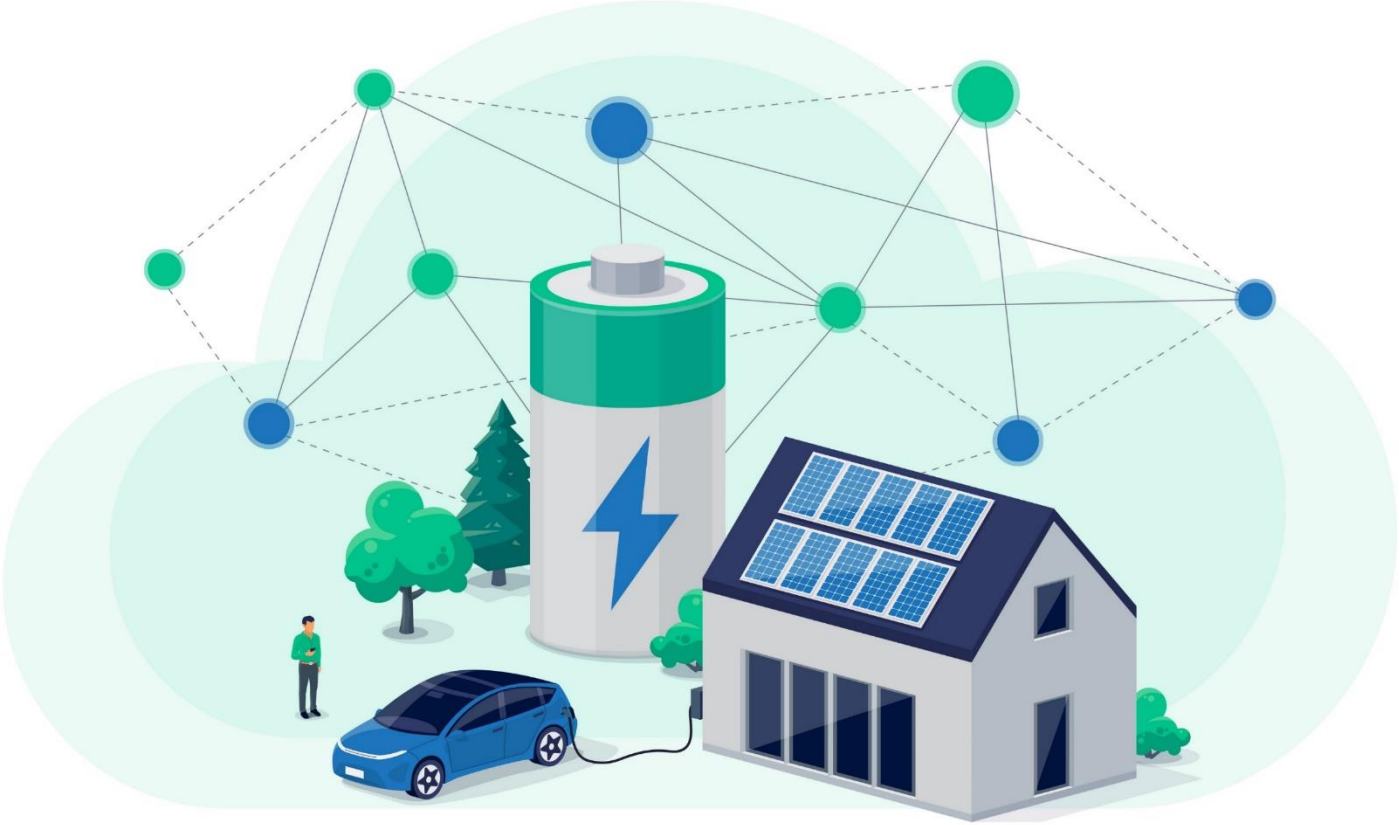
Des matières premières à la fin de vie : ce qu'il faut savoir sur les batteries de voitures électriques



