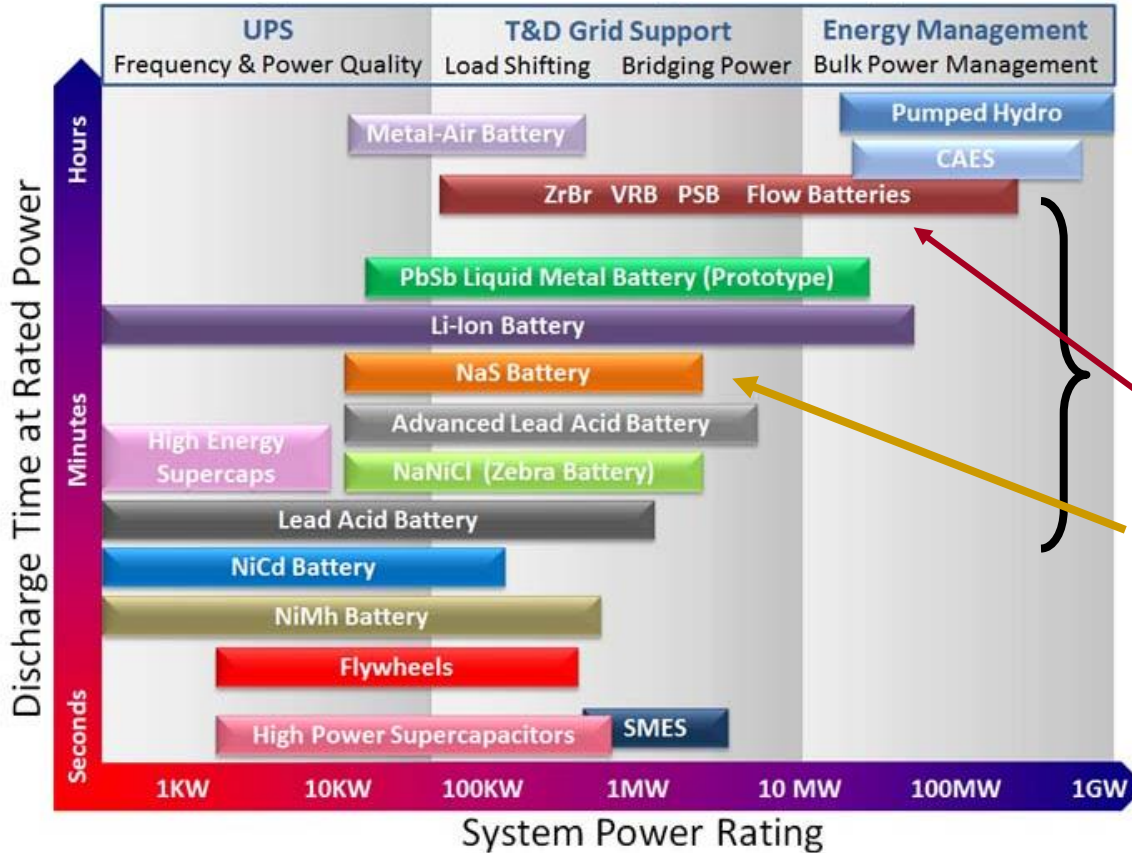
Electrochemical Testing



Mixing machine



Et le stationnaire ?



- Plomb acide
- Li-ion
- Redox Flow (réservoirs, rédox solubles)
- Na-S (T=300°C, sodium et soufre liquide, sép. = β -Al₂O₃)



E=2V, 220 Wh/kg
4,500 cycles

Spécificités du stockage stationnaire (Wh.kg⁻¹ ou Wh.L⁻¹
pas pertinent, mais coût par cycle, maintenance...)
→ opportunités pour d'autres chimies

Résumé

Technologie Li-ion en forte progression :

- performance (300 Wh/Kg aujourd'hui, 350 max)
- coût : \$150 par kWh pack (\$100 par kWh en 2025)

Au-delà de 350 Wh/kg, nécessité de rupture

- Li métal tout solide MAIS interfaces (hybrides)
- Projet EU IPCEI « Airbus des Batteries »
 - Gigafactories en Fr et All : ACC; Verkor
 - Tout Solide sulfure / polymère / hybride

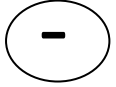
Nouvelles Chimies :

- LiS (Wh par kg élevé mais Wh/L, puissance limités)
- Batteries Na-Ion (puissance)
- Li-air : Non ; Mg-, Ca-ions : TRL 1-3

La technologie Li est là pour longtemps

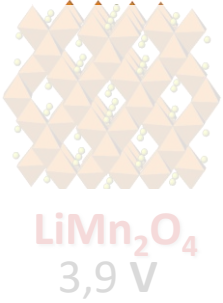
MERCI POUR VOTRE ATTENTION

2.3 "Les" Technologies Li-ion : anode LTO



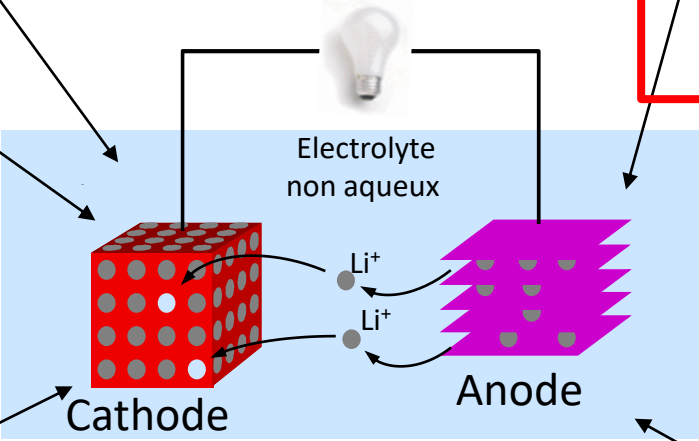
Lamellaires

NCA, NMC
3,6V - 4,2V

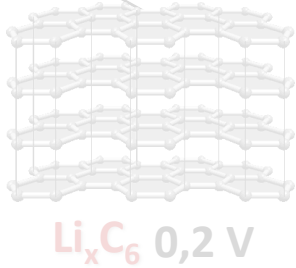
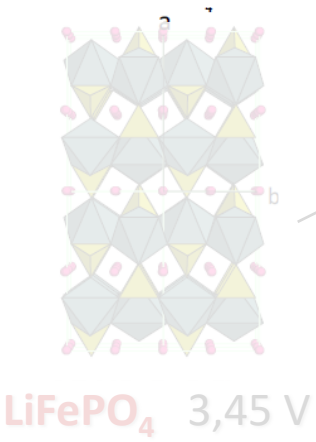


Energie
100 Wh/kg
Recharge rapide
(10 minutes)

Li₄Ti₅O₁₂
1,5 V vs Li
(P ↗, E ↘)



- Caractéristiques:**
- Tension 2,2 V
 - Forte puissance
 - Charge rapide
 - MAIS énergie limitée

