



ACADÉMIE
DES SCIENCES
INSTITUT DE FRANCE



ACADÉMIE
DES TECHNOLOGIES
POUR UN PROGRÈS RAISONNÉ, CHOISI ET PARTAGÉ

Les grands enjeux de l'énergie

June 20th, 2025



*L'avenir des batteries en Europe :
vallée de la mort ou vallée de l'espoir ?*

Jean-Marie Tarascon



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —



SORBONNE
UNIVERSITÉ

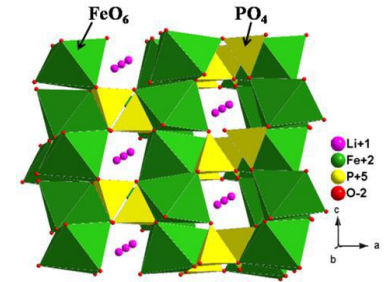


ENERGIE
RS₂E

Plan de l'exposé

➤ *Tendances récentes et avancées scientifiques dans le domaine*

- Cathodes (LFP-LFMP) – Rechargeabilité - Tout solide



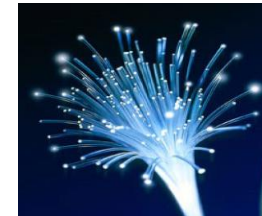
➤ *Le pari des gigafactories pour renforcer la souveraineté européenne*

- La vallée de la mort – pourquoi et comment ?



➤ *Est-il encore possible de passer d'un concept à son industrialisation en Europe?*

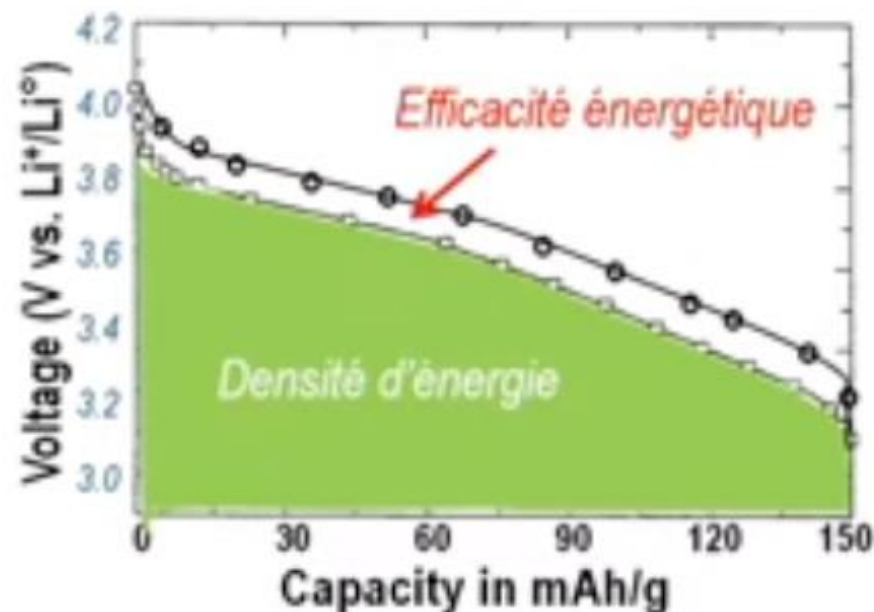
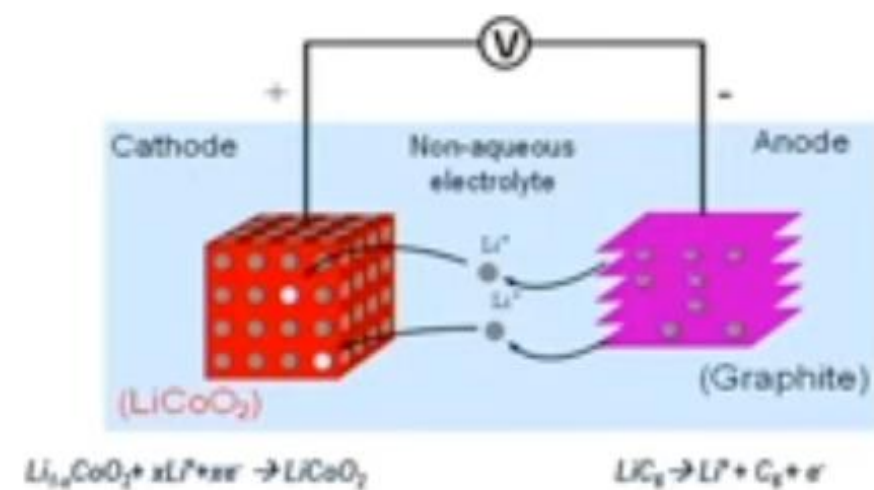
- Na-ion, Zn-MnO₂, Batterie intelligentes



➤ *Conclusions*

- De la vallée de la mort à la vallée de l'espoir : vision personnelle

Batteries à ions lithium: principes de fonctionnement



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

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

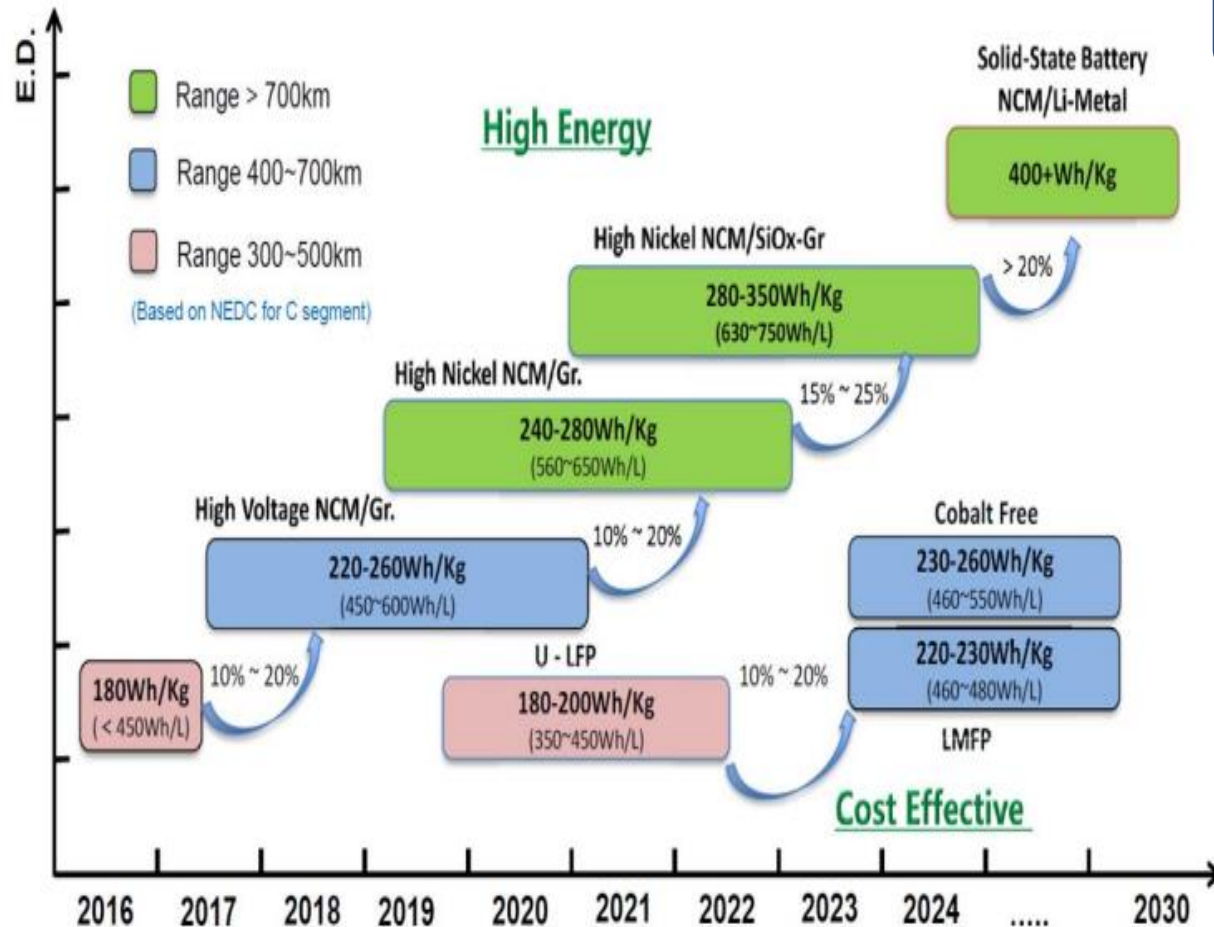
$$\text{Capacité (Ah/kg)} = 26,8 \times \frac{x}{M}$$

Nb d'électrons /mol

Masse molaire (kg)

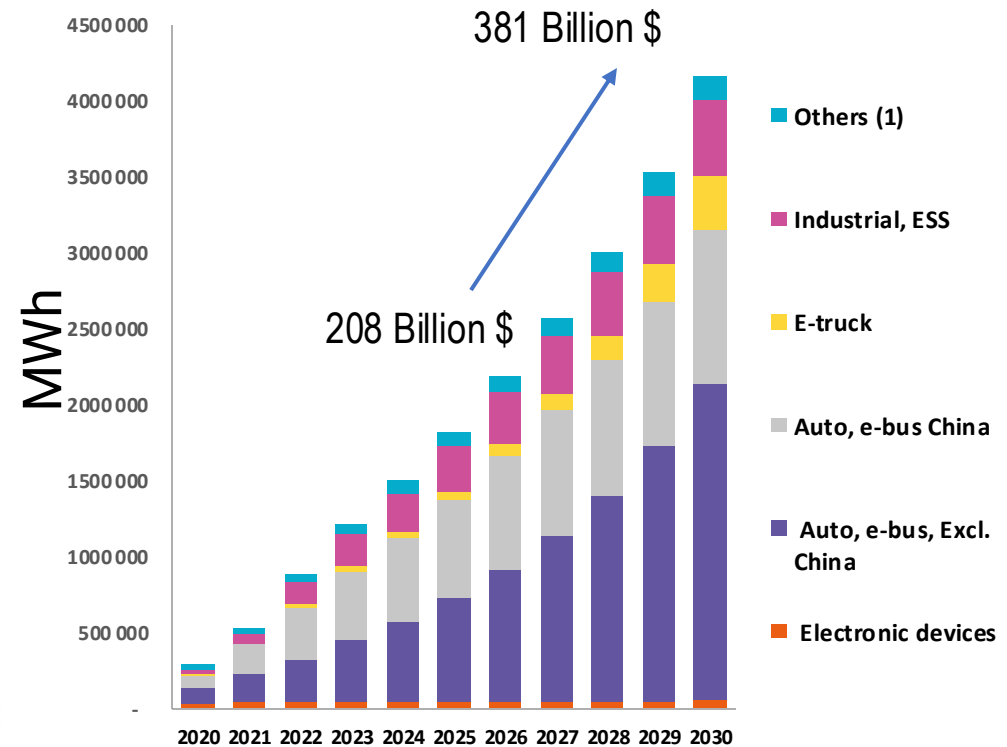
Un monde d'émulations scientifiques piloté par les entreprises

➤ Amélioration durable des performances



➤ Un marché attractif en pleine croissance

Le marché des batteries au lithium-ion passera de **≈1 200 GWh en 2023** à **≈4 200 GWh en 2030**



CAGR₂₀₋₃₀

16%

32%

49%

29%

35%

3,5%

De quelles avancées s'agit-il réellement ?

Grandes tendances : le retour en force du LiFePO_4 (LFP)

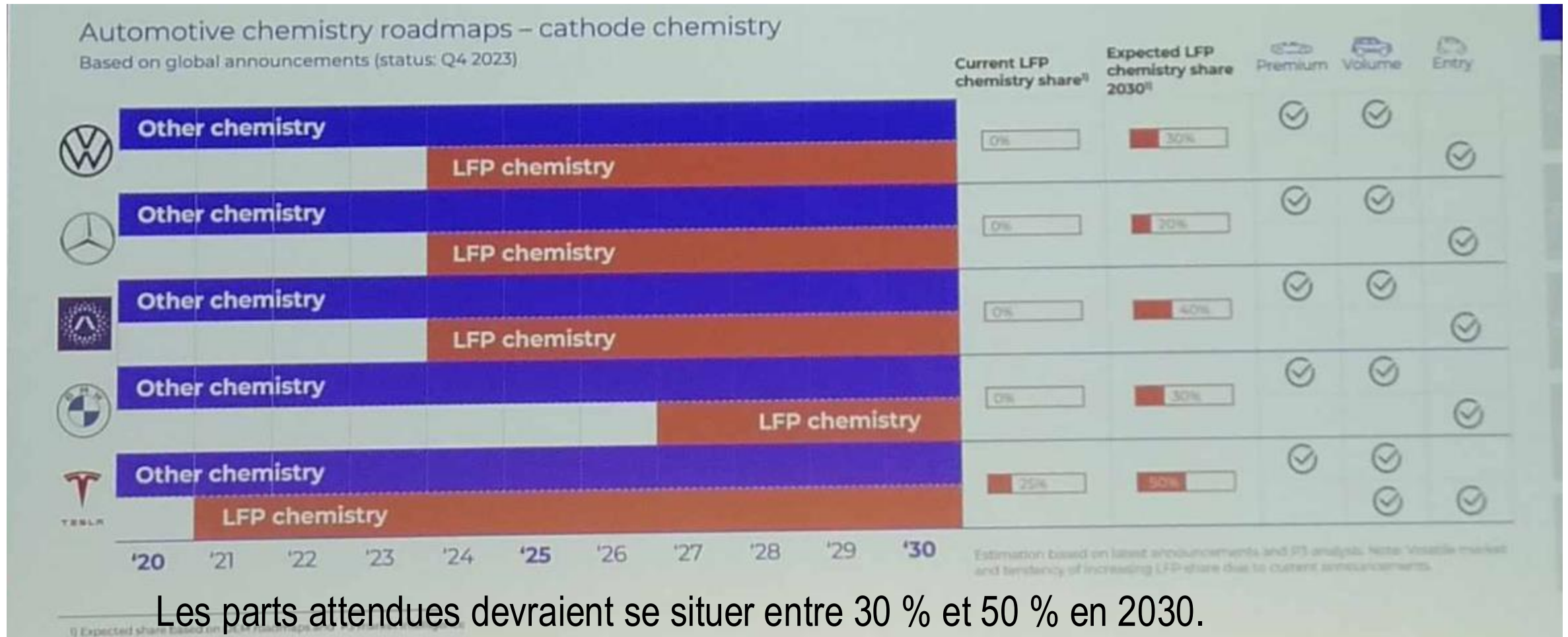


CATL revendique une dégradation nulle de ses batteries pendant les 5 premières années grâce à une étape de pré lithiation

<https://www.energy-storage.news/catl-provides-more-details-on-zero-degradation-tenor-bess-product-at-ees-europe/>

Feuille de route de l'industrie automobile pour les cathodes

➤ La majorité des équipementiers ont intégré les batteries LFP dans leurs feuilles de route.

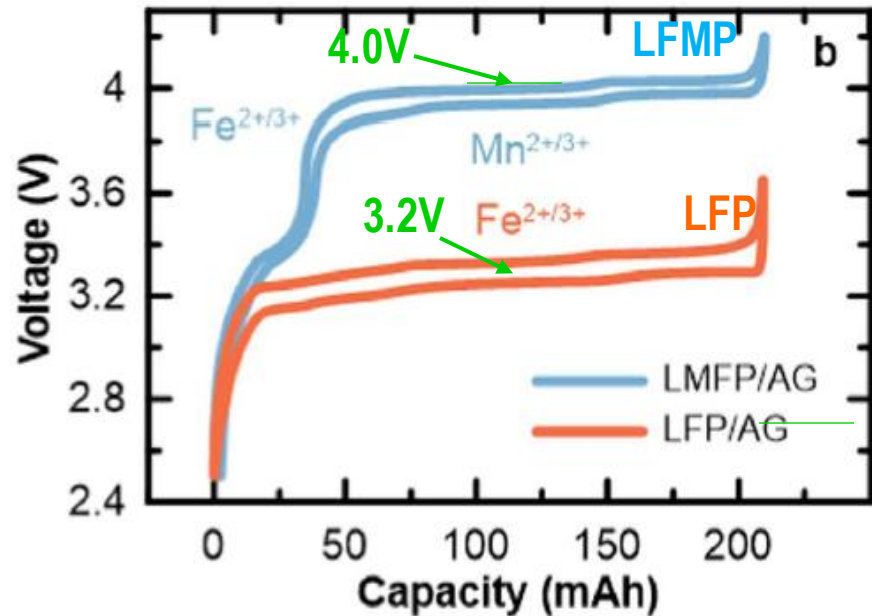


Les parts attendues devraient se situer entre 30 % et 50 % en 2030.