Tour des présentations

Intervenants

Empa

Charles Marmy

PLANAIR
Ingénieurs conseils en énergies et environnement

Marie-Claude Bay

Introduction et modération

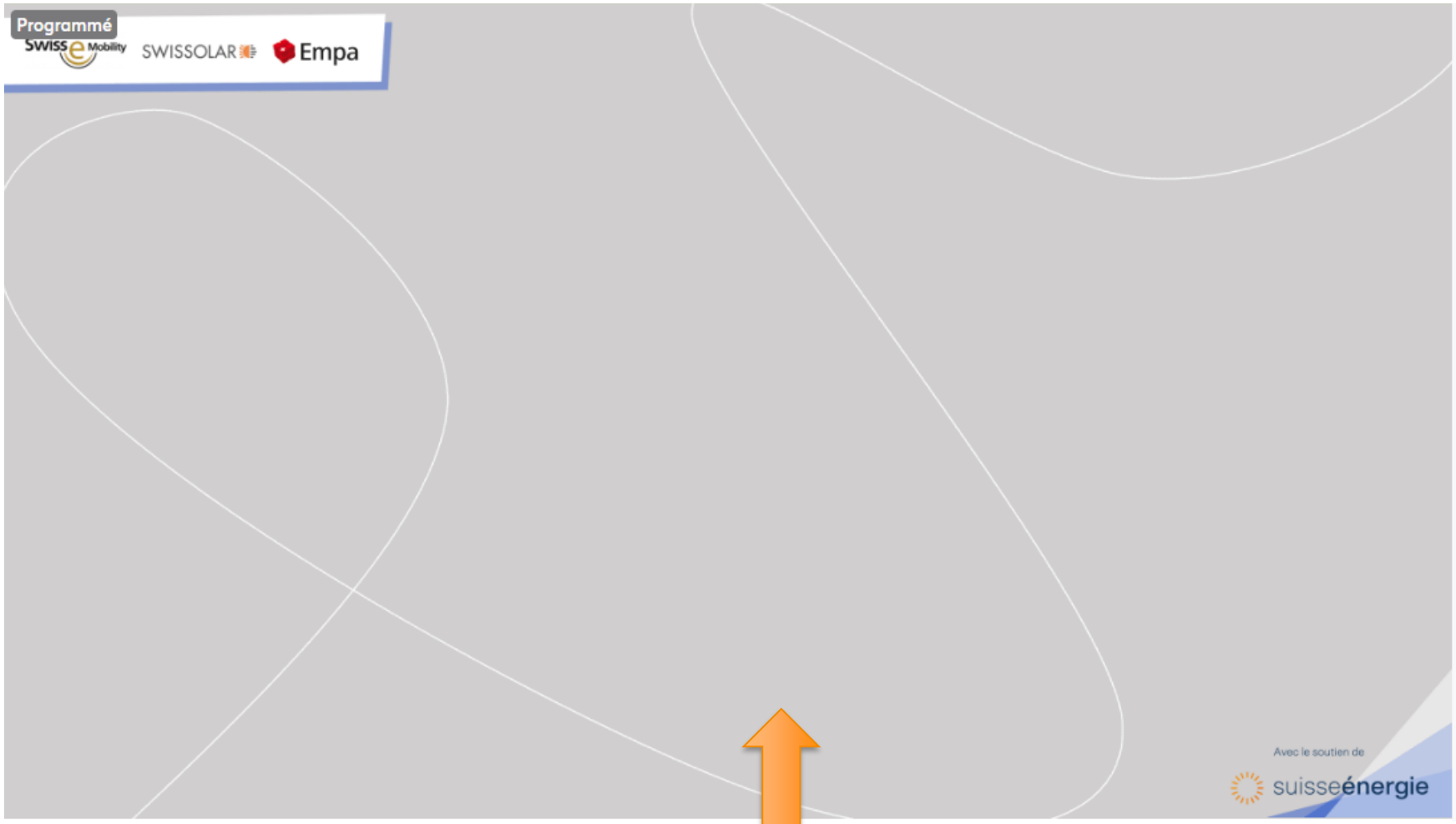
Swiss e Mobility

Geoffrey Orlando

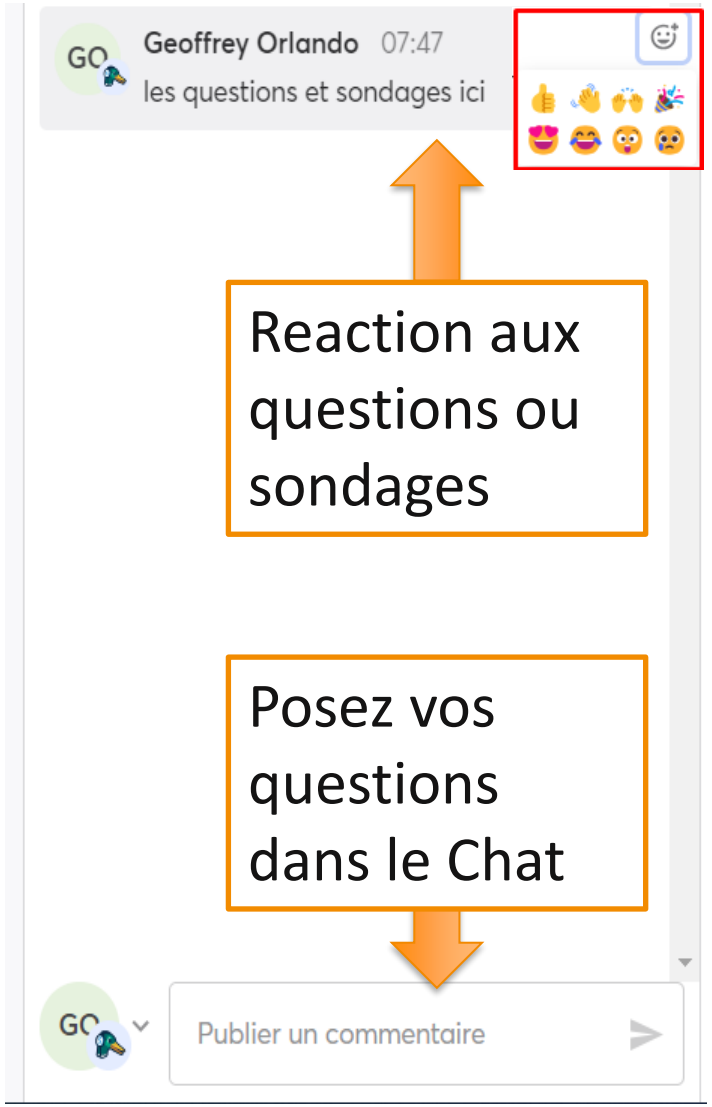
SWISSOLAR

Yannick Sauter

Instructions outil