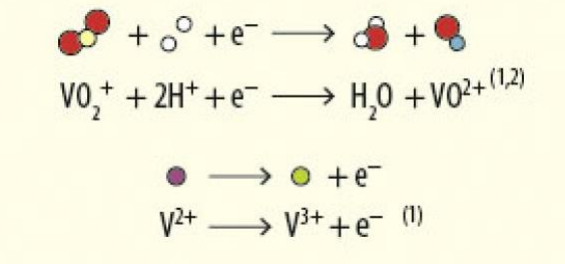
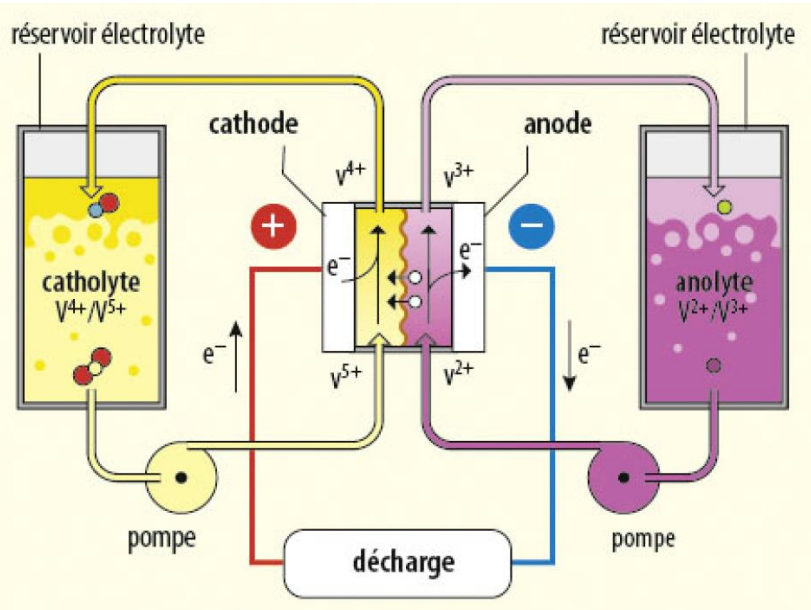


MATERIAL SUPPLY IN EUROPE



3. Autres chimies

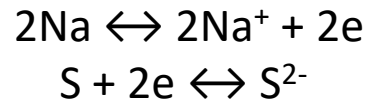
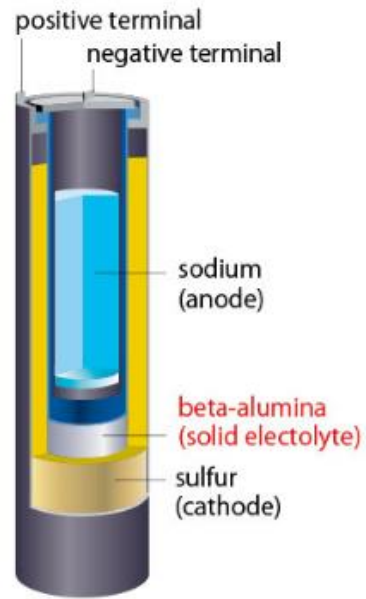
• Batteries à circulation (Vanadium)



$\Delta E=1,2V$, 15-30 Wh/kg, 10,000 cycles

- 😊 + Réservoir : énergie 😞 - Membrane ; solubilité
- 😊 + Puissance : collecte 😞 - Pompe (corrosion)

• Na-S (T=300°C)

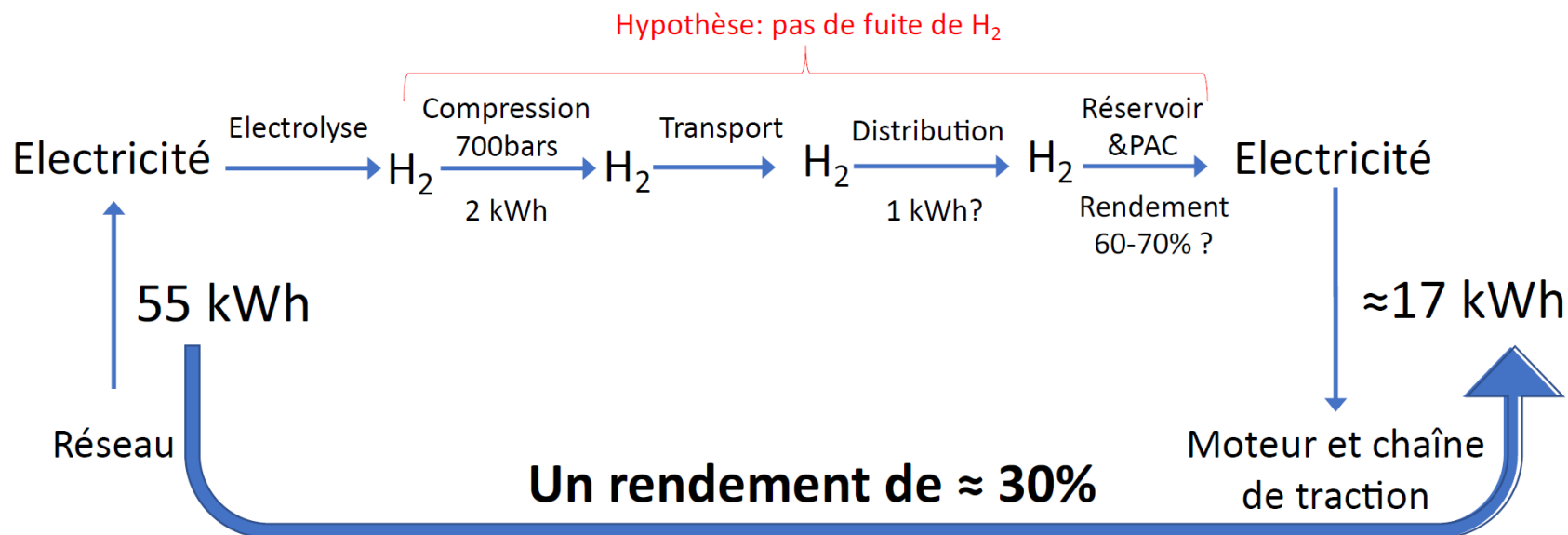


$\Delta E=2V$, $W \approx 200$ Wh/kg, 4,500 cycles

- 😊 densité $W \nearrow$ et $P \nearrow$ 😞 Température
- 😊 + auto-décharge 😞 - Sécurité