NMC vs. LFP : une évolution rapide malgré une densité d'énergie plus faible

L'émergence du $\text{LiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{PO}_4$ (LFMP) pour combler la faible densité d'énergie du LFP

➤ Substitution de Fe par Mn pour augmenter la densité d'énergie



Gain de **15 à 20%** en densité d'énergie par rapport à LFP (**220Wh/kg**)

- ✓ Durée de vie < LFP
- ✓ Forte résistance interne (puissance limitée)



Companies working on LMFP batteries

CATL



EVE 亿纬锂能



SUNWODA



Gotion Astroinno M600 LMFP Battery Pack

76% Volume Utilization Efficiency	190 Wh/kg		18 min	Full-time Fast Charging	Lifecycle Management Materials • Smart Monitoring Cell • After-sales Service Pack • Recycling
Active Safety BMS4.0			GED		
1000km Range of 1000 km	Minimalist Wiring Harness	Sandwich Structure Double-Sided Liquid Cooling Technology			

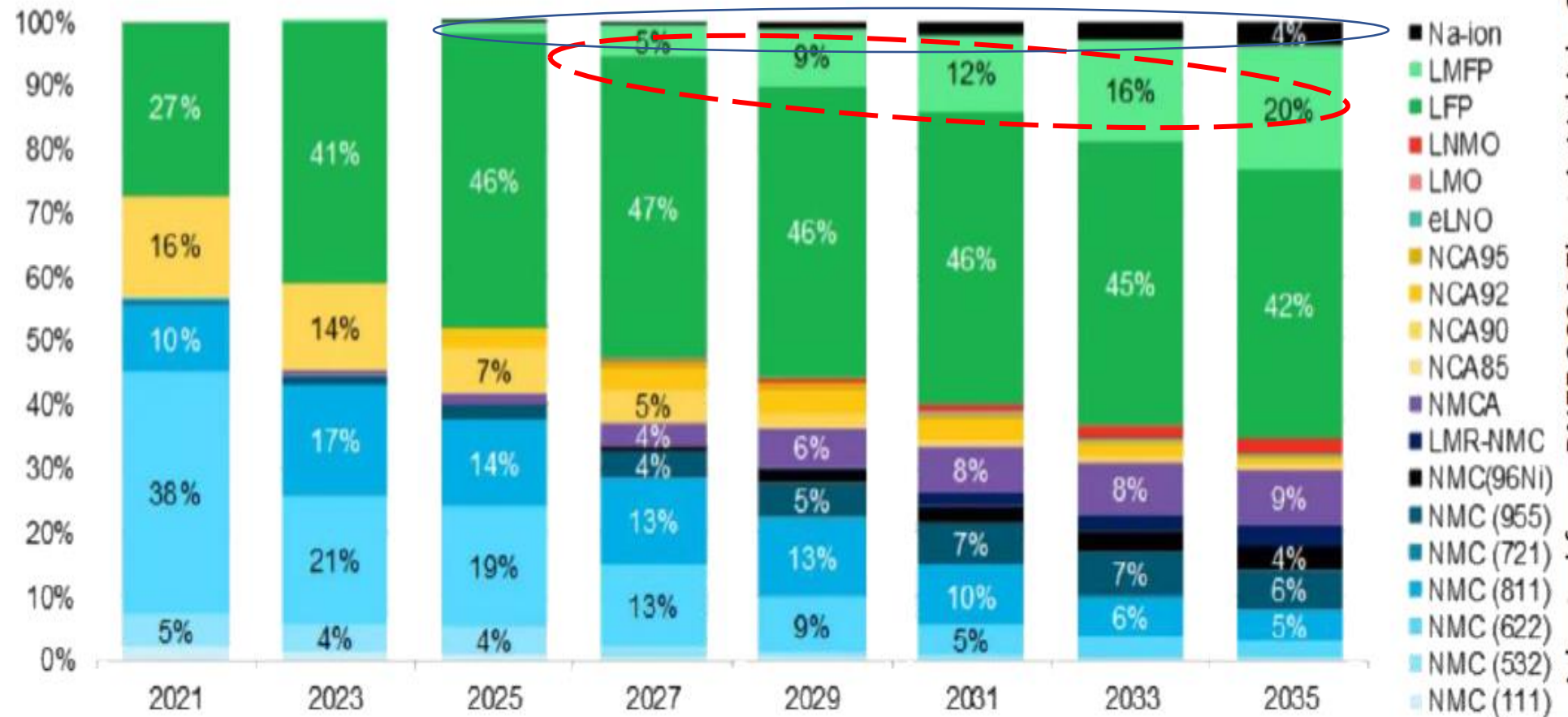
Gotion High-tech Confidential | www.gotion.com.cn 珍惜 务实 诚信 创新 Cherish / Pragmatic / Integrity / Innovation

CATL, GOTION et NIO représentent 90% du marché du LiFePO_4 et $\text{LiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{PO}_4$

Évolution du marché du lithium-ion pour les véhicules électriques

Lithium-iron-phosphate (LFP) is taking over the battery market

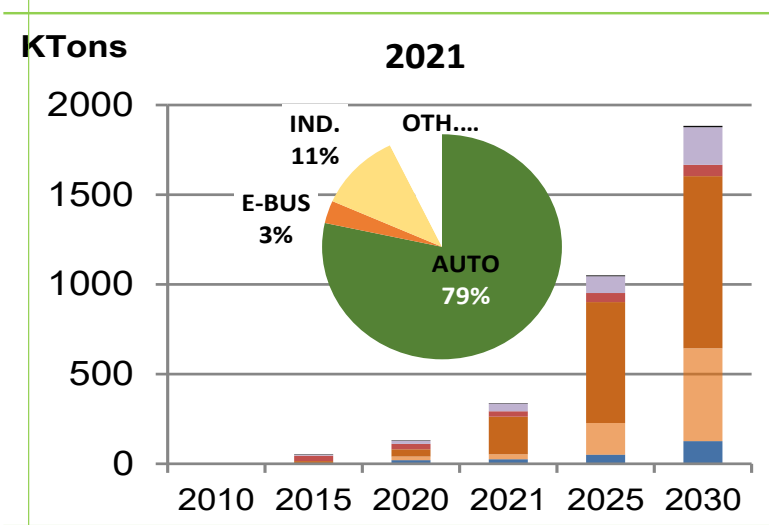
Evolution of cathode chemistry mix across all passenger electric vehicle segments



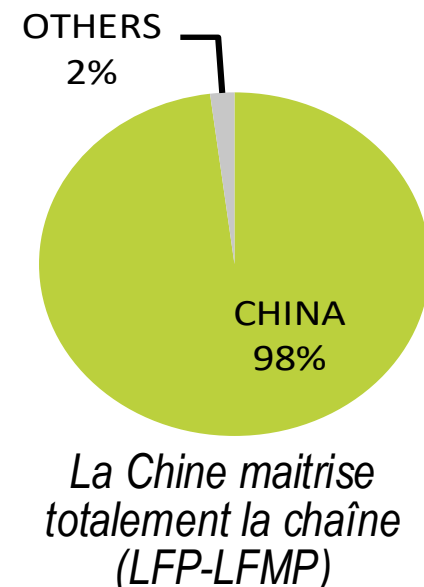
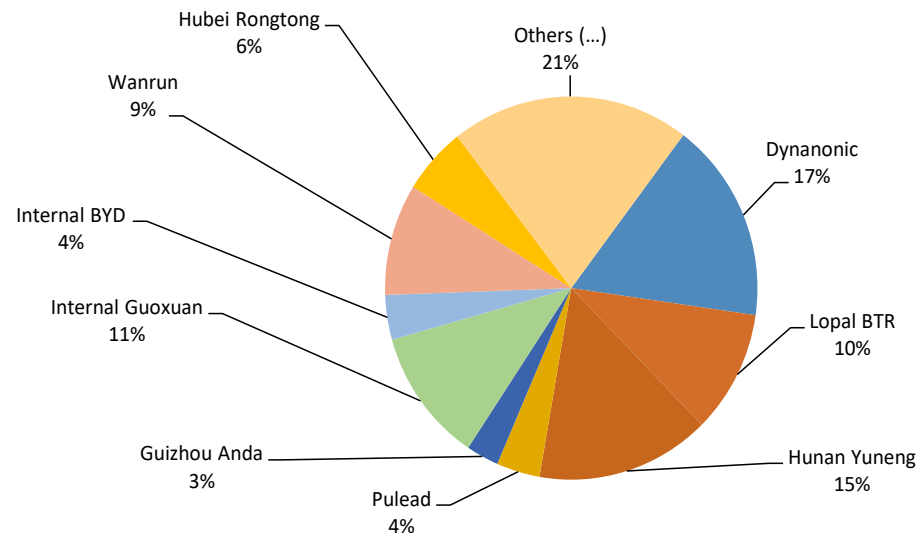
Le LFP et le LFMP devrait représenter 70% du marché des EVs en 2035

Demandes en LFP-LFMP : secteurs, coûts et acteurs

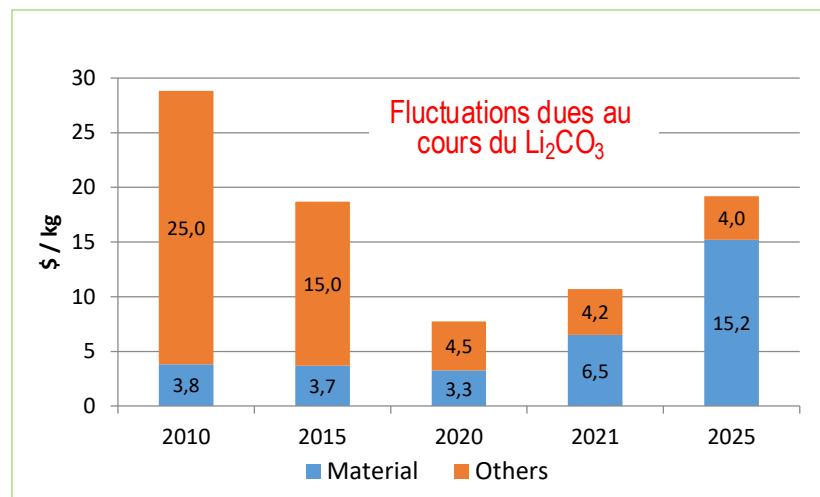
Demandes en LFP par secteurs



Acteurs en 2023 de la production de LFP



Prévisions des coûts



Ironie du sort ?

- LFP : matériau d'électrode identifié et breveté hors de la Chine (USA et France) il y a 20 ans...
- Recherches de premier plan en France sur LFP/LFMP, recherches abandonnées il y a 10 ans
- Matériaux délaissés de la part de nos industriels en raison d'une densité d'énergie beaucoup plus faible que pour le NMC

L'Europe n'a pas su saisir l'occasion : la création d'une filière LFP européenne pour assurer un minimum de souveraineté semble cruciale

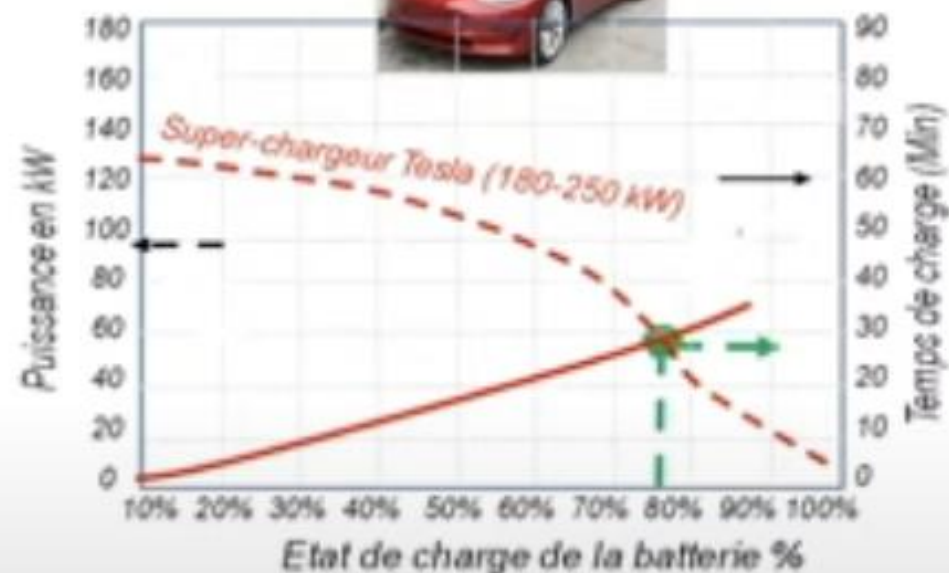
Etat de l'art de l'art en matière de recharge des batteries LFP et autres pour le VE

➤ Stations de recharge

Tests de charge pour la Tesla model V3

Batterie de 74 kWh en 400V

(Autonomie en usage normal 490 kms)



- Charge 15 -> 80% prends à peu près 25 min

➤ Stations d'échange

A new fully charged EV battery in five minutes: Are china's swap stations the future of electric cars



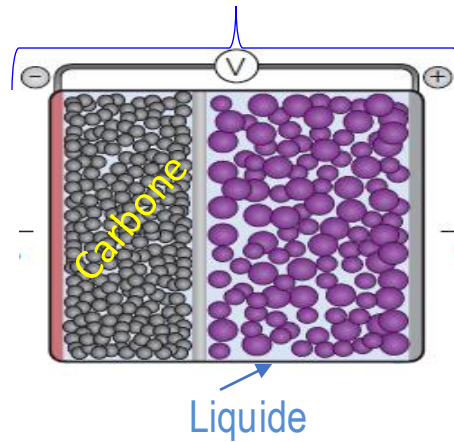
- 100% in 5 minutes

Stations d'échange vs. stations de recharge: une infrastructure à développer

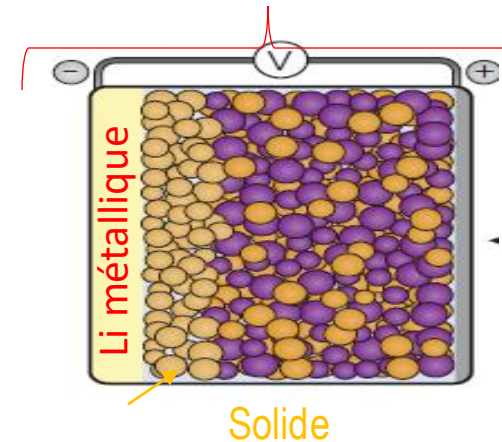
Autre domaine d'engouement scientifique : la batterie tout solide

➤ De quoi parle-t-on ?