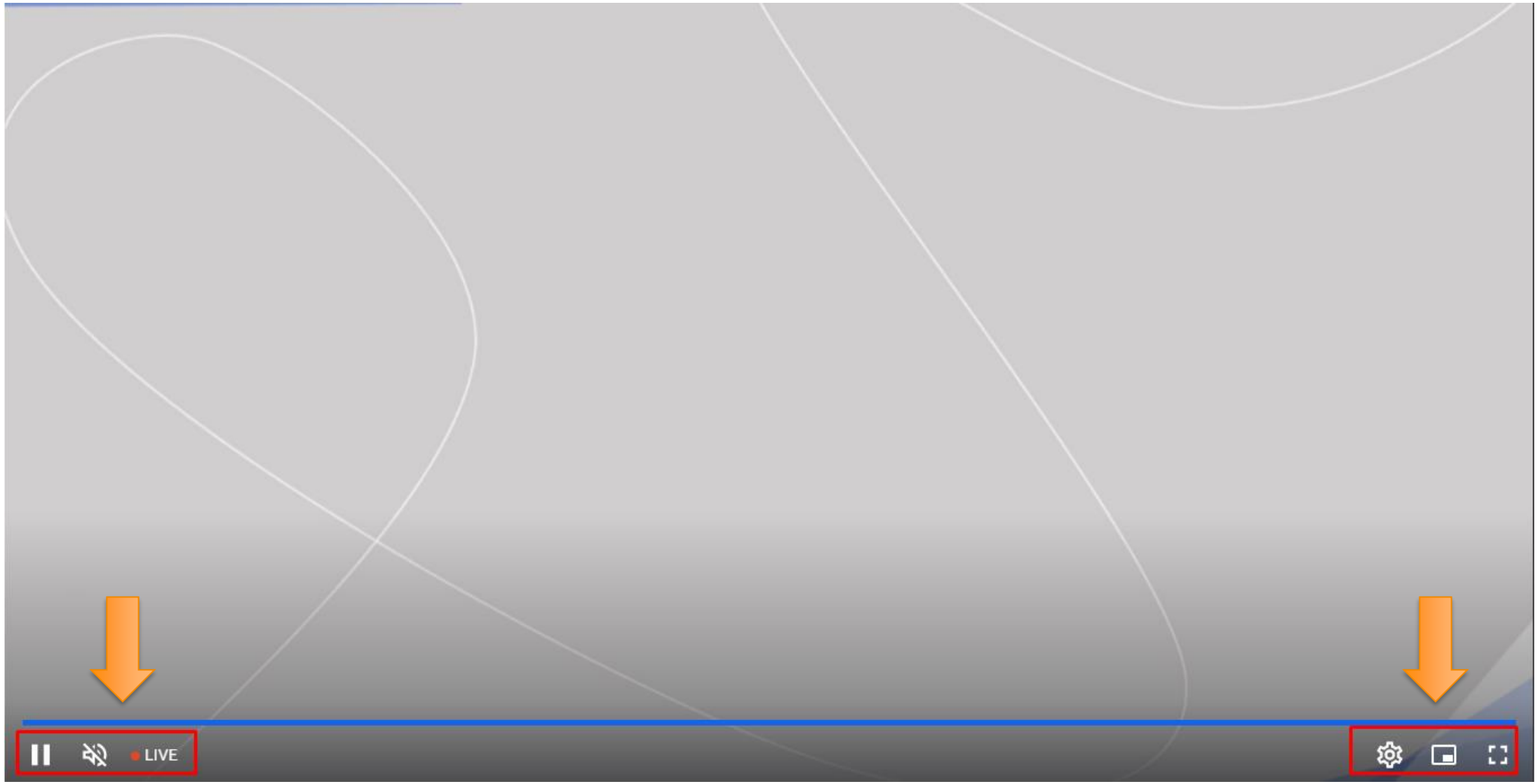
Présentation



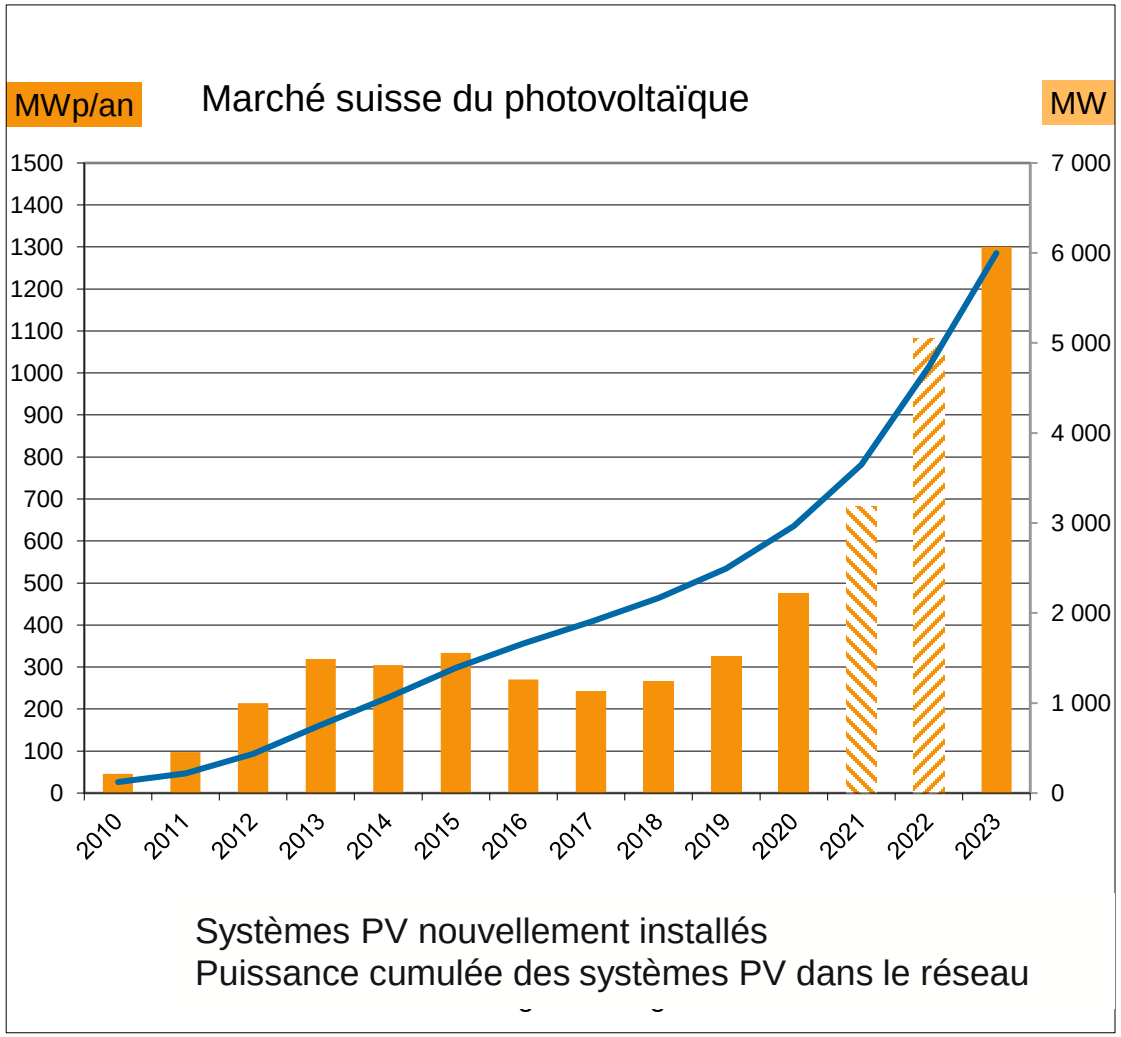
Reaction aux questions ou sondages

Posez vos questions dans le Chat