5.4 Batteries : comparaison batteries / piles à combustibles

De l'électricité à l'électricité via 1kg de H₂



Un « système réservoir » qui perd 70% de l'énergie fournie

2.3 Les batteries : de quoi parle-t-on ?



Audi e-tron55 quattro

BEV (Battery Electric Vehicle) de 2600 kg

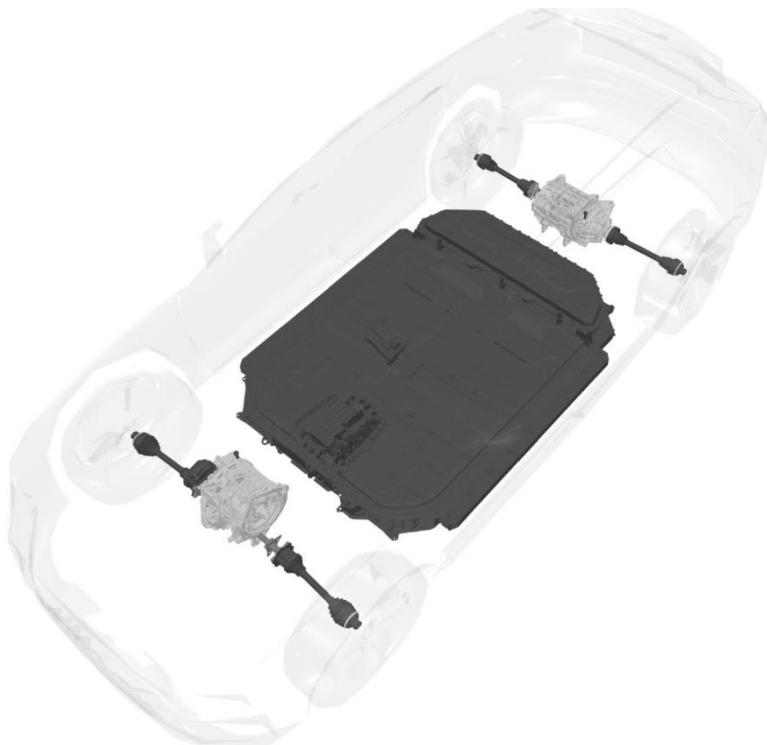
Batterie de 95 kWh, 245 Ah

300 kW (\approx 400 chevaux)

De 0 à 100 km/h en 5.7 s

Autonomie: \approx 400 km (WLTP)

A partir de 83 000 €



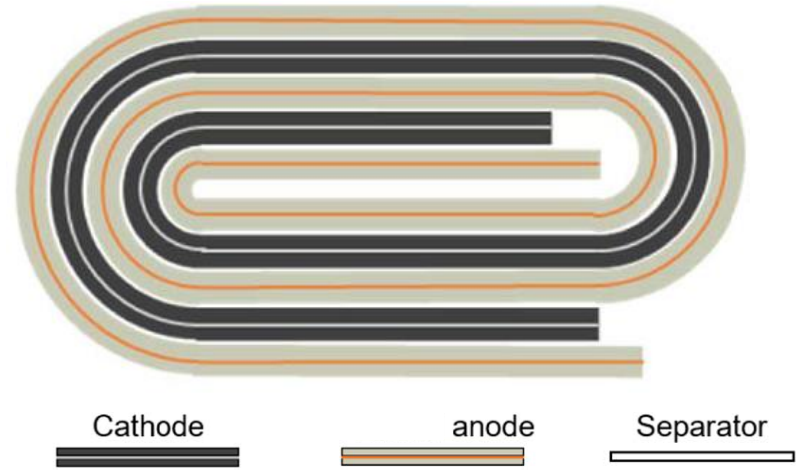
95 kWh - 245 Ah – 681 kg

36 modules de 12 cellules (432 au total)

108S 4P (388.8 V nominal)

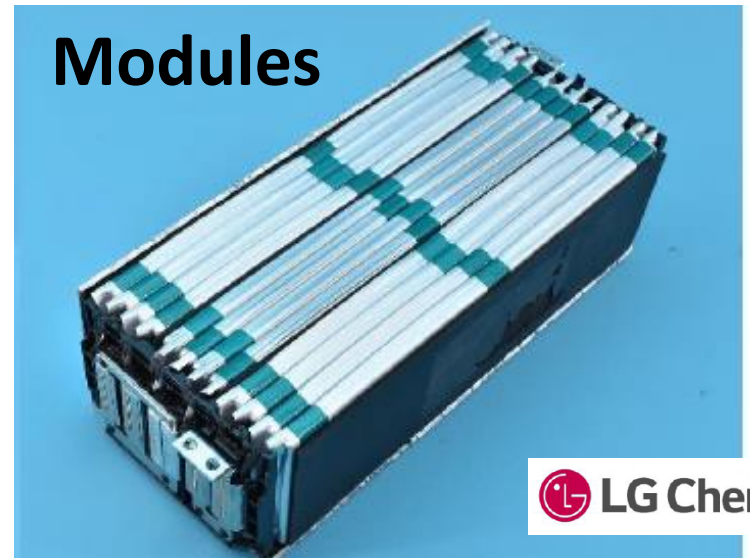
2.3 Les batteries : exemple

Prismatic winding



Cellule 60 Ah, 3,7 V

Modules



3 Cellules en Série, 4 en Parallèle
Module : 11 V, 240 Ah

Batteries de 400 V - 250 Ah?

2.3 Les batteries : de quoi parle-t-on ?

Exemple → 36 modules en série
432 cellules : 108 série, 4 Parallèle
396 V, 95 kWh, 240 Ah, 681 kg



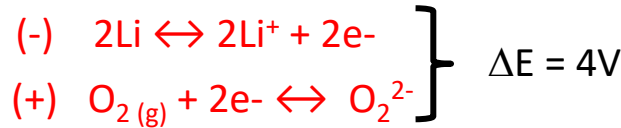
Modules

Courtesy of A2MAC1, RS2E

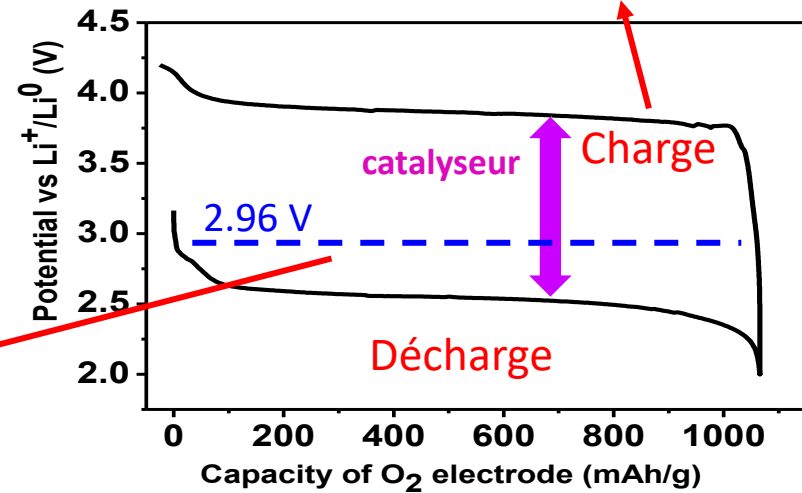
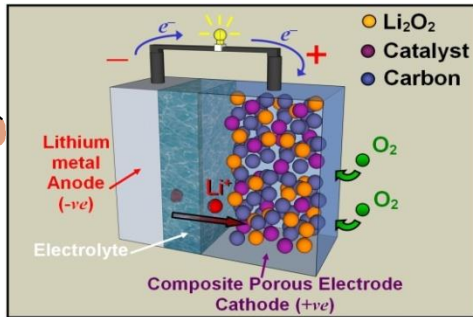
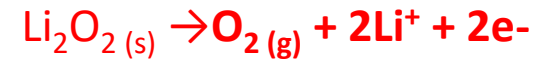
1.3 Perspectives : Batteries Li-O₂ :