Batteries Li-on à électrolyte liquide



Batteries tout solide à Li métal



Sécurité



Electrolyte solide,
plutôt que liquide

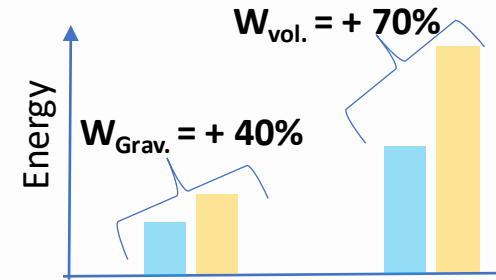


Augmentation de la sécurité

Densité
d'énergie

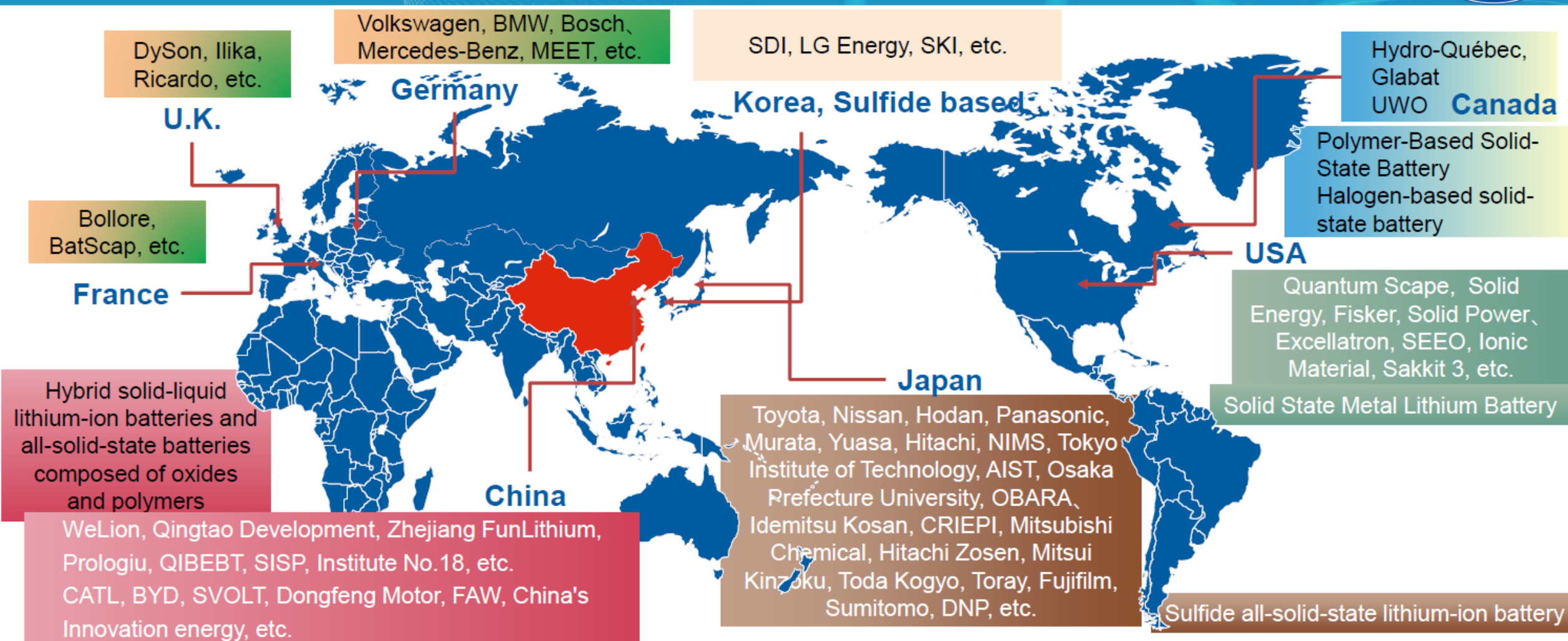


Remplacement du C
par du Li métal



Gains en densité d'énergie (Wh/kg) ou (Wh/l) seulement dans le cas d'une interface Li maîtrisée...

La batterie tout solide : source foisonnante d'activités

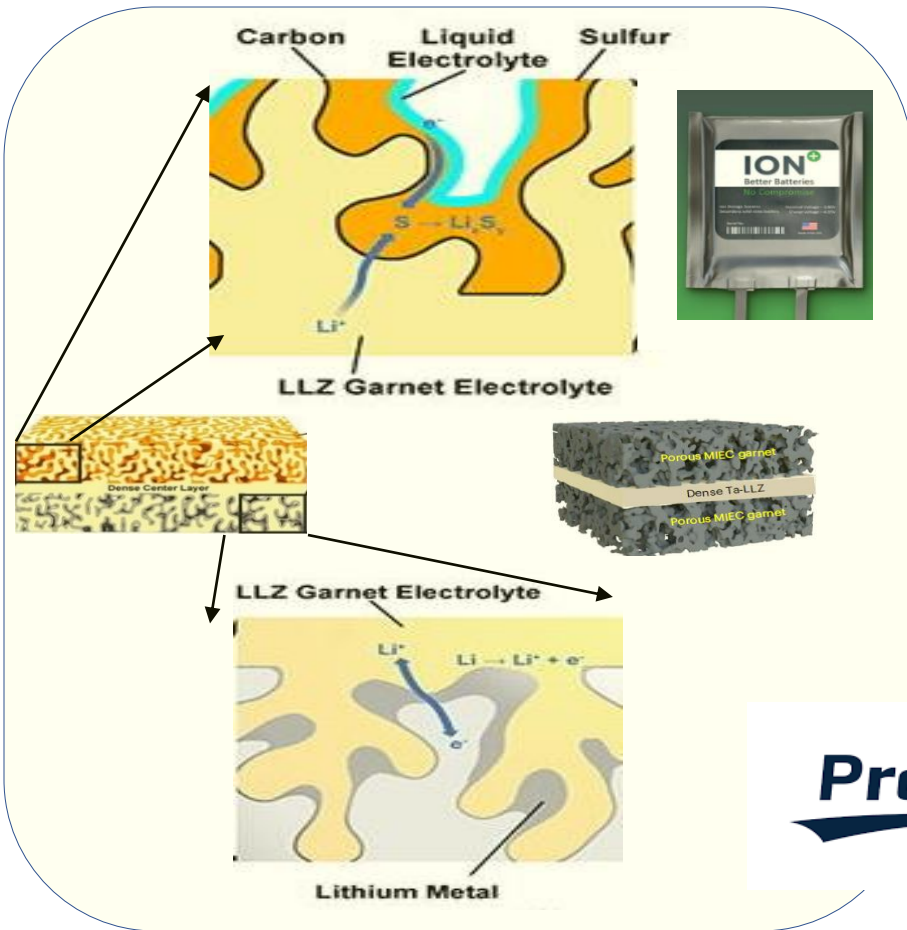


Pas un laboratoire universitaire, pas un fabricant de batteries, et pas un constructeur automobile au monde ne travaille sur le tout solide...

Batterie « hybride » ou « quasi solide » tirant parti d'un électrolyte architecturé

➤ ION⁺

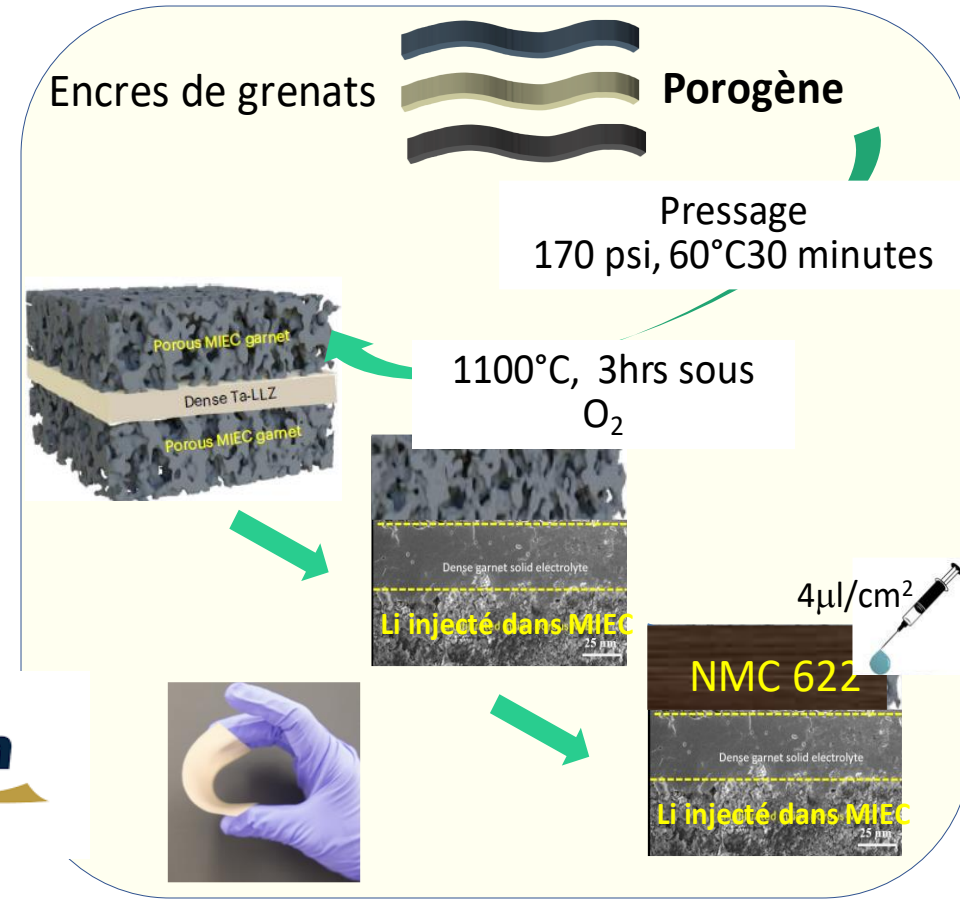
Technologie-hybride « Li-S »



ProLogium

➤ Quantum Scape

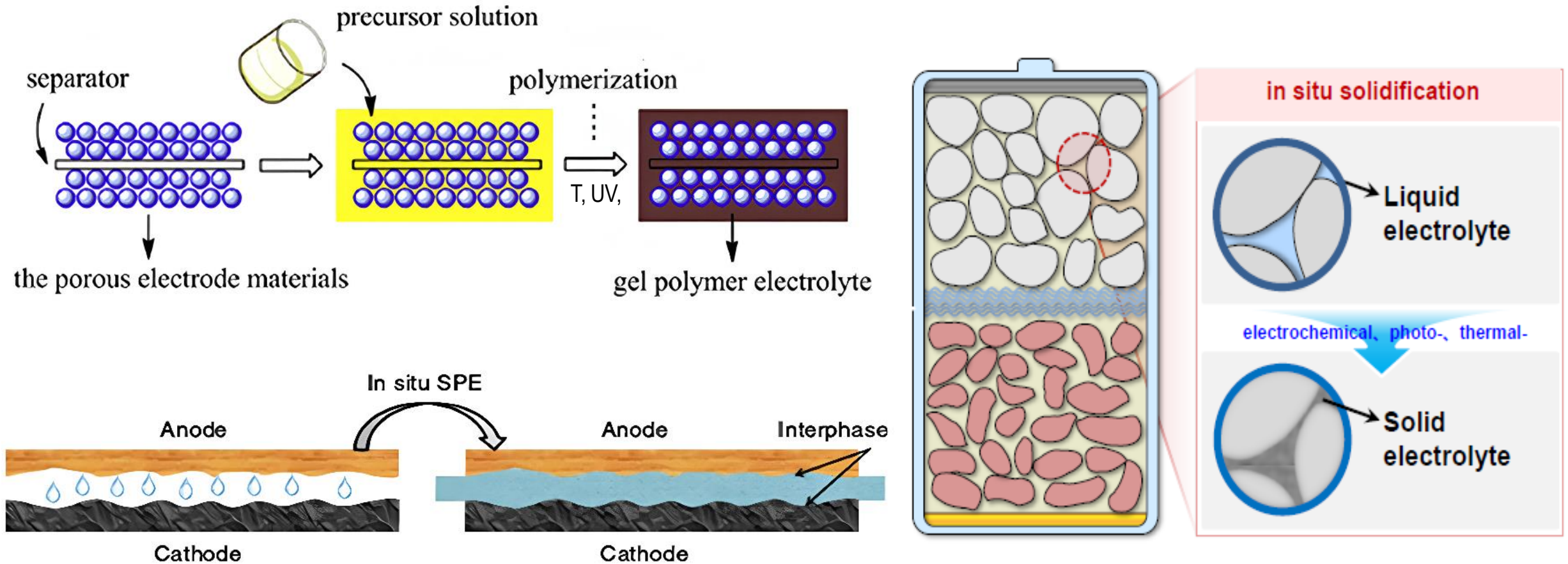
Technologie-hybride « Li-NMC »



De nombreuses autres « SPIN OFF » s'orientent vers des systèmes hybrides

Les batteries semi-solides : un développement actuel prometteur

➤ La solidification in-situ est une étape clé pour les batteries semi-solides



Solution efficace pour former un contact d'interface continu et homogène

La batterie électrolyte hydride solide/liquide (HSLE) obtenue par solidification in situ

➤ Plusieurs configurations pour des marchés différents

Batteries for EV



NCM92/HSLE/nano-Si@C
360Wh/kg 111Ah
350Wh/kg 106Ah

Batteries for EES



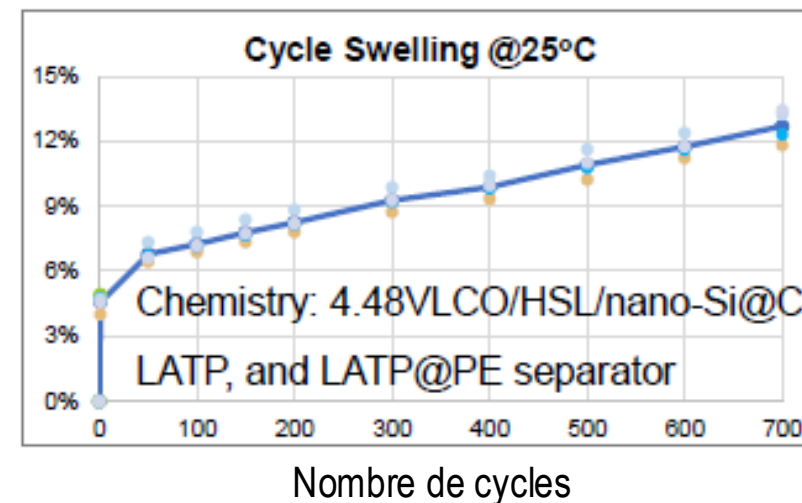
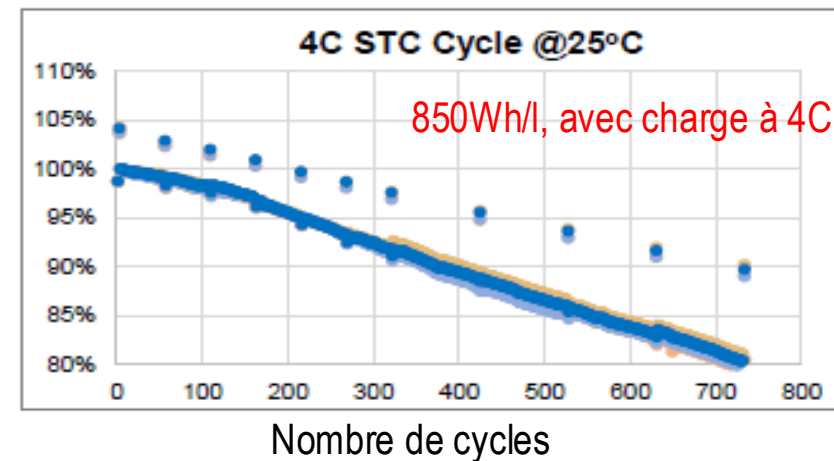
LFP/HSLE/AG
165Wh/kg 280Ah
175Wh/kg 314Ah