Instructions outil



Marché du photovoltaïque en plein essor



Source : Swissolar

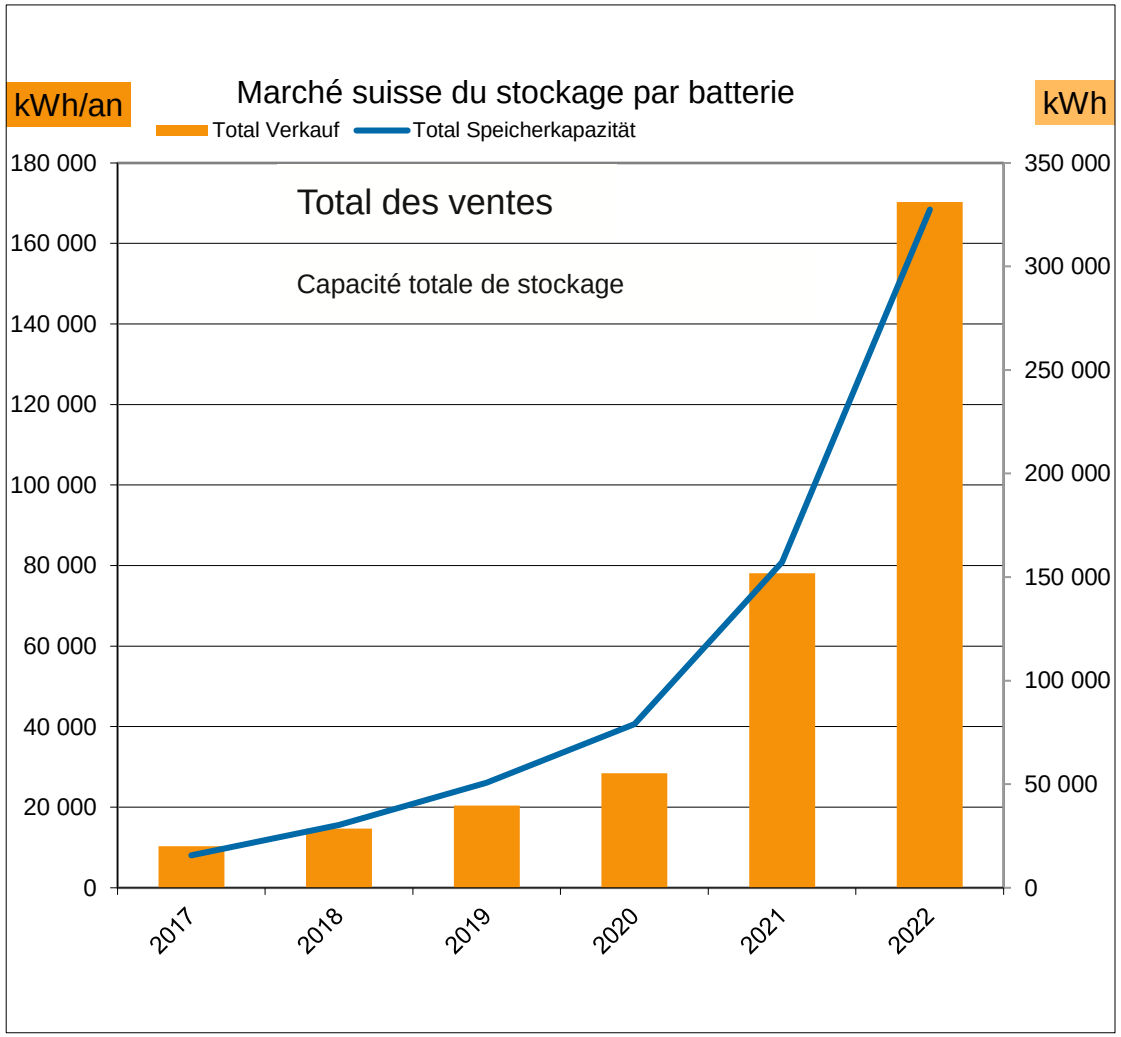
Puissance PV installée annuellement

– Faits :