K. M. Abraham, Z. Jiang, *J. Electrochem. Soc.* 143 1 (1996)
 T. Ogasawara et al. *J. Am. Chem. Soc.* 128 1390 (2006)

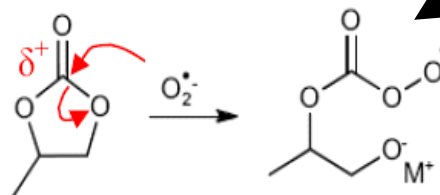
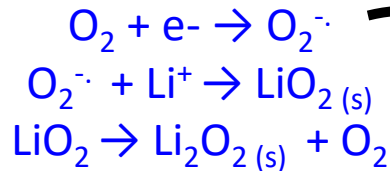
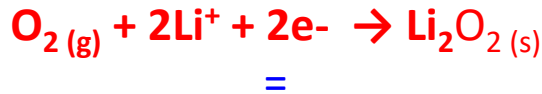
E Théor : 2300 Wh/kg



MAIS



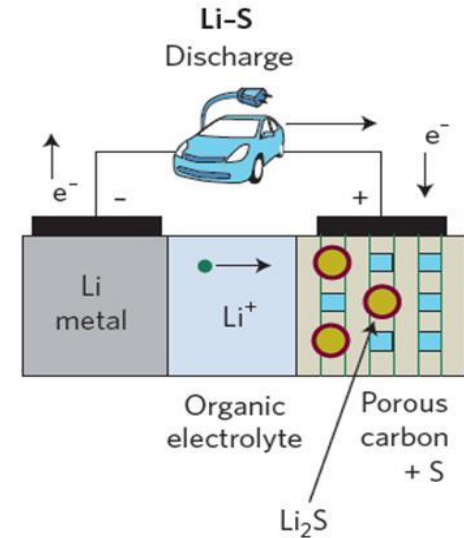
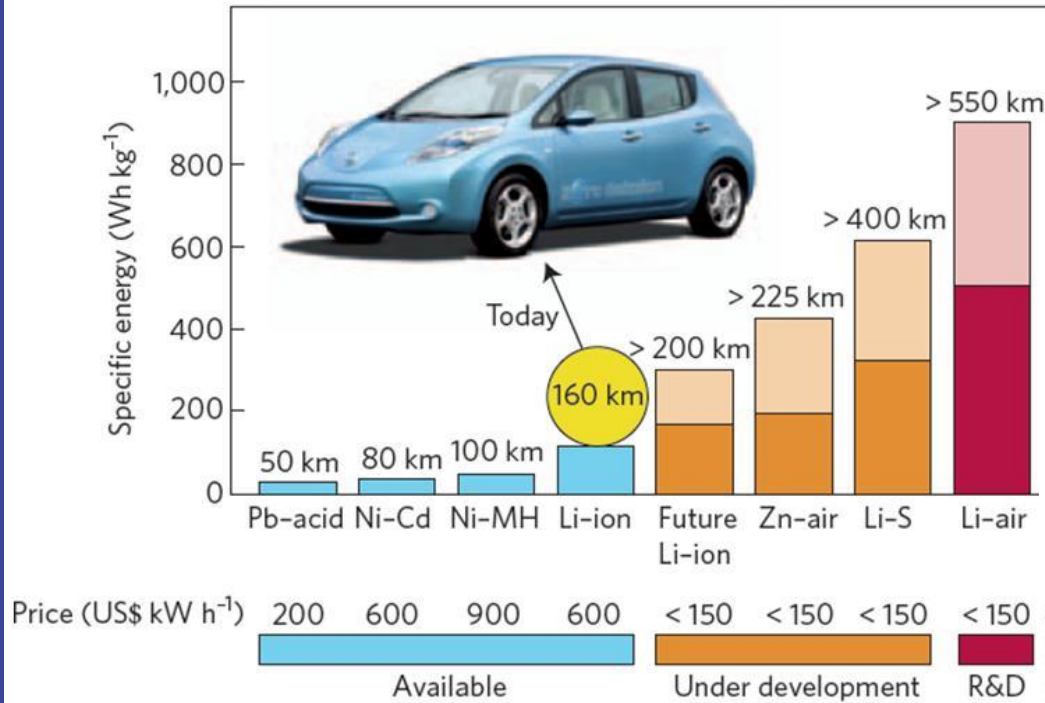
Potentiellement : 800-900 Wh/kg



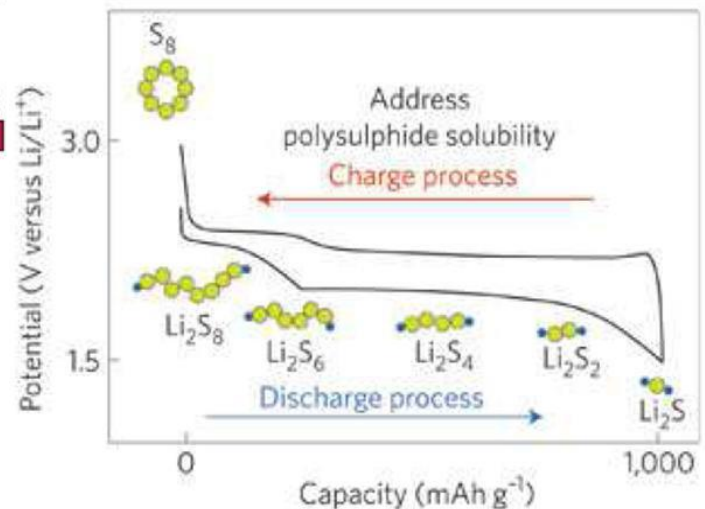
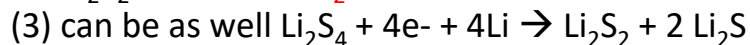
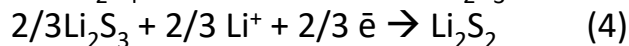
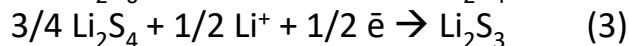
- ☞ Instabilité Li⁰ ; polarization
- ☞ Faible cinétique de la réaction
- ☞ réaction G + L → S ; Faible Puissance
- ☞ Précipitation de Li₂O₂
- ☞ Faible tenue en cyclage
- ☞ Choix du catalyseur + matériau poreux

1. Perspectives : quelles technologies pour le futur ?

● Batteries Li-S :