Batteries for drone and RES



NCM/LCO/HSLE/nano-Si@C
270Wh/kg 16Ah ~ 31Ah
310Wh/kg 20Ah ~ 35Ah

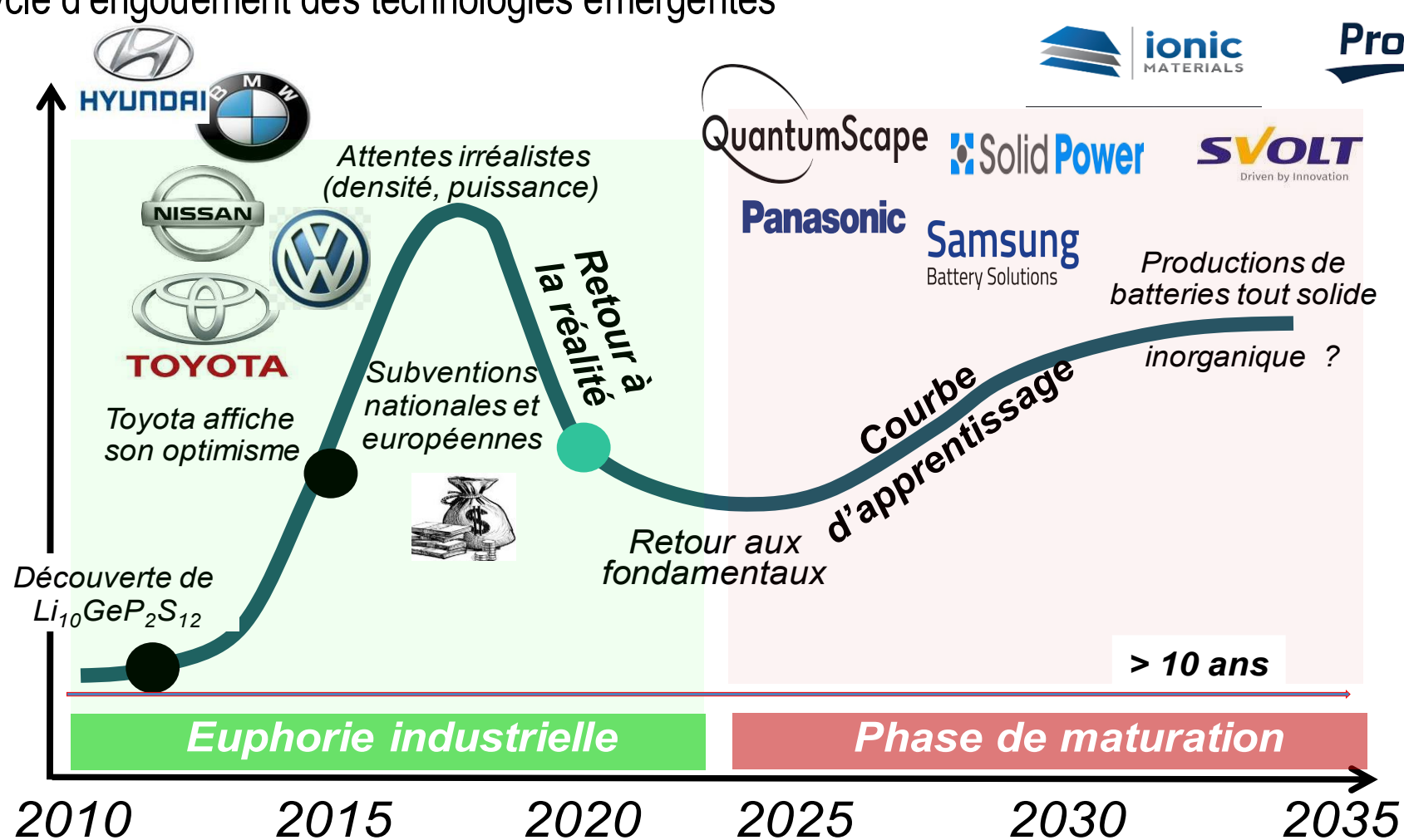
➤ Performances



Plusieurs compagnies chinoises suivent cette nouvelle route d'assemblage de batteries

La batterie tout solide : entre idéalisme et pragmatisme

➤ Suit le cycle d'engouement des technologies émergentes

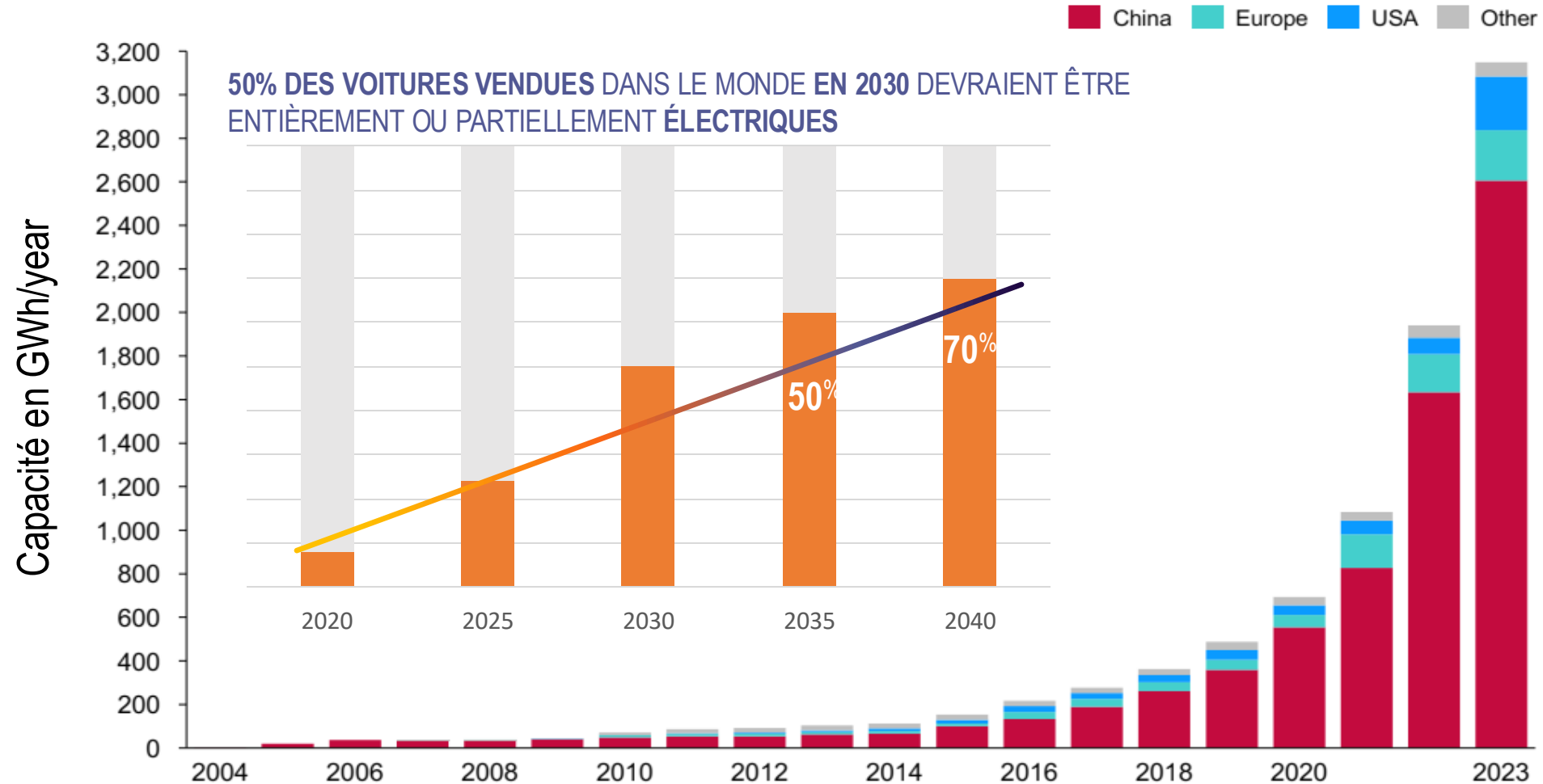


Graphite/Li-Ge-P-S, Argyrodite/NMC

Les batteries tout solide sont encore en phase de R&D et d'essais pilotes dans le monde, encourageant pourtant des promesses très ambitieuses mais rarement honorées

Batteries tout solide : une composante mineure pour les EVs jusqu'en 2030

➤ Capacité installée de production de batteries



Source: BNEF,¹⁹ RMI analysis

Comment l'Europe peut-elle devenir un acteur majeur dans ce marché du véhicule électrique ?

Évolution de la production des batteries en Europe

➤ Les projets de gigafactories ont poussé comme des champignons

Multitude Of New Lithium-ion Factories Planned In Europe

Today <10GWh Capacity

Tomorrow >400GWh announced



Started 2010, 2.5GWh

In France: 6 Gigafactories

- ACC (TOTAL Energies, Stellantis,)
- Verkor (Renault);
- Blue Solutions
- ENVISION AESC (Chine-Japon-US),
- Prologium (Taiwan),
- TIAMAT (Stellantis)



Start 2020, up to 1GWh

northvolt

Start 2021, up to 40GWh

FREYR

Start 2023, up to 32GWh

microvast

Start 2021, up to 12GWh

LG

Started 2018 6GWh

Verkor

ACC

Infinity Lithium Corporation

98% des machines d'assemblage sont importées

+

Tout comme plus de 96 % des matériaux utilisés dans les batteries Li-ion

2020
450 GWh



2025
1500 GWh



2030
3000 GWh

L'Europe espère peser 19% de la production des batteries en 2029, contre à peine 1% aujourd'hui



État d'avancement des projets de gigafactories européennes

- Pour la 1re fois : des voitures sont équipées de cellules fabriquées par un **fournisseur européen** (ACC)



- Les gigafactories européennes réduisent leurs activités

	Annoncement	Installed Capacity to date	Capacity in 2030 (Avicenne est.)
	3 sites, 120 GWh	15 GWh	1 site, 40 GWh (Not confirmed by ACC / still planing 120 GWh)
	3 sites, 180 GWh	16 GWh	1 site, 16 GWh
	6 sites, 240 GWh	0 GWh	3 sites, 80 GWh

- **Northvolt** dépose son bilan, un coup dur pour le secteur européen des EVs



Novembre 2024

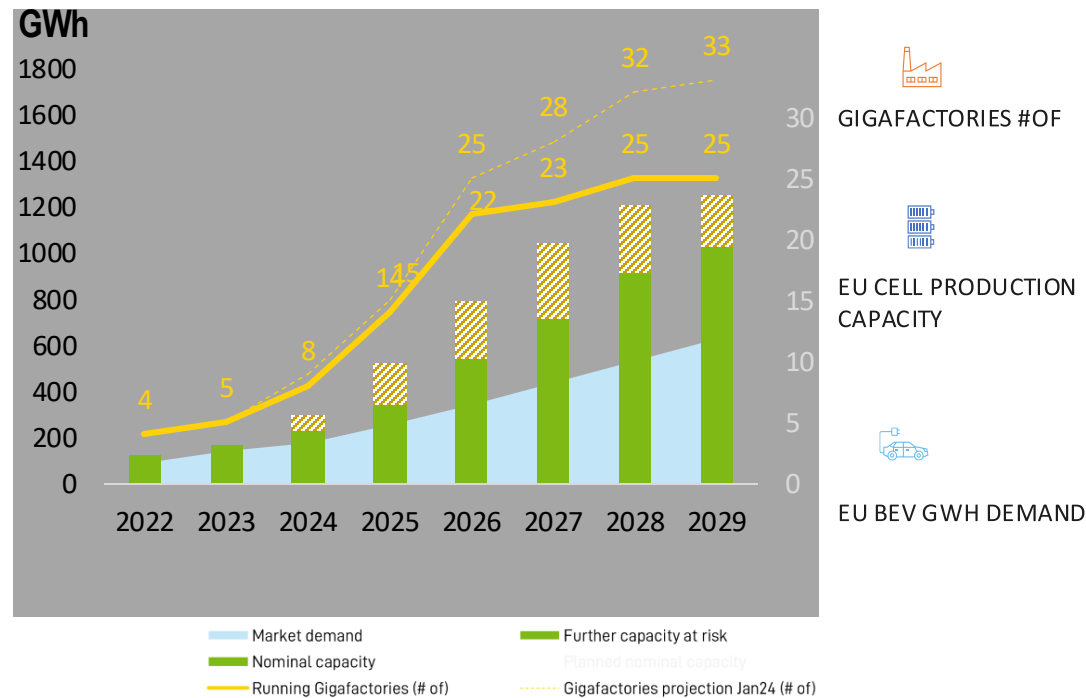
- La faillite de **Northvolt** ébranle les fournisseurs



Situation des gigafactories européennes à court terme

➤ Projets d'extension annulés ou gelés

(Britishvolt, Northvolt, ACC, PowerCo, Svolt, EVE, Prologium)



➤ Origine des difficultés

- Baisse des volumes de ventes des EVs au profit des HEVs
- Menace de la chimie LFP-LFMP sur l'écosystème européen basé sur NMC
- Complexité non-anticipée du temps nécessaire pour monter en compétence
- Compétitivité asiatique sans merci

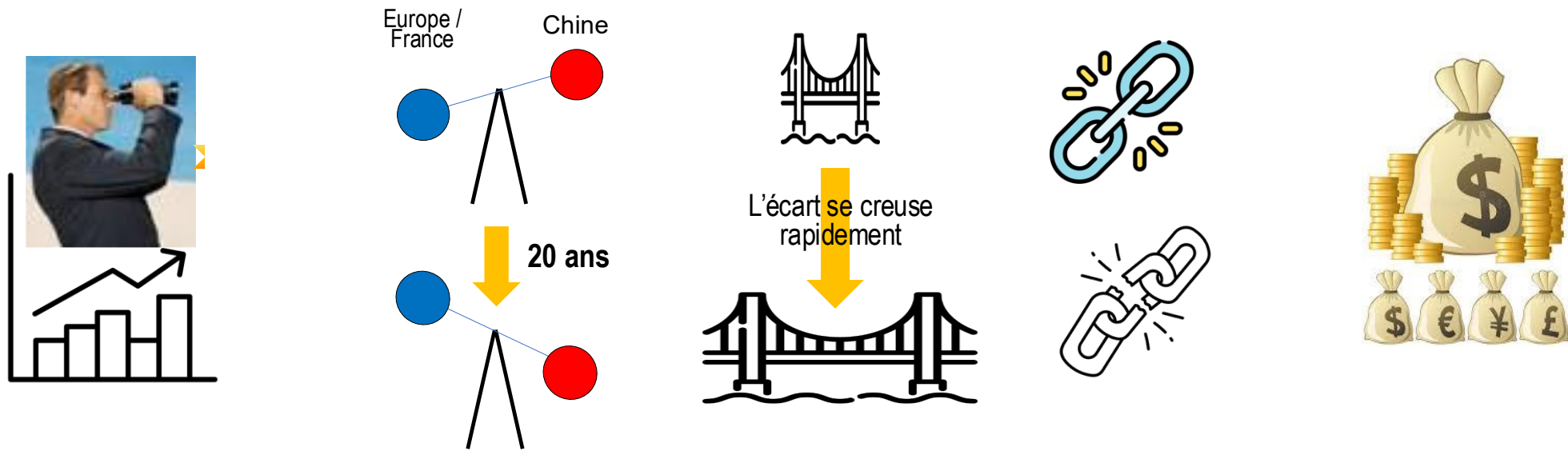
« L'Europe des batteries s'apprête à traverser la vallée de la mort »
(Y. Vincent, Président d'ACC (Collège de France, Novembre 2024))

Facteurs clés pour prendre le dessus sur le marché des batteries

➤ Une équation à plusieurs entrées

Devenir un acteur central du monde des batteries ?

$$\text{Acteur} = \sum \left[\begin{array}{c} \text{Vision} \\ \text{long terme} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Science} \\ \text{d'excellence} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Ingénierie} \\ \text{innovante} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Chaine de} \\ \text{valeur stable} \end{array} + \begin{array}{c} \text{Bas coût de} \\ \text{l'énergie (kWh)} \end{array} \right]$$

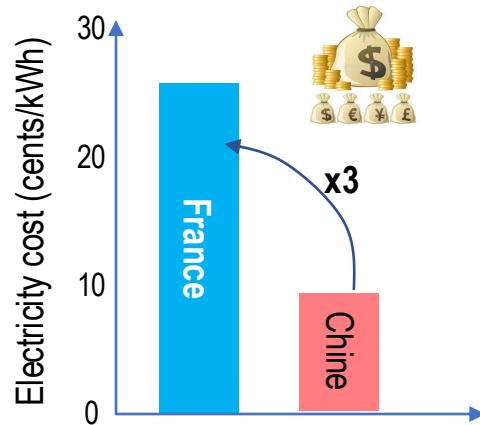


Selon ces paramètres, sommes-nous compétitifs avec l'ASIE ?