  2021 : 683 MW
  2022 : 1082 MW
  2023 : env. 1300 MW

  Objectif à long terme :
  2000 MW/année

Marché suisse du stockage par batterie



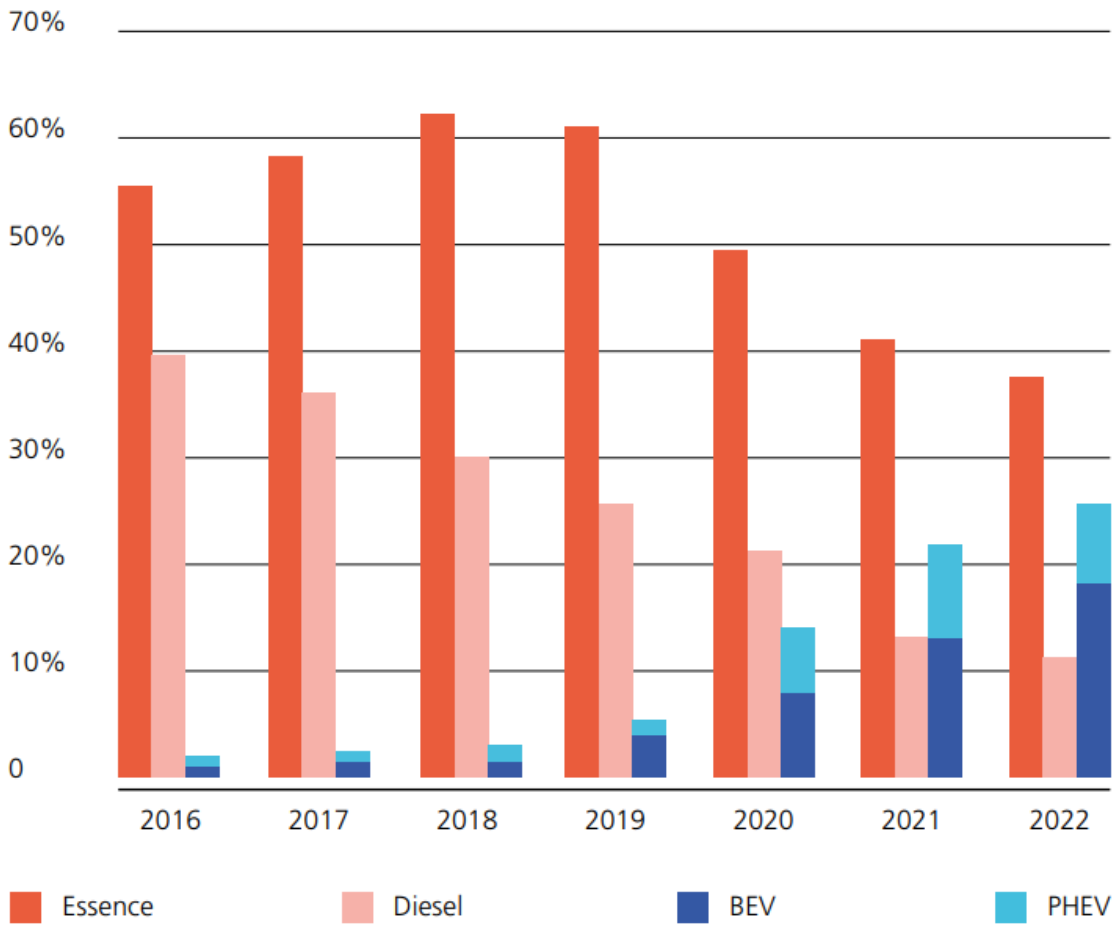
Source : Swissolar

- De 2021 à 2022 :
  - Les ventes unitaires ont presque doublé
  - La capacité a plus que doublé (+118%)

Marché

Nouvelles immatriculations par type de motorisation

2016 – 2022: Suisse + Principauté du Liechtenstein. Essence, diesel, BEV et PHEV – hors HEV, GNC et FCEV



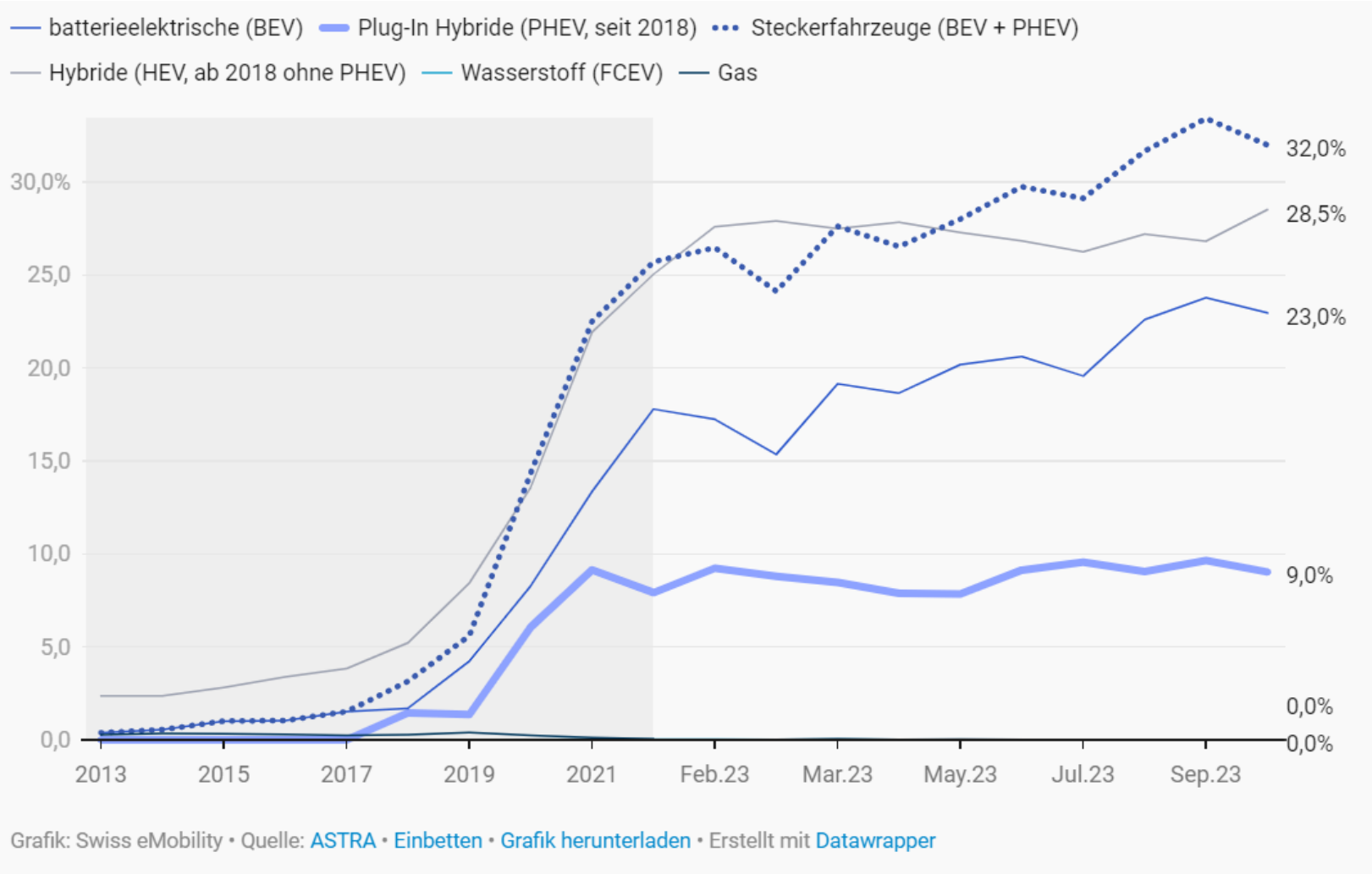
BEV : véhicules 100% élec, PHEV : Hybride rechargeable