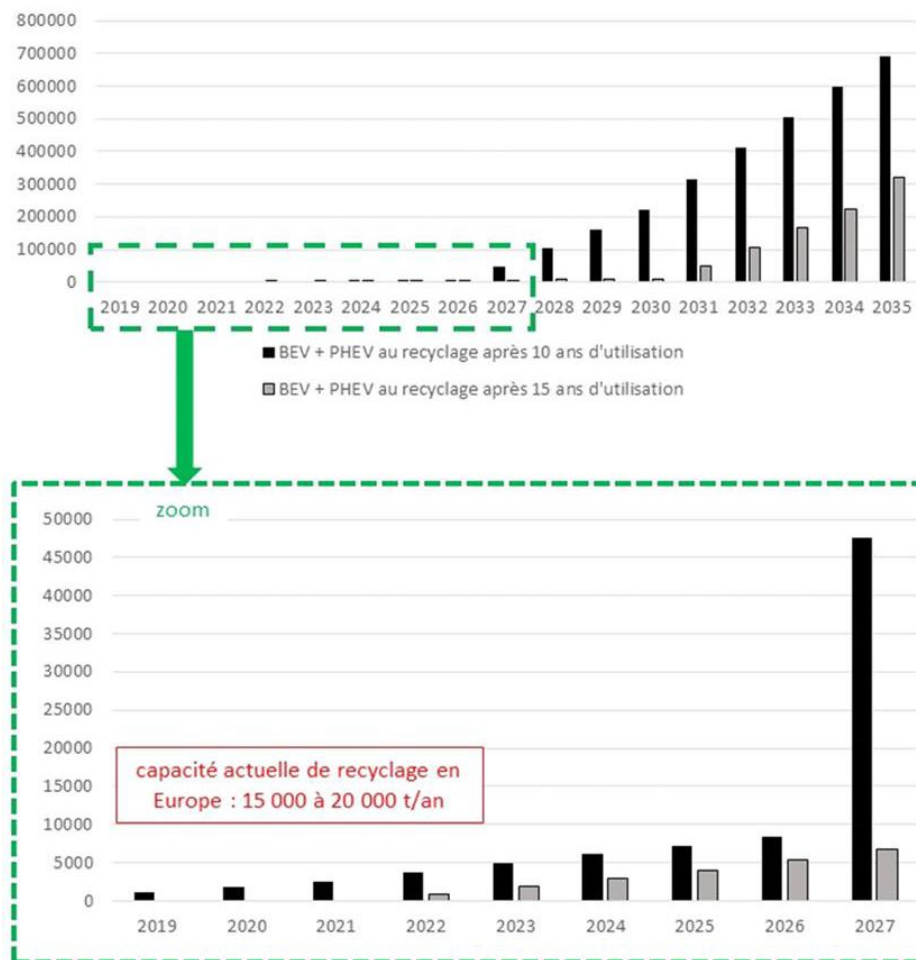


Reactions at the cathode schematically described as follows:



5.3 Production des batteries : Recyclage

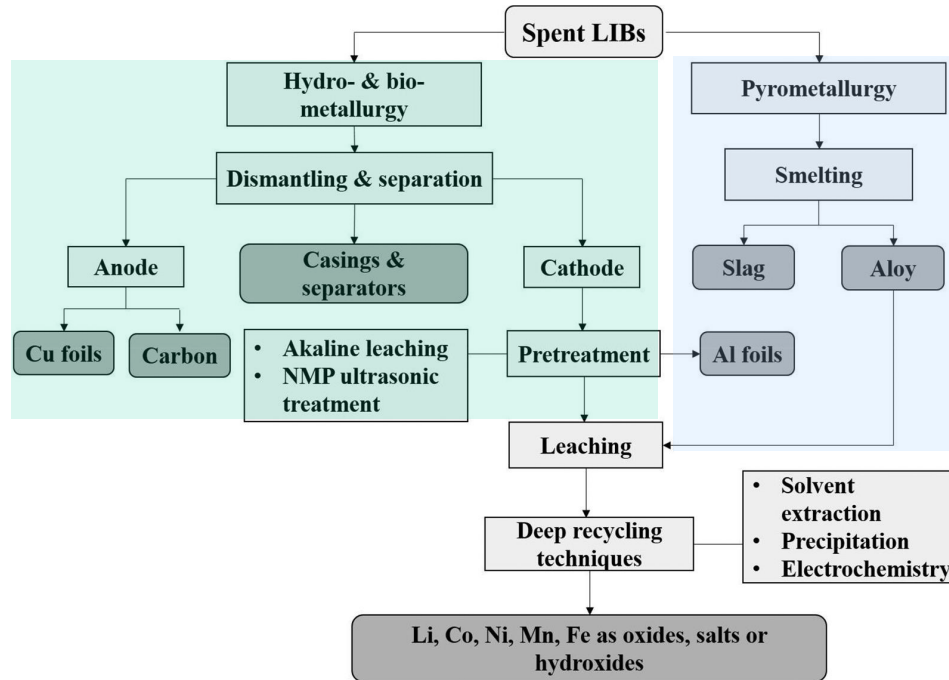
Tonnes de batteries (BEV et PHEV) arrivant en recyclage



Anticiper l'afflux massif de batteries au recyclage dès 2027

5.3 Production des batteries : Recyclage

Deux procédés existants : hydrométallurgie et pyrométallurgie



Hydrométallurgie

- Récupération métaux, pas d'émission gazeuse
- Récupération Li et C, Rendement recyclage élevé
- Pureté des métaux récupérés

mais

- Plusieurs étapes, démontage, dépendant de chimie
- Consommation d'eau et traitement des effluents

Pyrométallurgie (HT)