La souveraineté européenne ne se déclare pas mais se prépare

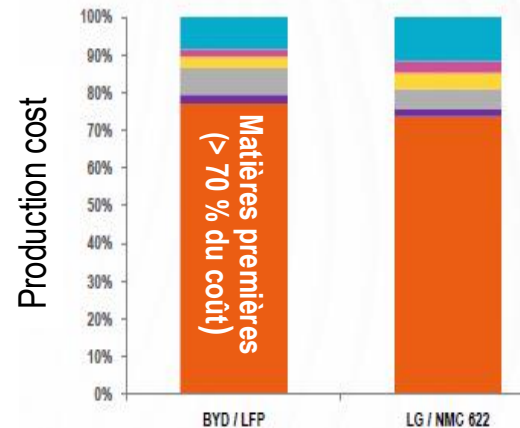
➤ Trois facteurs clés pour être compétitif

➤ Coût de l'énergie



(Handicap fort pour être compétitif)

➤ Ressources en matériaux



(Promouvoir une industrie d'extraction et de raffinage)

➤ Vivier de talents et d'experts



(Développer les filières de formation)

➤ Comment remédier à cela ? Leçons à tirer de la Chine

Besoin de créer une industrie européenne des batteries qui s'appuie sur une chaîne de valeur intégrée et souveraine (matériaux, équipements, etc.)

Prise de conscience : la batterie repose sur une chaine de valeur complexe

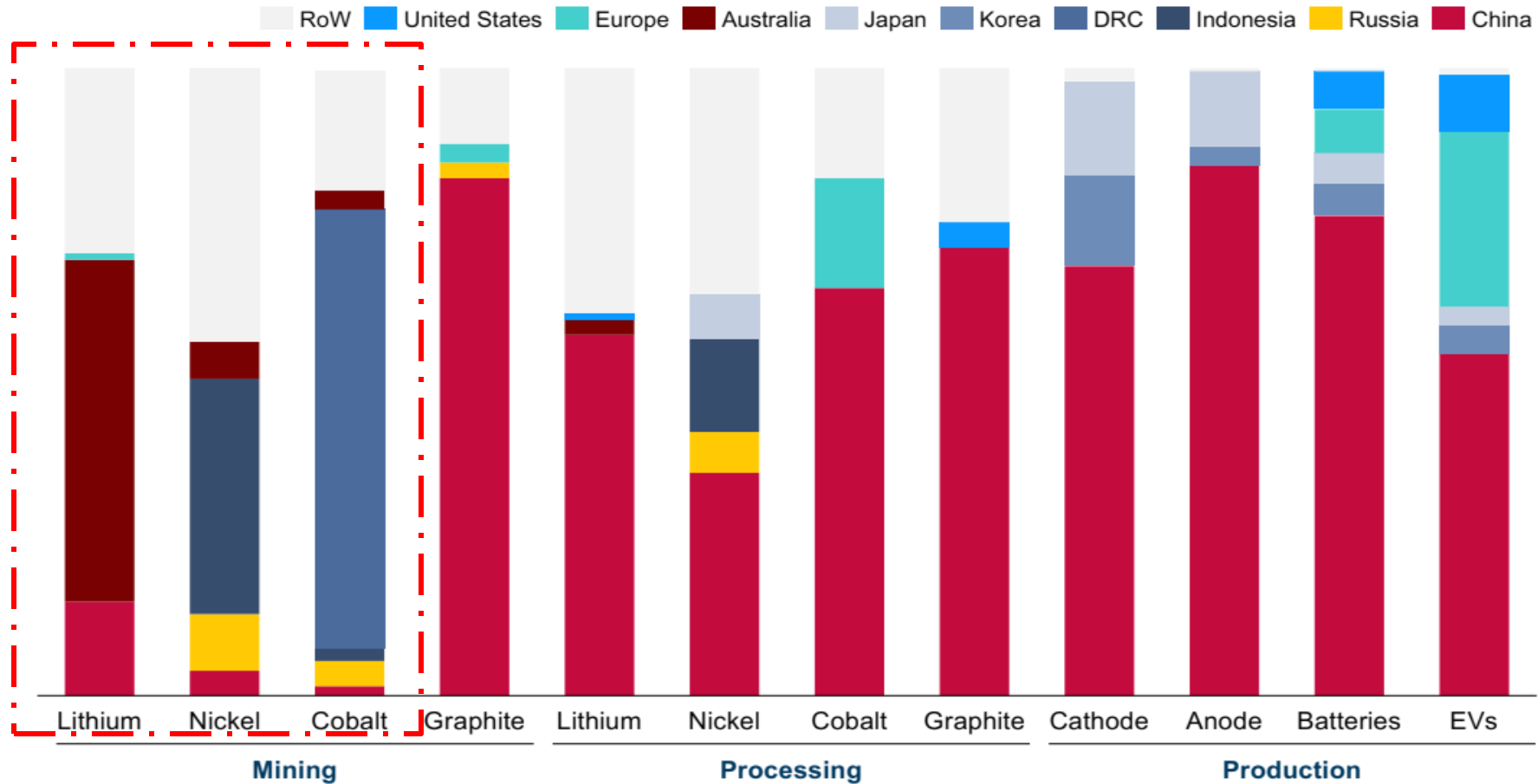
➤ Créer une chaine de valeur demande une vision intégrée long terme



La chaine de valeur est clé pour la compétitivité

La force de la Chine est sa chaîne de valeur

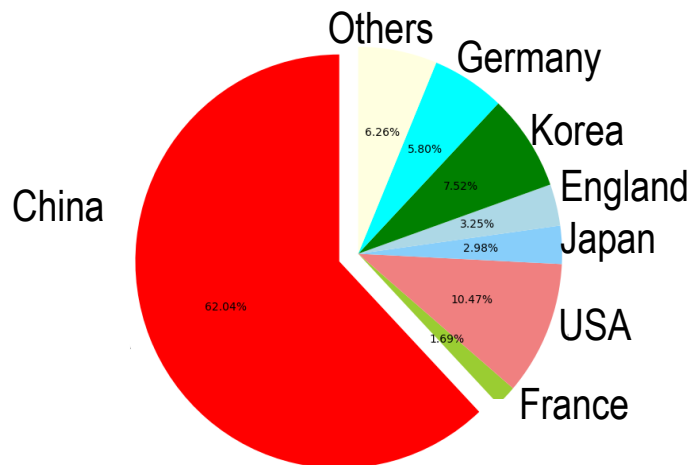
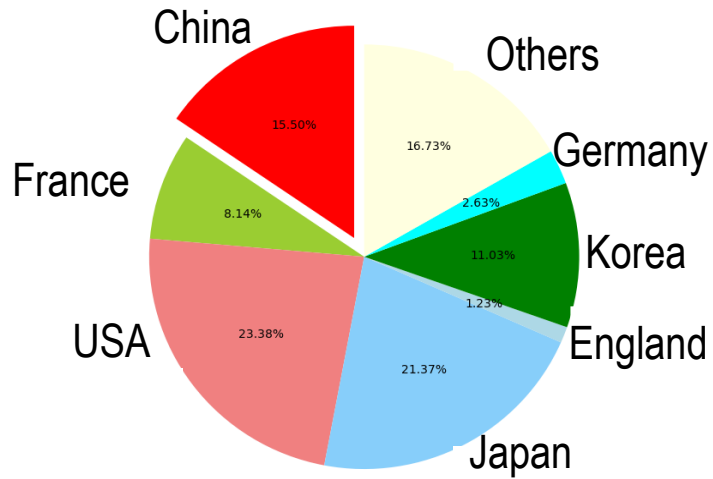
➤ Chaîne de valeur matériaux pour batteries



Importance de l'approche intégrée « Extraction – Raffinage – Production »

L'excellence scientifique européenne mise au défi

Classement en termes de publications (*science*)



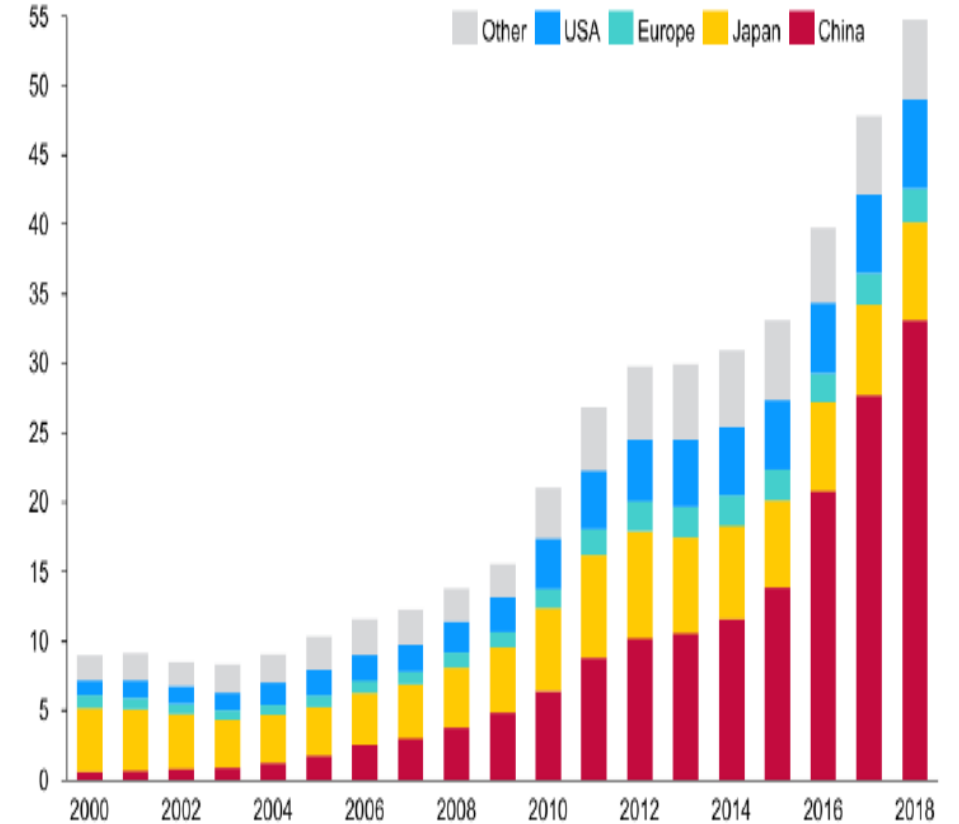
2003
USA, Japon, Chine

15%

62%

2024
China, USA, Corée

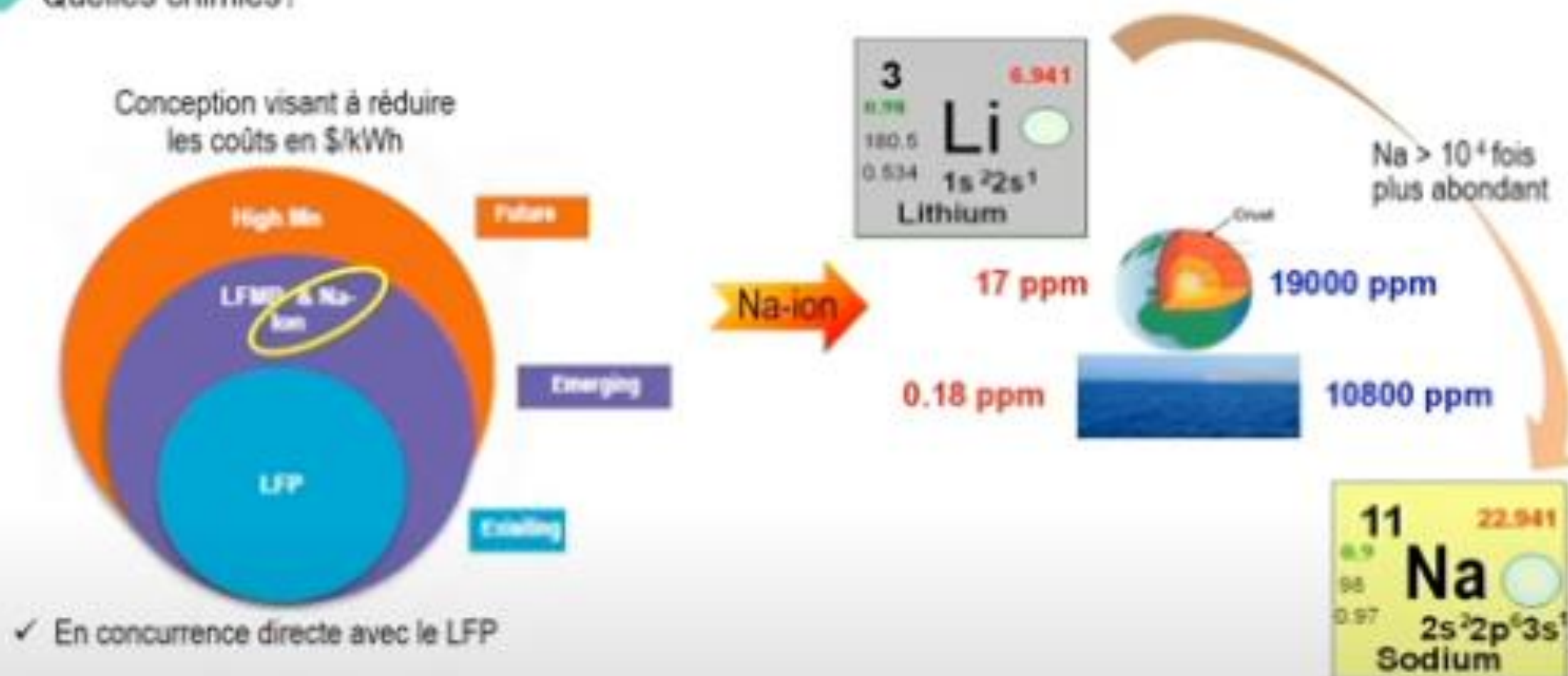
Brevets (*innovation*)



L'espoir demeure, si nous essayons d'innover davantage et plus vite

La course aux technologies à faible coût et à faible empreinte environnementale

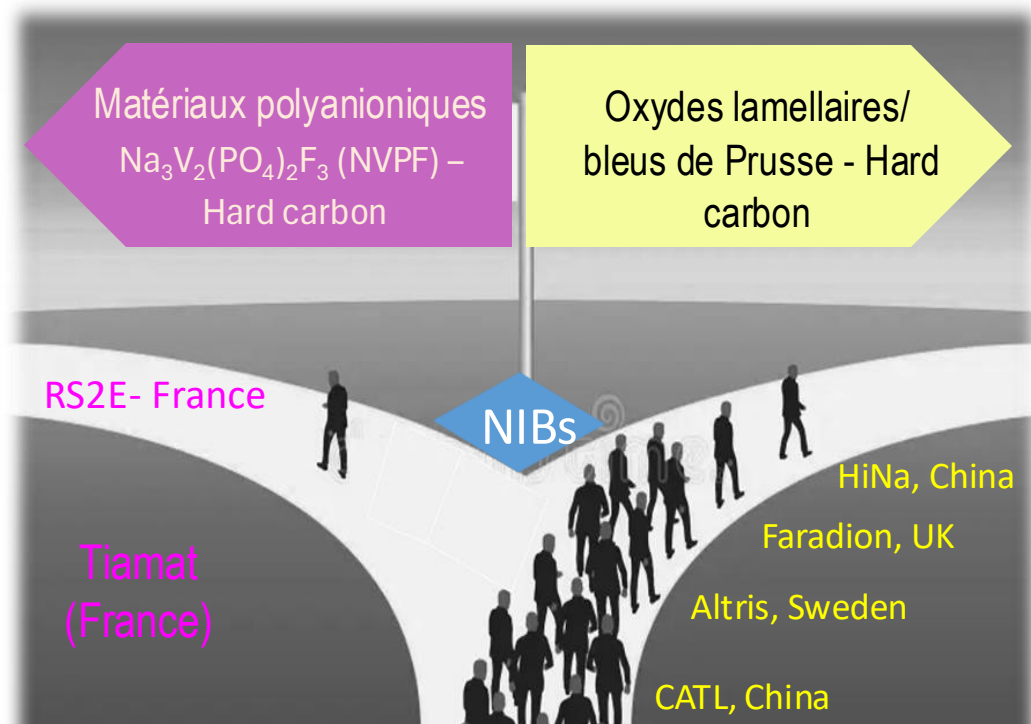
➤ Quelles chimies?