Augmentation continue des véhicules électriques : +26,2% en 2022

Swiss e Mobility

Ventes

Part des nouvelles immatriculations de véhicules électriques en Suisse



BEV : véhicules 100% élec, PHEV : Hybride rechargeable

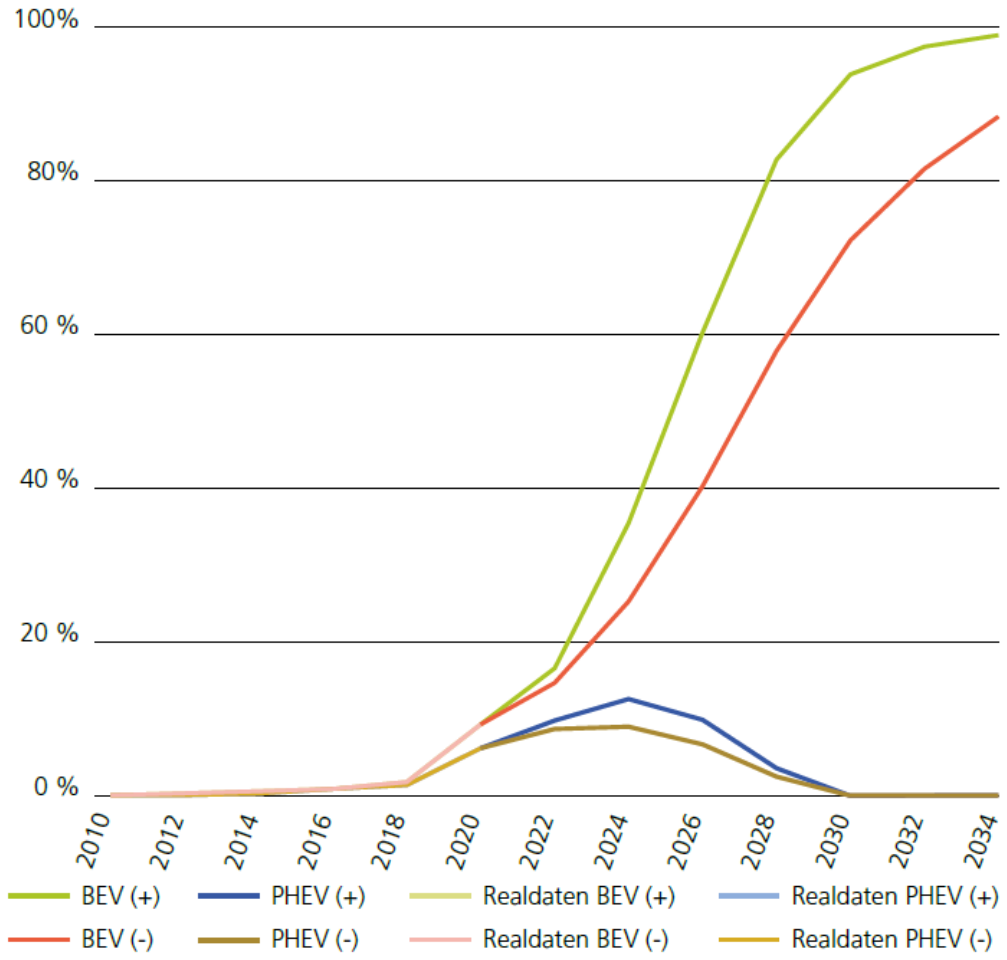
Près d'1/3 des nouvelles immatriculations

Swiss e Mobility

Projections

1 véhicule sur 2 sera électrique en 2025 dans les nouvelles immatriculations.

Projection de la part des VE dans les nouvelles immatriculations selon 2 scénarios



BEV : véhicules 100% élec, PHEV : Hybride rechargeable

Swiss e Mobility

Quelle sera la part des véhicules électriques parmi les véhicules en circulation en Suisse en 2035 ?