- Simple (démantèlement)
- Production d'un alliage métallique

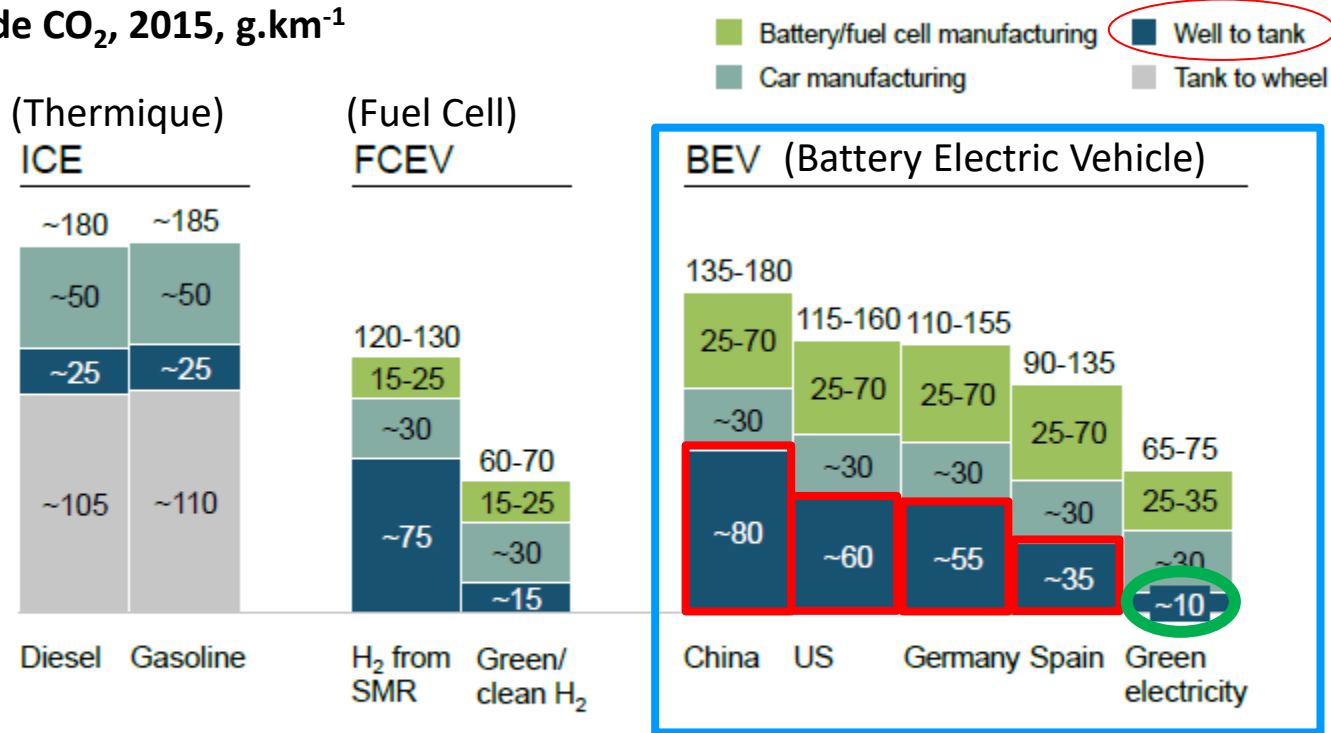
mais

- Procédé énergivore, gaz toxiques
- Pas de séparation des métaux (alliages)
- Pas de récupération Li, Carbone et organiques

5.4 Production des batteries : émissions CO₂

Exposé de Patrick Pelata à l'Académie (8/9/2020)

Emissions de CO₂, 2015, g.km⁻¹



Assumption: compact car (C-segment) as reference vehicle (4.1 l/100 km diesel; 4.8 l/100 km gasoline; 35.6 kWh battery), 120,000 km lifetime average grid emissions in China, Germany, Spain in 2015; EV manufacturing (excl. fuel cell and battery) 40% less energy-intensive than ICE manufacturing; 10 kg CO₂/kg H₂ from SMR; 0.76 kg H₂/100 km; 13 kWh/100 km

SOURCE: EPA; A Portfolio of Powertrains for Europe (2010); Toyota Mirai LCA; IVL; Enerdata; expert interviews

Emission de CO₂ (g par kWh d'électricité)

Sweden	13.3	Croatia	210.0	Portugal	324.7
Lithuania	18.0	Luxembourg	219.3	Ireland	424.9
France	58.5	Slovenia	254.1	Germany	440.8
Austria	85.1	Italy	256.2	Bulgaria	470.2
Latvia	104.9	Hungary	260.4	Netherlands	505.2
Finland	112.8	Spain	265.4	Czechia	512.7
Slovakia	132.3	United Kingdom	281.1	Greece	623.0
Denmark	166.1	European Union	295.8	Malta	648.0
Belgium	169.6	Romania	306.0	Cyprus	676.9
				Poland	773.3

(source: Eurostat 2016)

L'origine (nature) de l'électricité impacte énormément le gain en CO₂ émis

Source : « Hydrogen scaling up », Hydrogen Council November 2017

Le RS2E : thématiques de recherche

METAL-ION AVANCÉ (Na, Li...)

Coordinateurs : Laurence Croguennec - ICMCB & Romain Berthelot - ICGM



DETECTION ET AUTOREPARATION

Coordinateur : Juan Pelta – LAMBE

ECO-CONCEPTION ET RECYCLAGE

Coordinateur : Philippe Barboux – IRCP



STOCKAGE CAPACITIF

Coordinateurs : Patrice Simon – CIRIMAT & Frédéric Favier - ICGM

ELECTROLYTES ET SYSTÈMES AQUEUX

Coordinateur : Olivier Fontaine - ICGM



AXES TRANSVERSES

SECURITE

Stéphane Laruelle - LRCS



THEORIE

Mathieu Salanne - PHENIX
Marie-Liesse Doublet - ICGM

PLATEFORMES ANALYTIQUES

Lorenzo Stievano - ICGM



UNITE PRE-TRANSFERT

Mathieu Morcrette - LRCS

INTERFACES

Alexis Grimaud - CSE



Unité de
PRE-TRANSFERT

(prototypage
batteries,
sécurité, up-
scaling...)



INERIS

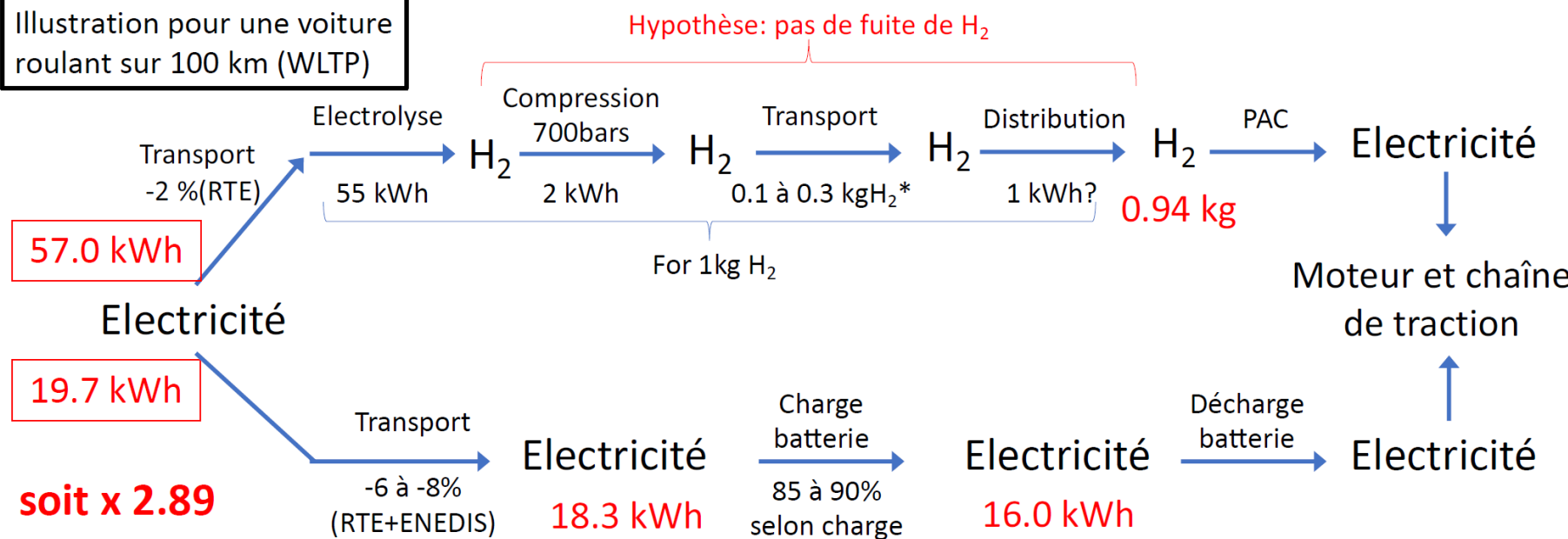
maîtriser le risque |
pour un développement durable |