Développement de la technologie Na-ion:
Une innovation dans laquelle la France est pionnière ou l'une des pionnières

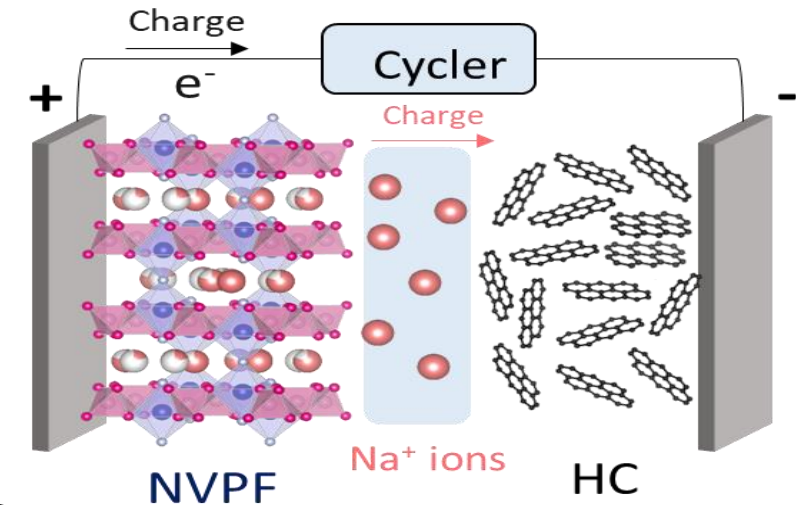
La batterie Na-ion (NVPF/C) : une innovation française qui commence en 2012

➤ Quel matériau d'électrode positive choisir ?



Polyanioniques
 $\text{A}_x\text{Fe}_2(\text{XO}_4)_3$ ($\text{X} = \text{S}, \text{P}, \text{Mo}, \text{and W}$, $\text{A} = \text{Li}, \text{Na}$)

$\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ (NVPF) | Hard carbon



Stabilité structurelle et à l'humidité de l'air

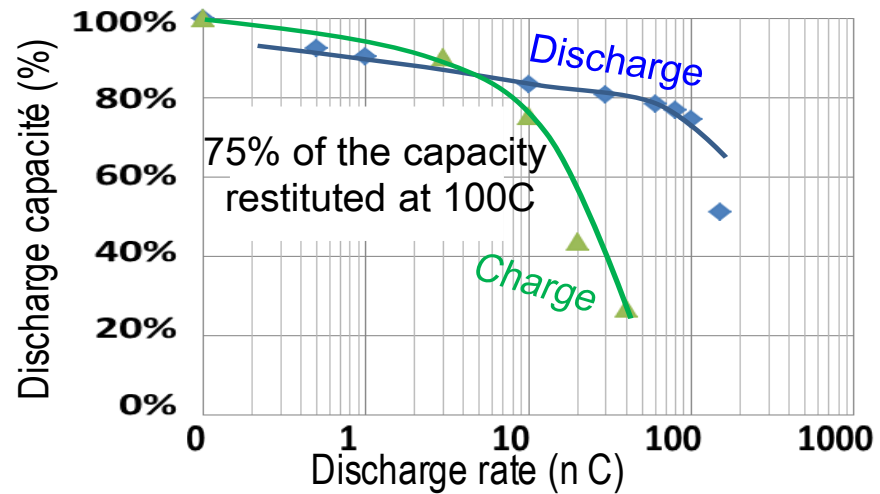
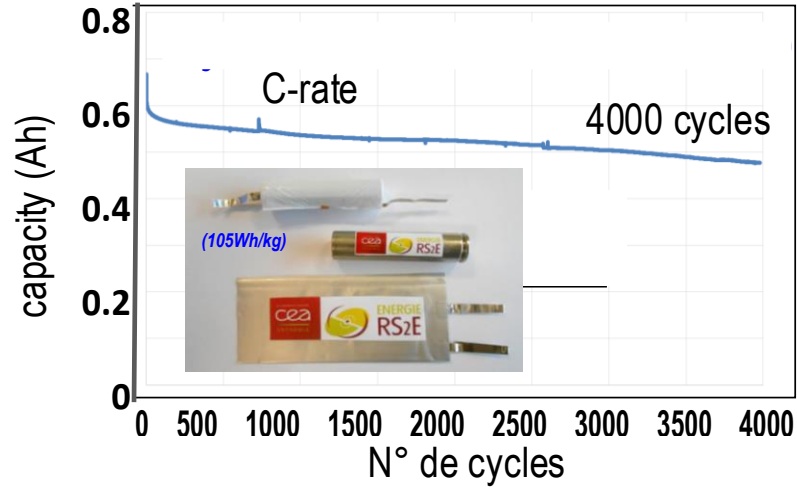
2012 : Sollicitations auprès des industriels

Réponse unanime : technologie sans intérêt qui ne pourra jamais concurrencer le Li-ion. Les institutions se fient aux industriels, d'où un support limité.

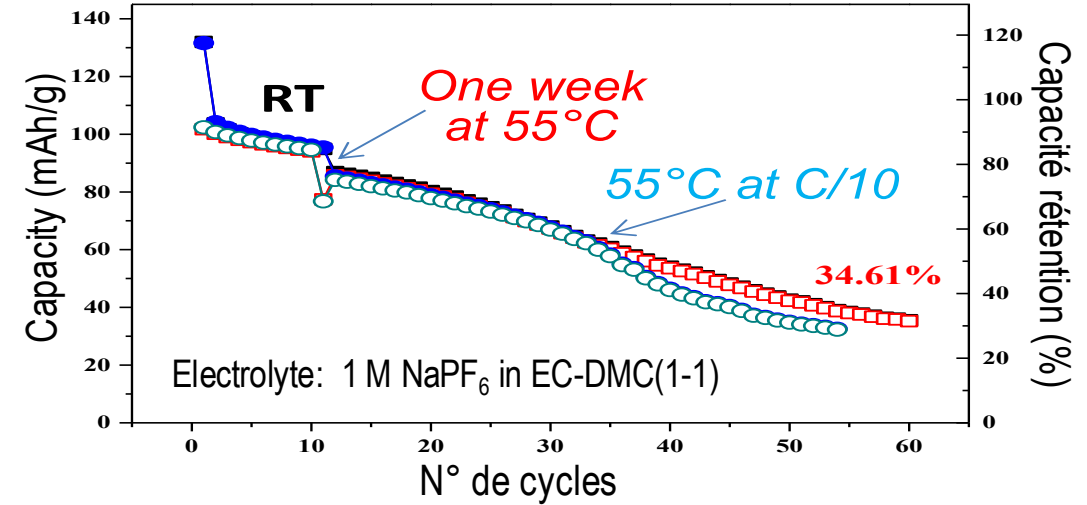
Nécessité d'innover au niveau du matériau d'électrode et de l'électrolyte

La technologie $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_2\text{F}_3/\text{C}$: Le premier prototype 18650 (2015)

➤ Performances at 25°C



➤ Performances at 55°C



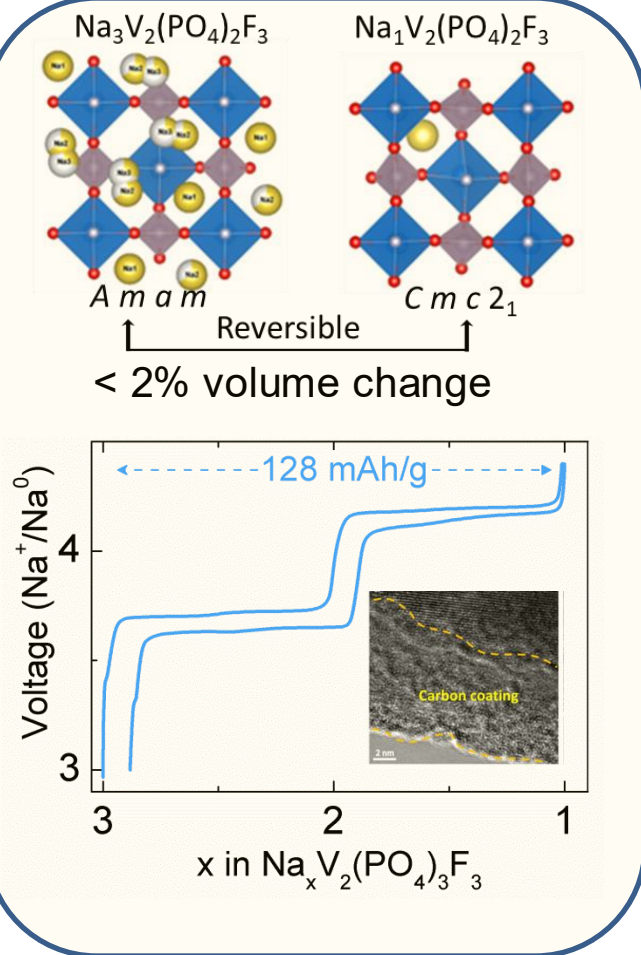
Il faut revenir aux fondamentaux pour mieux comprendre.

Innovations itératives au niveau des matériaux d'électrodes pour Na-ion

2012

Procédé d'élaboration (1kg)

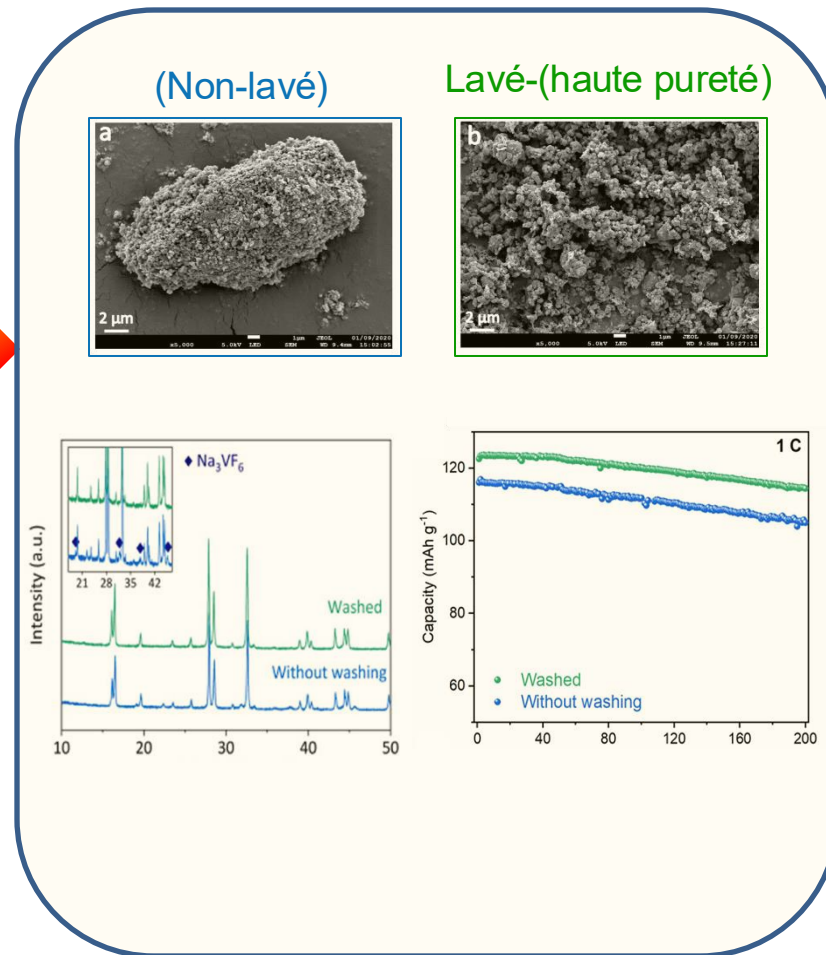
(Voie solution + chauffage réducteur)



2017

Introduction d'une étape de lavage

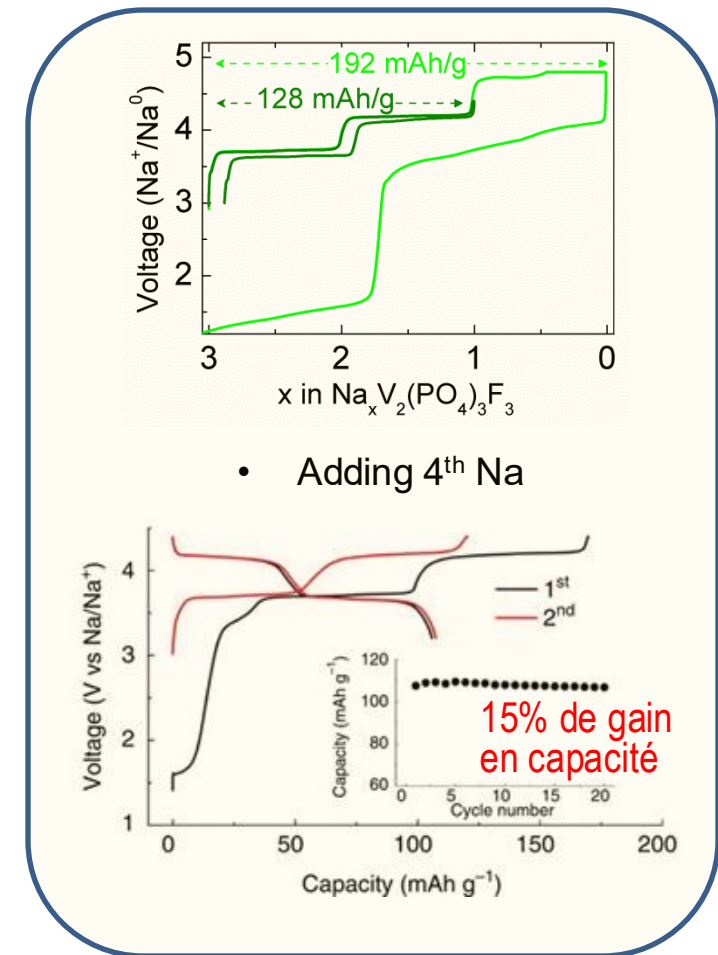
(Purification du matériau – Echelle industrielle (Tonne))



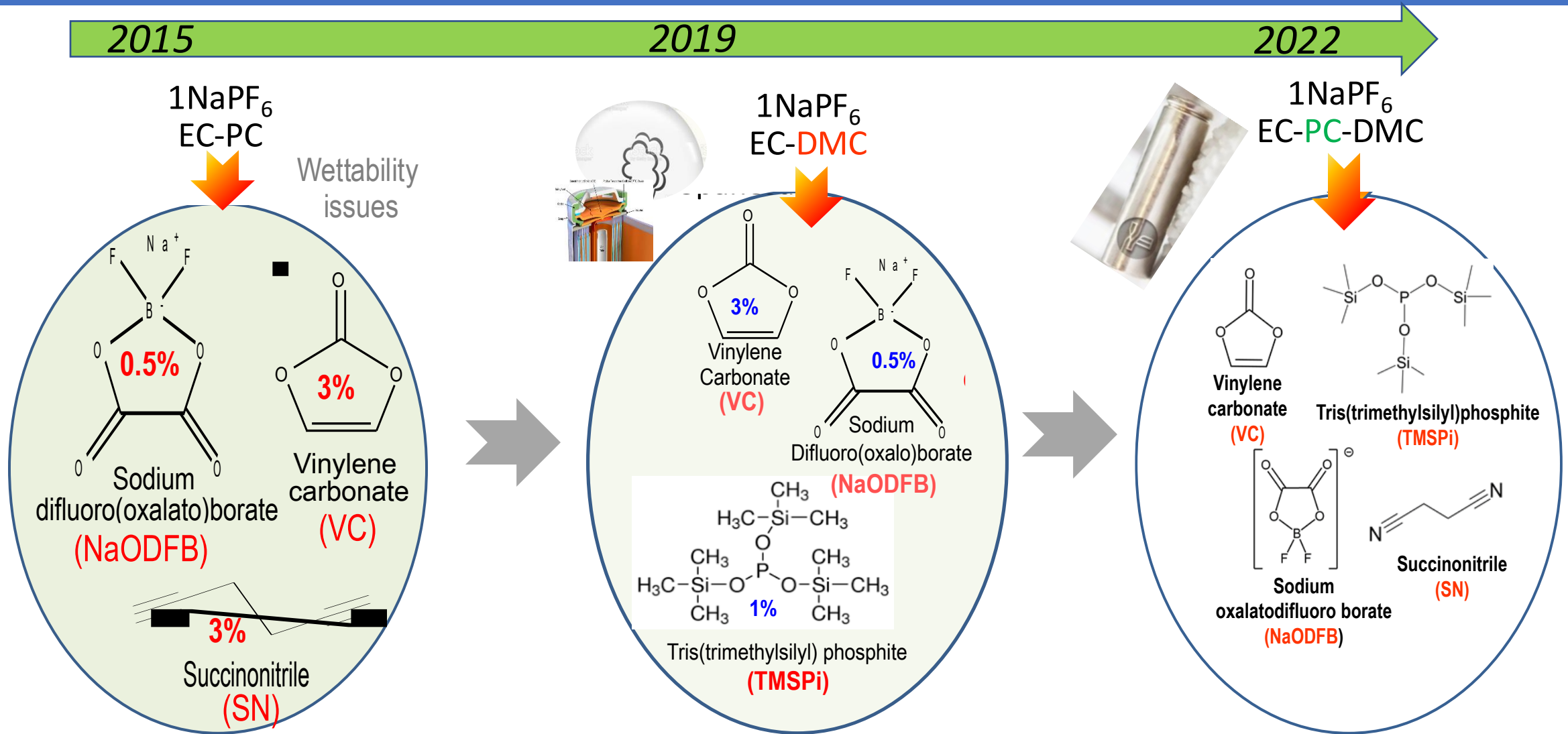
2020 ----- 2023

Augmentation de la densité d'énergie

(Accès au 3^{ème} Na en jouant sur les potentiels)



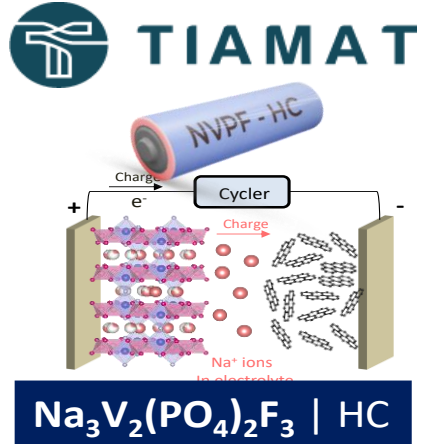
Innovations itératives au niveau des électrolytes pour la technologie Na-ion



Développement rapide de nouveaux électrolytes à l'aide d'approches combinées électrochimiques et de détection

La technologie Na-ion commercialisée dès 2023

Statut actuel de TIAMAT



Déjà sur le marché (2023)

Power tools application

On sale



Product : 1Ah single-cell to 5Ah multi-cell battery pack

Targeting a 5 GWh factory starting production by year-end 2025E

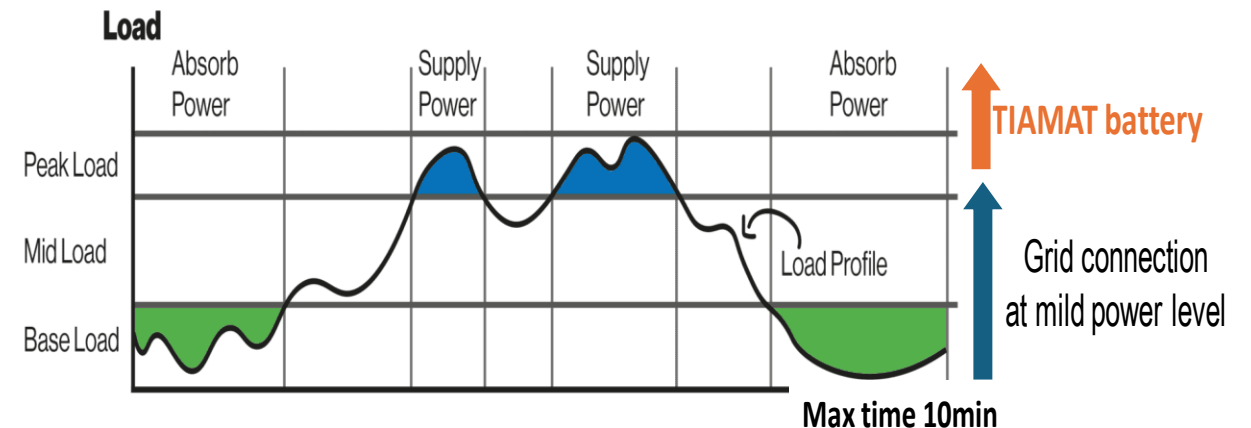
Tiamat's project is to build the first fully dedicated Sodium-ion battery cells plant in Europe



Contrat massif : application UPS



Ambitions et besoins



High power battery to supply peak power with less grid power



« TIAMAT sous-contracte la fabrication en Chine »

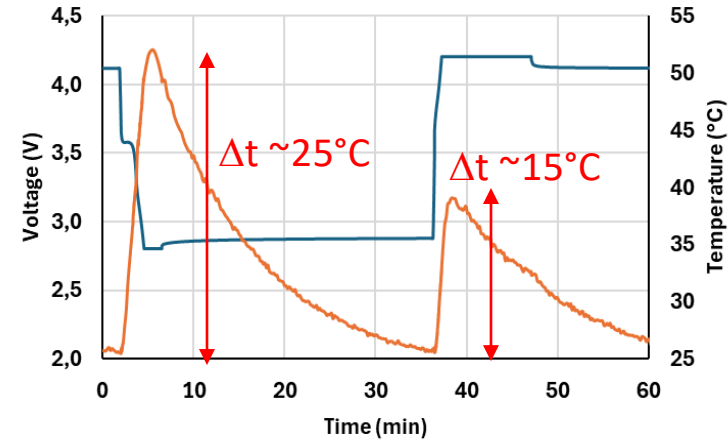
La technologie de TIAMAT répond aux besoins des datacenters

Spécificité des cellules



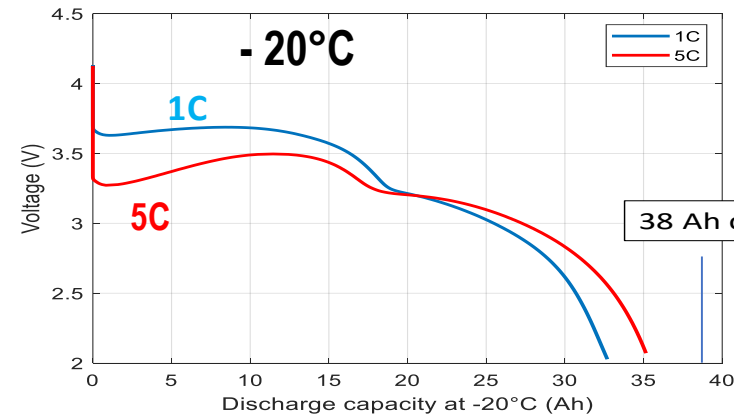
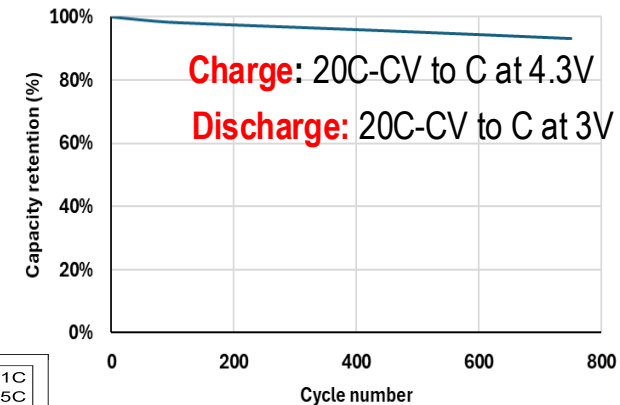
Capacity	Typical	38Ah 140Wh
Nominal voltage	Nominal Charge Discharge	3.7V 4.2V 2V
Charge current	Standard Maximum Peak (10s)	19A 210A 1120A
Discharge current	Standard Maximum Peak (10s)	19A 420A 1225A
Internal Resistance	AC (1 kHz)	<0.3mΩ
Ambient temperature	Charge Discharge	0 to 60°C -30 to 60°C
Energy Density	Volumetric Gravimetric	180Wh/L 110Wh/kg

Exemples de performances



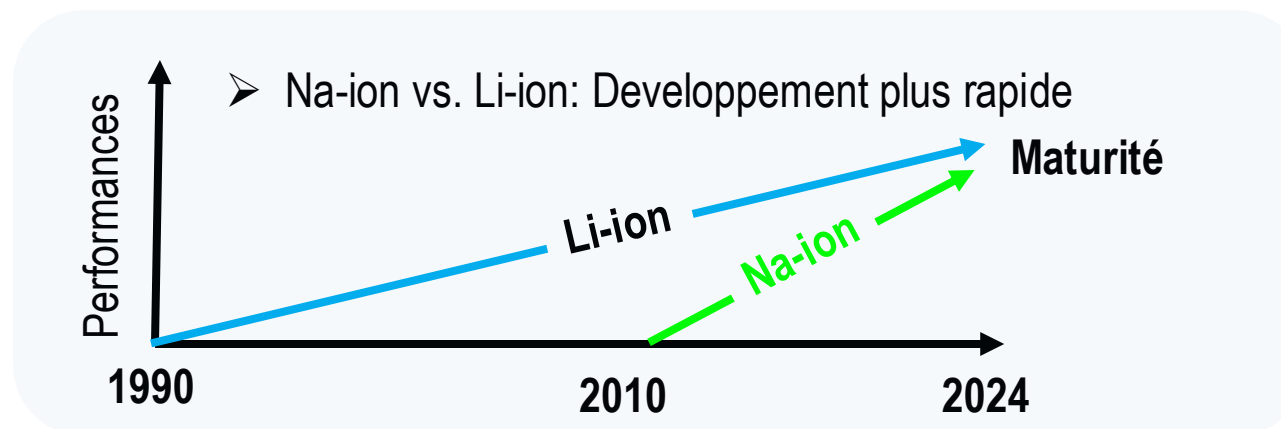
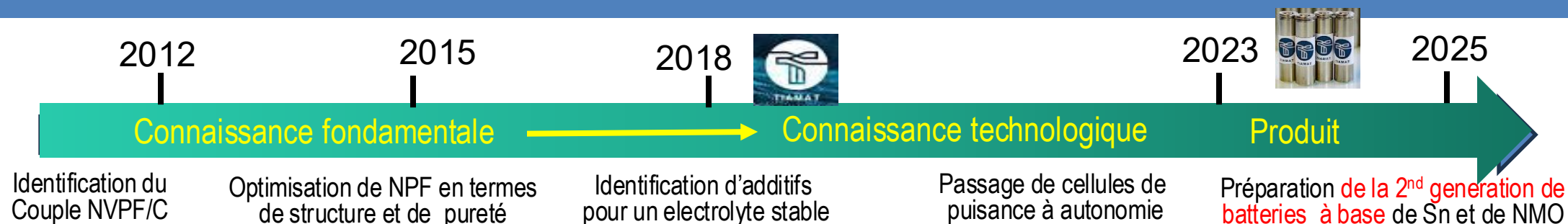
✓ Charge-décharge profil à 25 C

✓ Performance en cyclage à 20 C à (25°C)



✓ Performances à basse température à des courants élevés

Na-ion : un bref récapitulatif



"Les connaissances considérables acquises grâce aux LiB ont permis de raccourcir le chemin vers la commercialisation des NiB."

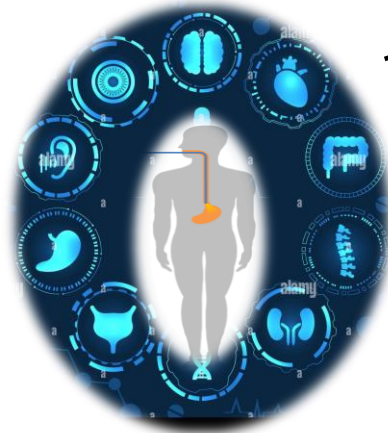


"Un développement plus rapide facilité par une nouvelle technique de diagnostic basée sur les capteurs optiques → batteries intelligentes"

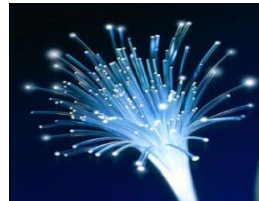
Injecter de l'intelligence dans les batteries pour augmenter leur durabilité