5.4 Batteries : comparaison batteries / piles à combustibles

Comparaison réservoir H₂ / réservoir batterie

Illustration pour une voiture roulant sur 100 km (WLTP)

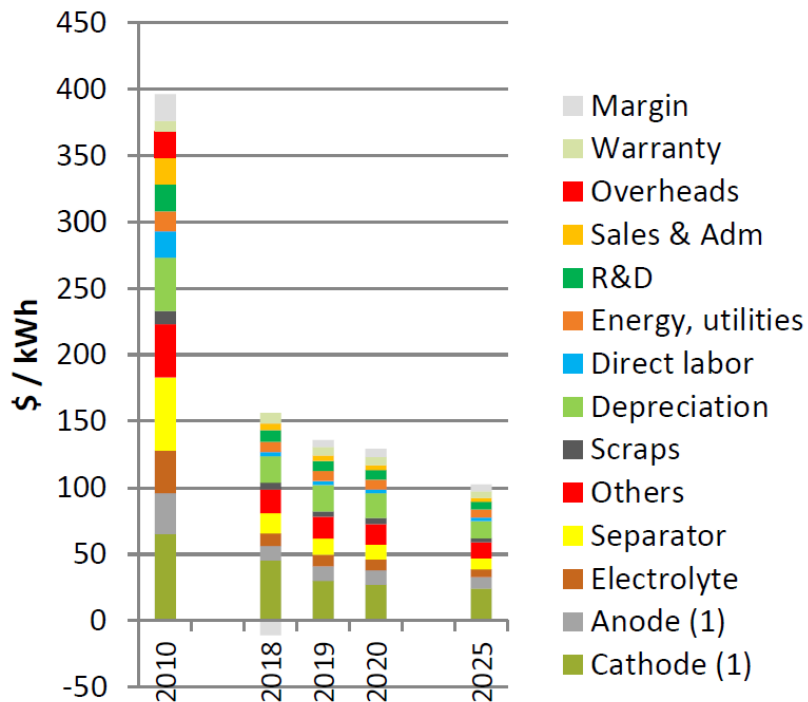


Toyota Mirai: 0.94 kg H ₂ /100km, 1850 kg	autonomie 583km WLTP
Tesla Model 3 long range: 16.0 kWh/100km 1980kg	560 km WLTP
Tesla Model 3 standard: 14.9kWh/100km, 1733 kg	WLTP

* Assuming a truck on 500km estimated at 20 Toyota Mirai carrying either 330kg H₂ or 1100kgH₂ (pages 34-35)
 0.94*20*5/330 ou 1100= 0.3 or 0.1kgH₂

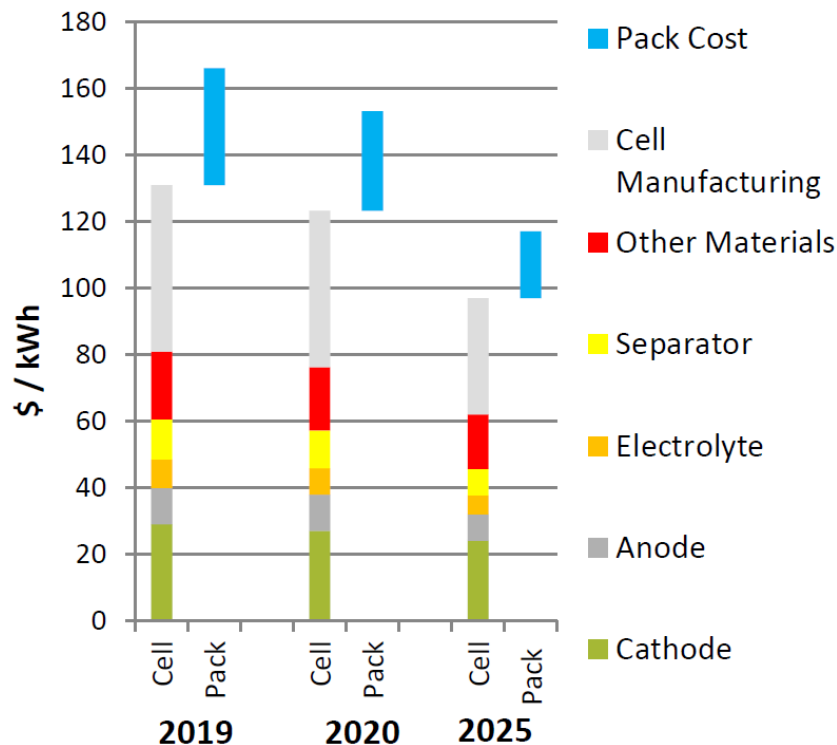
5. Production des batteries Li-ion : evolution coût (2)

LIB cell average cost (40 Ah pouch)
(EV design ; NMC622 cathode)



(1) Active materials only
Source: AVICENNE ENERGY 2020

LI-ION BATTERY PACK COST FOR EV



* For Production > 100 000 packs/year

Coûts personnels : négligeable ; prix depend de la chimie (ici cathode NMC)

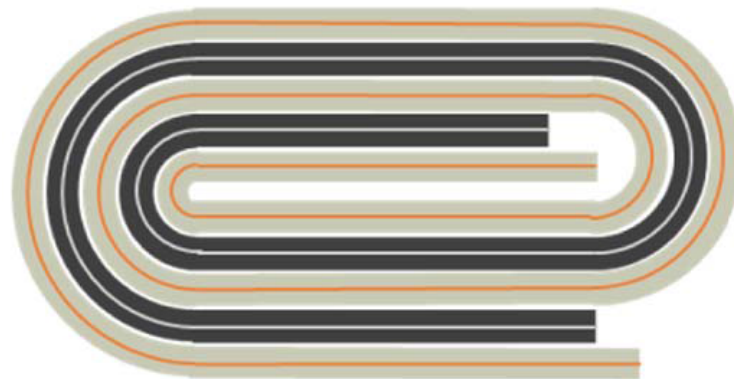
Prédiction : < US\$ 100 kWh de cellule en 2025