➤ Inspiration du domaine de la médecine

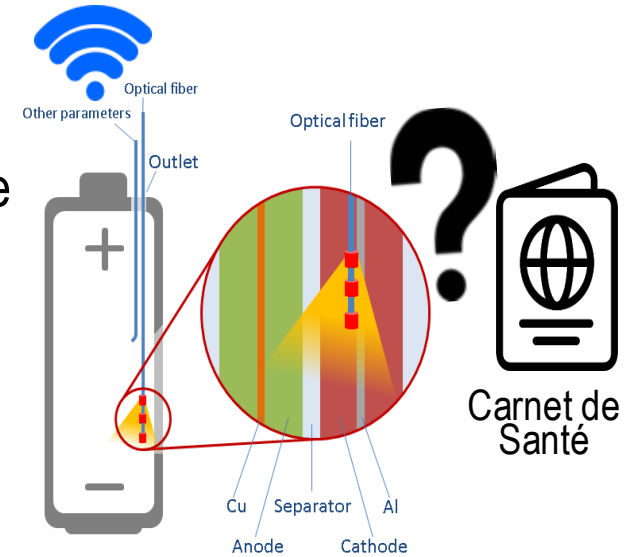
➤ Bio-médical



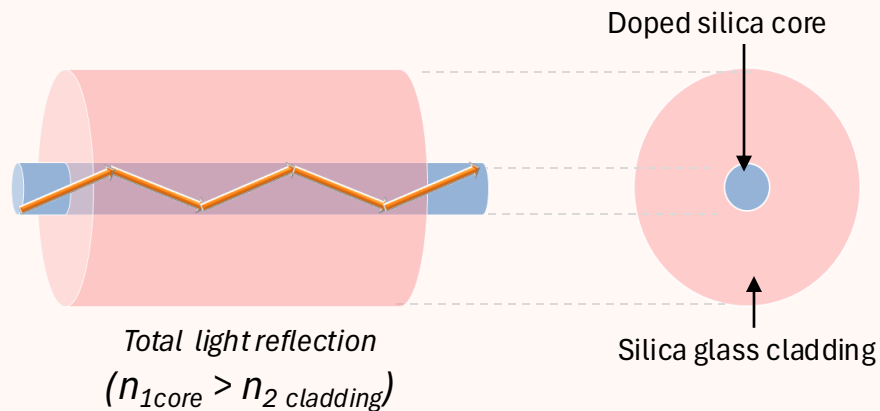
Fibres optiques



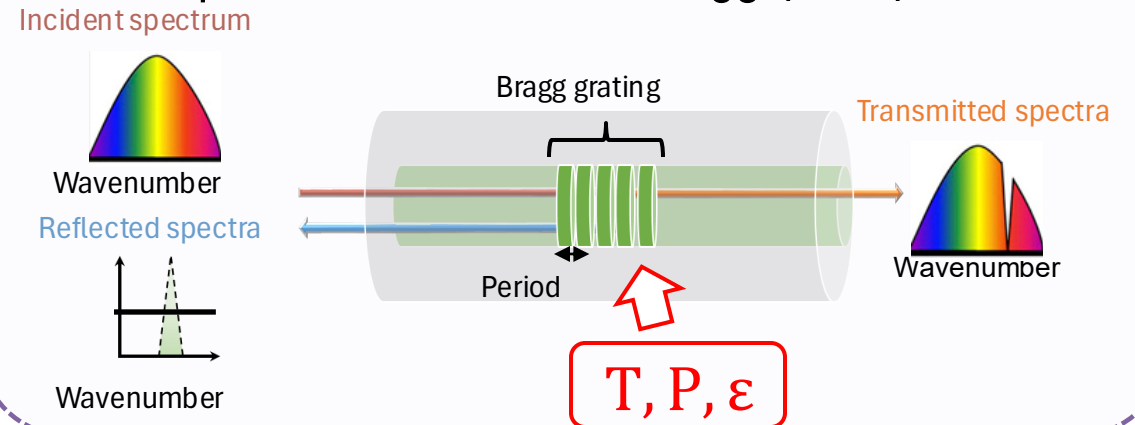
➤ Etat de santé de la batterie



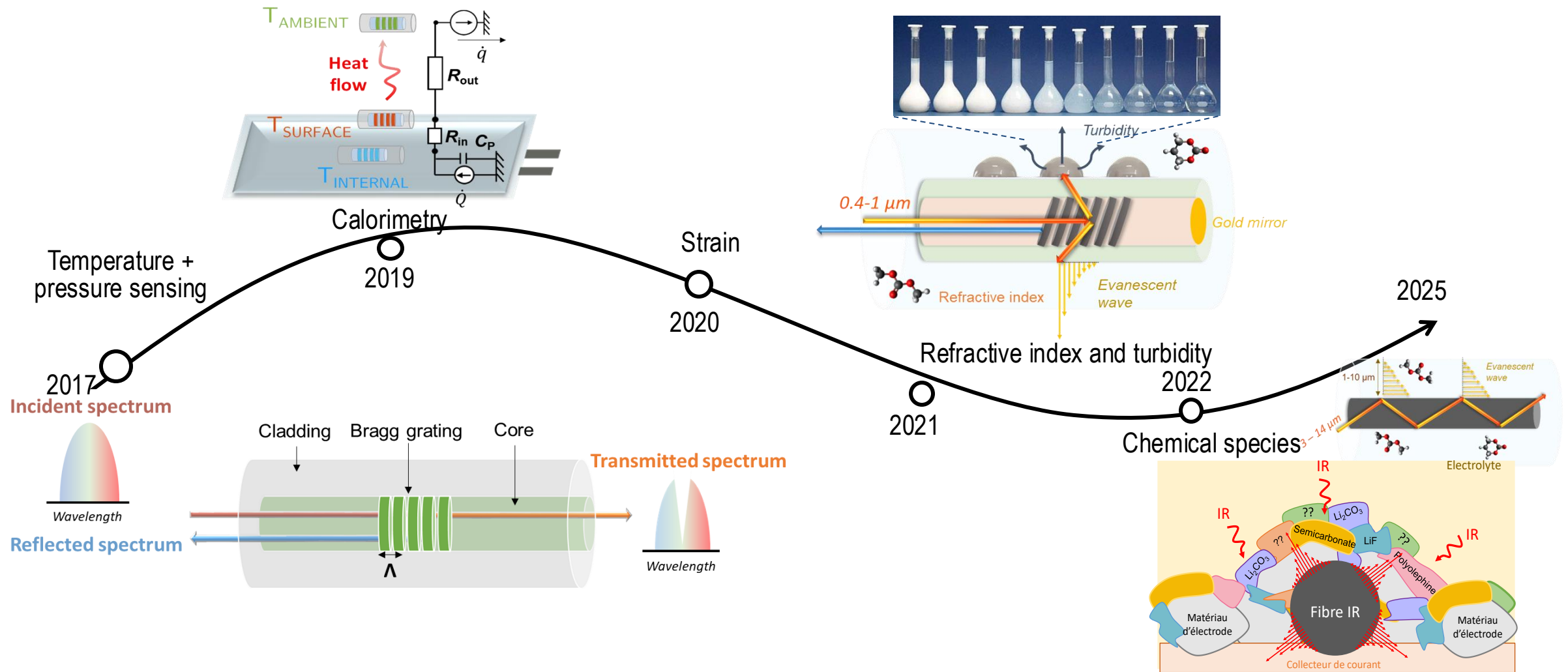
➤ Véhicule de lumière



➤ Capteurs à reseaux de Bragg (FBG)



Diagnostic des batteries par détection optique : un domaine dans lequel la France est pionnière



D'énormes opportunités pour les fabricants de batteries

↳ Raccourcir le cycle de formation, permettre une seconde vie...

Elaboration de prototypes pour des applications industrielles

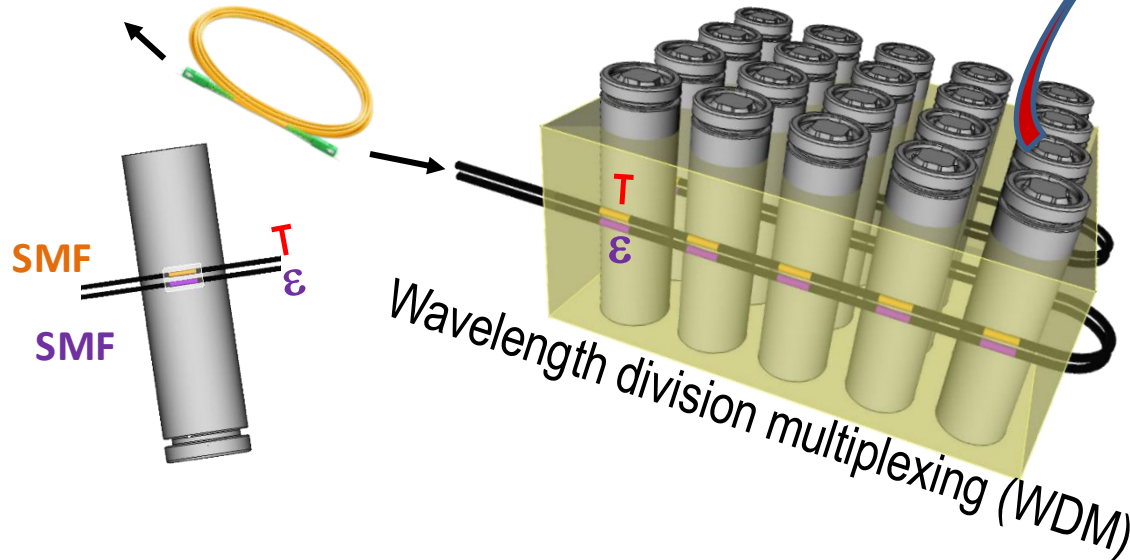
➤ Contrôle en temps réel de T et P par communication sans fil au sein d'un module

THE HONG KONG
POLYTECHNIC UNIVERSITY
香港理工大學

Prof. Hwa-yaw TAM



Further reduction
Expected (size & cost)



2017

Concept validé,
breveté et
démonstré

2024



~x années ?



Les innovations qui requièrent des connaissances dans plusieurs domaines de recherche nécessitent des temps d'attente plus longs.

Projet en cours impliquant un large éventail de secteurs industriels et de collaborations internationales

Un objectif : garder notre avance sur les nouvelles technologies



Il ne faut pas répéter les erreurs du LFP



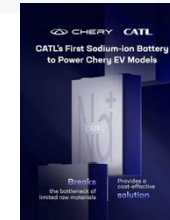
La Chine a compris l'intérêt du Na-ion, et redouble d'efforts pour développer ses propres versions.



CATL

2024-04-16

CATL's First Sodium-ion Battery to Power Chery EV Models



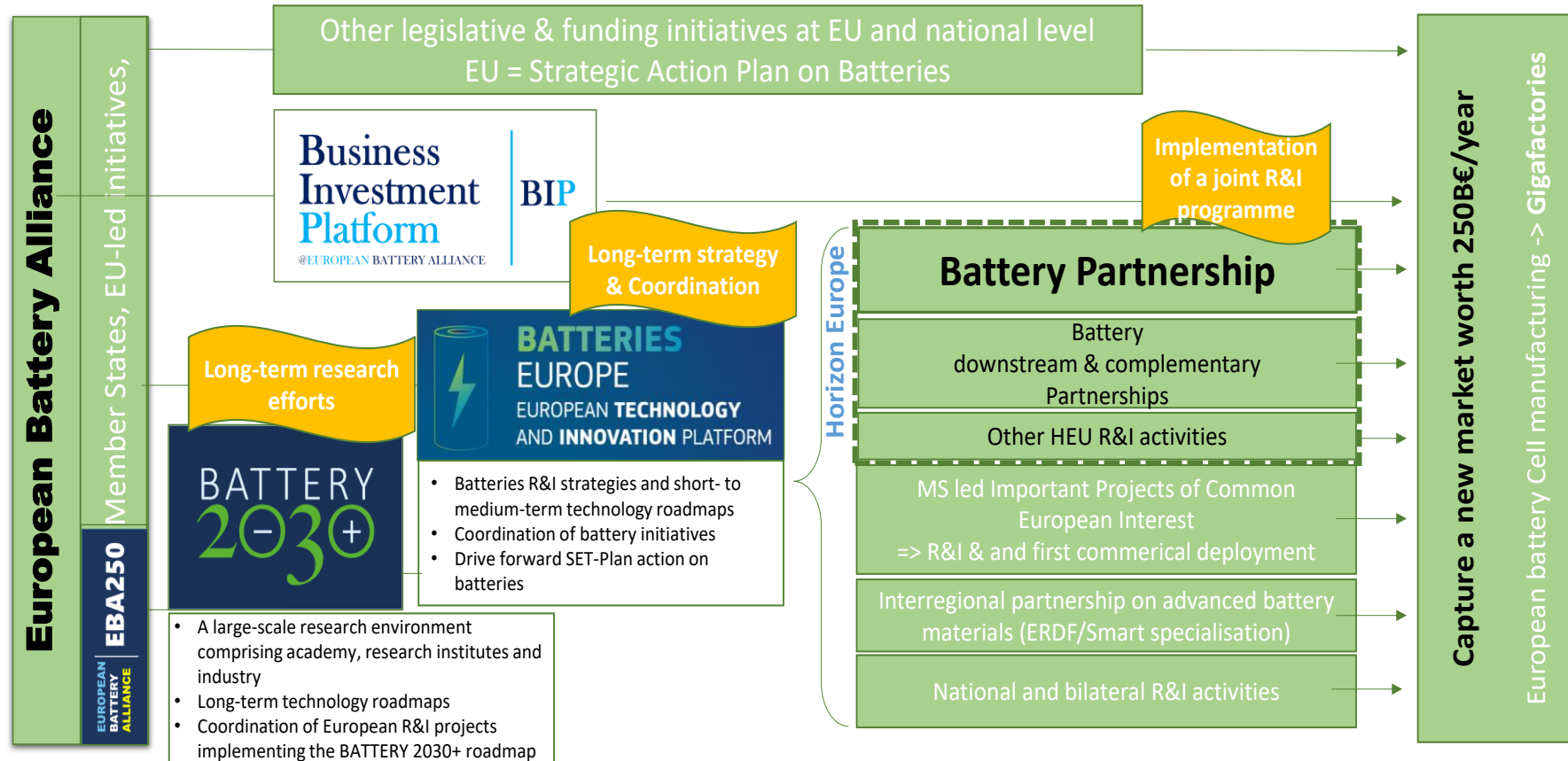
Nécessité d'une décision stratégique au niveau national ou européen

L'Europe pourrait miser sur le Na-ion comme **technologie d'avenir**, alors qu'il paraît difficile de rattraper le retard accumulé sur la technologie LFP-LFMP

Que peut-on attendre de l'Europe au niveau des batteries ?



➤ Structuration du paysage européen de R&D pour les batteries



De nombreuses initiatives mais dispersées

Absence d'une stratégie globale claire, tant scientifique que de marchés

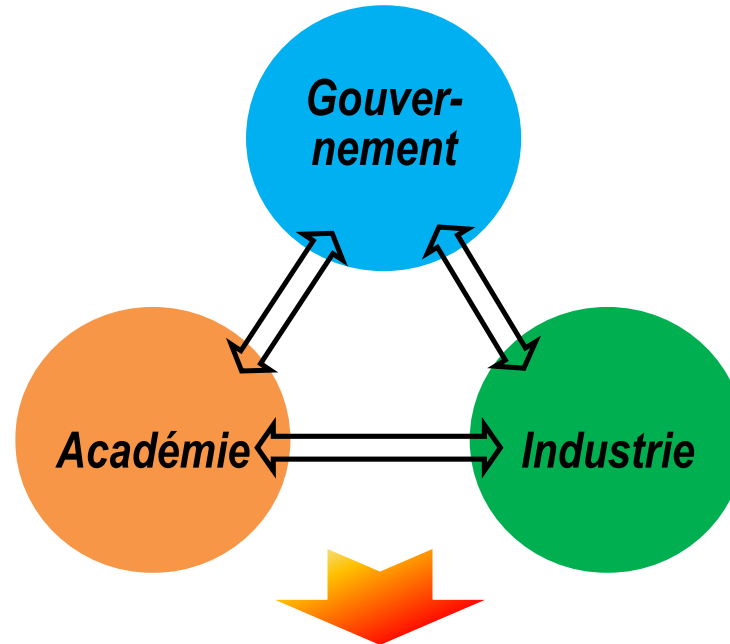
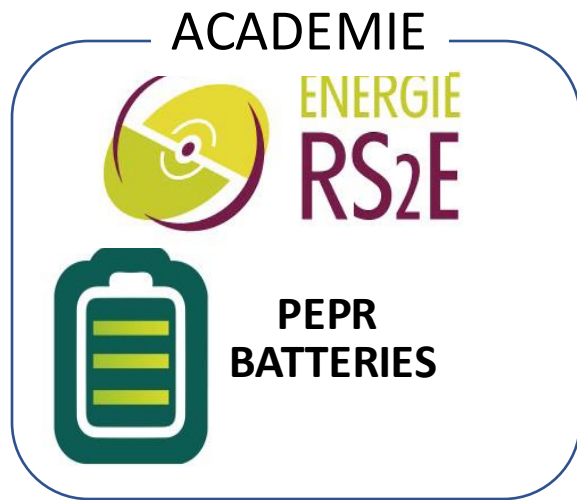
Difficulté pour prendre des décisions et agir rapidement



Quelques pistes pour atteindre la vallée de l'espoir

➤ Les outils sont là : arrêter d'agir en mode dispersé

GOUVERNEMENT



Nécessité de se structurer pour créer un écosystème de la batterie
en France et en Europe

De la vallée de la mort → à la vallée de l'espoir

Quelques pistes pour atteindre la vallée de l'espoir ?

➤ Qu'apprendre de l'expérience de NORTHVOLT?



« Certains pointent du doigt l'échec de [Northvolt](#) en en faisant le centre d'une démonstration selon laquelle l'Europe ne pourrait pas réussir.

C'est un raisonnement trompeur : en Chine, il y a probablement **des milliers d'échecs.**— **mais ce n'est pas ce qui retient l'attention.** »

NORTHVOLT a voulu intégrer toutes les compétences nécessaires, des matériaux au recyclage, en passant par l'assemblage voire même la formation de son personnel

L'erreur est peut-être là.

- ✓ **Prise de conscience:** La production de batteries est un processus complexe, chaque étape exigeant des connaissances spécifiques. Une gigafactory ne peut pas tout maîtriser en un temps limité
- ✓ **Une solution possible : Unir les forces** de tous les acteurs, chacun **avec sa spécificité**, pour créer une **filière européenne des batteries**, à l'image d'Airbus.