2.3 Les batteries : exemple

c) Cylindrical winding



d) Prismatic winding



Cathode

Li-ion anode

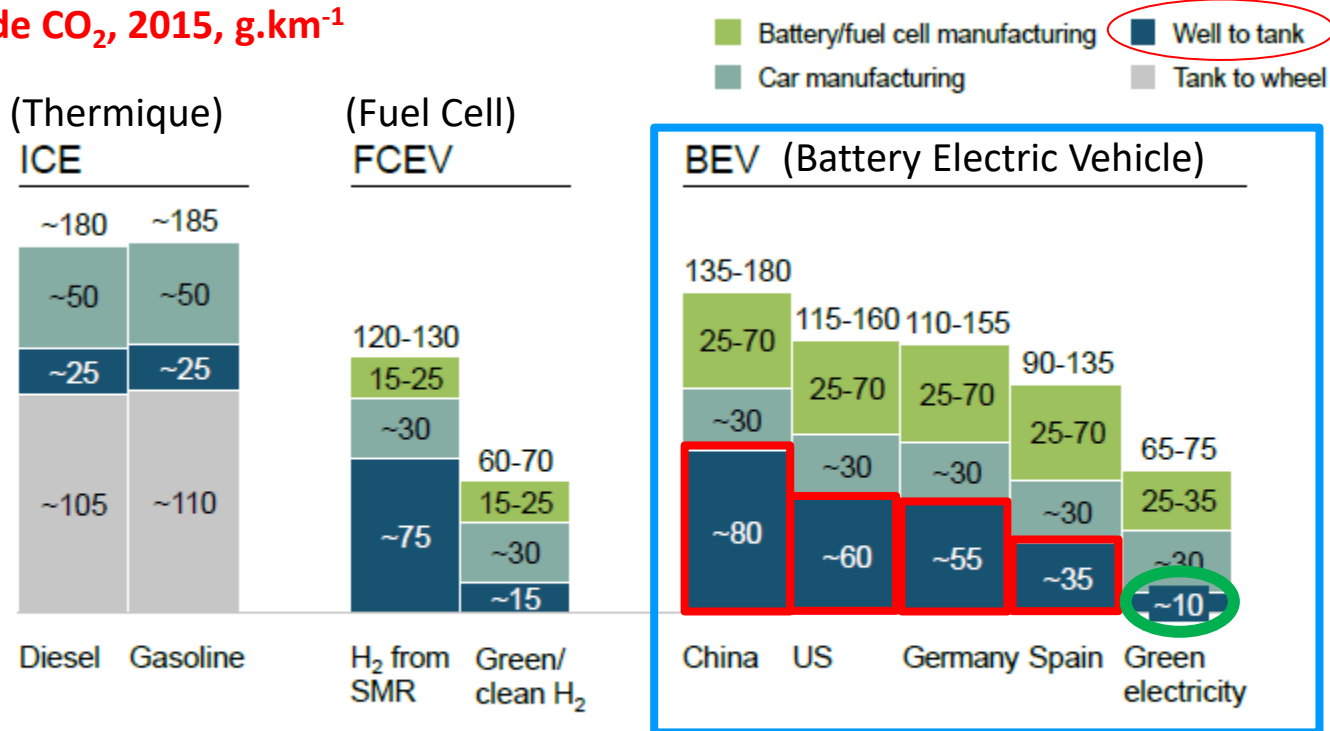
Separator

b) Z-stacking



5.4 Production des batteries : émissions CO₂

Emissions de CO₂, 2015, g.km⁻¹

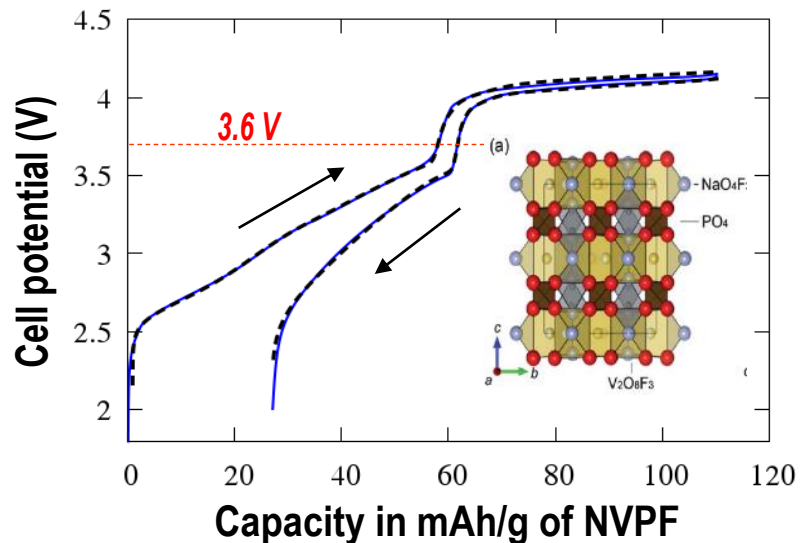


Assumption: compact car (C-segment) as reference vehicle (4.1 l/100 km diesel; 4.8 l/100 km gasoline; 35.6 kWh battery), 120,000 km lifetime average grid emissions in China, Germany, Spain in 2015; EV manufacturing (excl. fuel cell and battery) 40% less energy-intensive than ICE manufacturing; 10 kg CO₂/kg H₂ from SMR; 0.76 kg H₂/100 km; 13 kWh/100 km

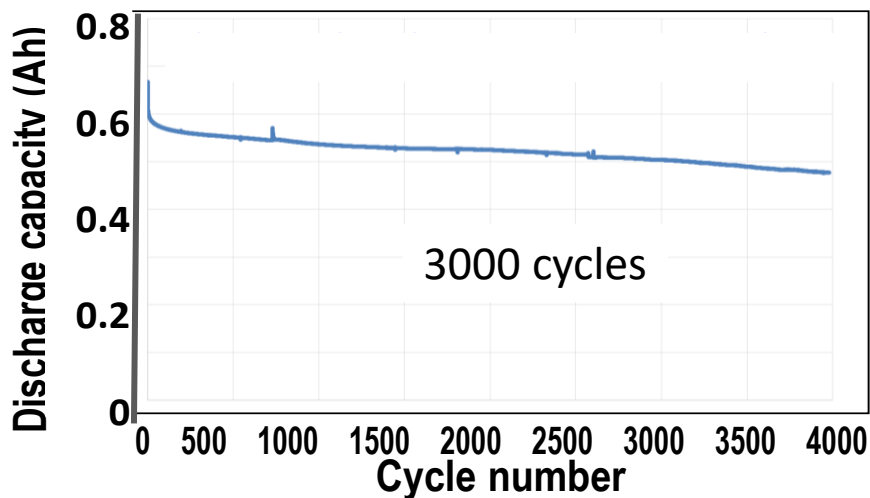
SOURCE: EPA; A Portfolio of Powertrains for Europe (2010); Toyota Mirai LCA; IVL; Enerdata; expert interviews

L'origine (nature) de l'électricité impacte énormément le gain en CO₂ émis lors du cycle de vie

La technologie Na-ion : C / Na₃V₂(PO₄)₂F₃



Cyclage Na-ion cells @1C



Première mondiale (11/2016) RS2E, France



Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie



(100Wh/kg)

Vitesse de recharge C/NVPF Na-ion