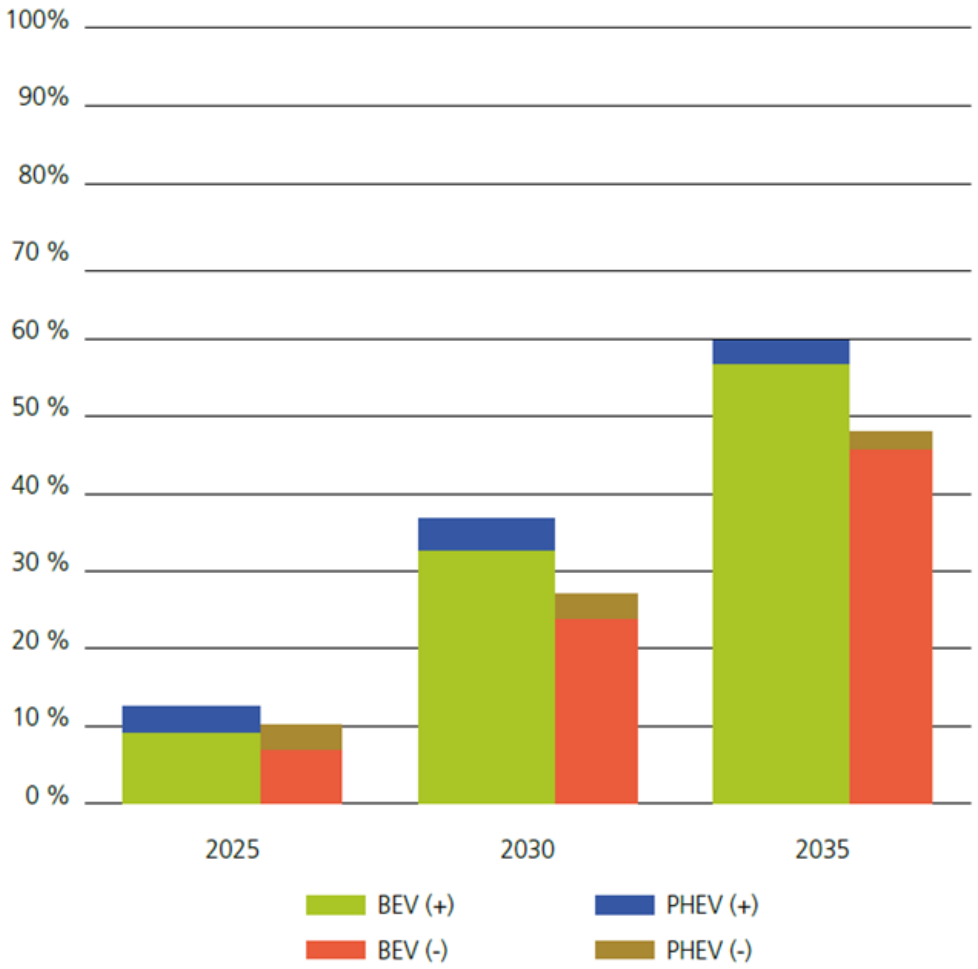
👍… 25%,
👏… 35%,
🙌… 50%,
🎉… 75%.

Projections

Augmentation de la part des véhicules électriques sur le parc automobile suisse:

- En 2025 : entre 10% et 13%
- En 2030 : entre 27% et 37%
- En 2035 : entre 48% et 60%

Projection de la part des VE dans l'ensemble du parc de véhicules de tourismes suisse selon 2 scénarios



BEV : véhicules 100% élec, PHEV : Hybride rechargeable

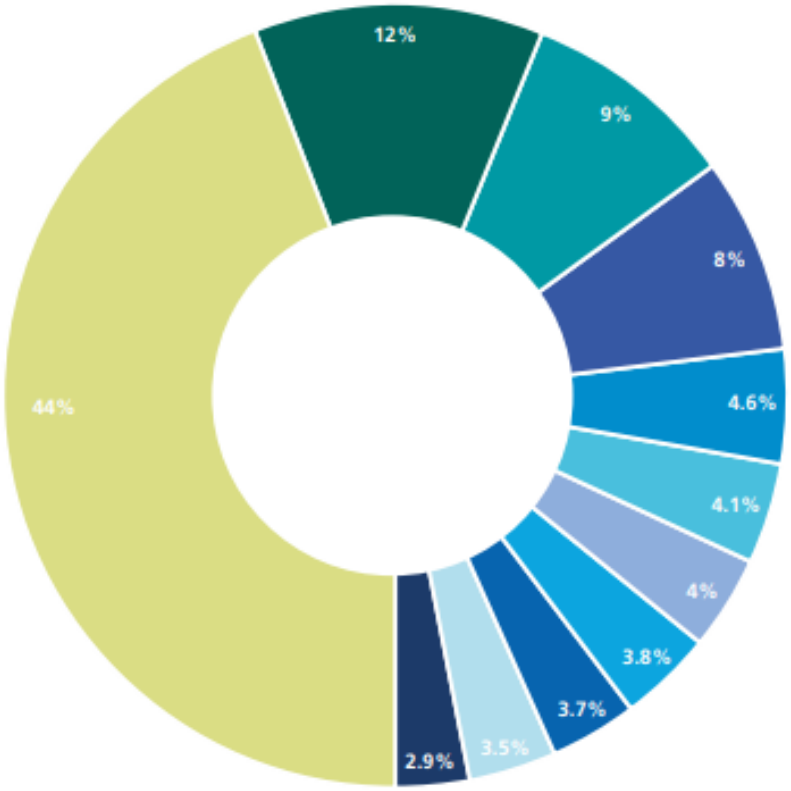
Swiss e Mobility

Ventes

Tesla en tête des ventes

Top 10 des voitures de tourisme électriques à batterie les plus vendues

2022: immatriculations de BEV, Suisse et Liechtenstein

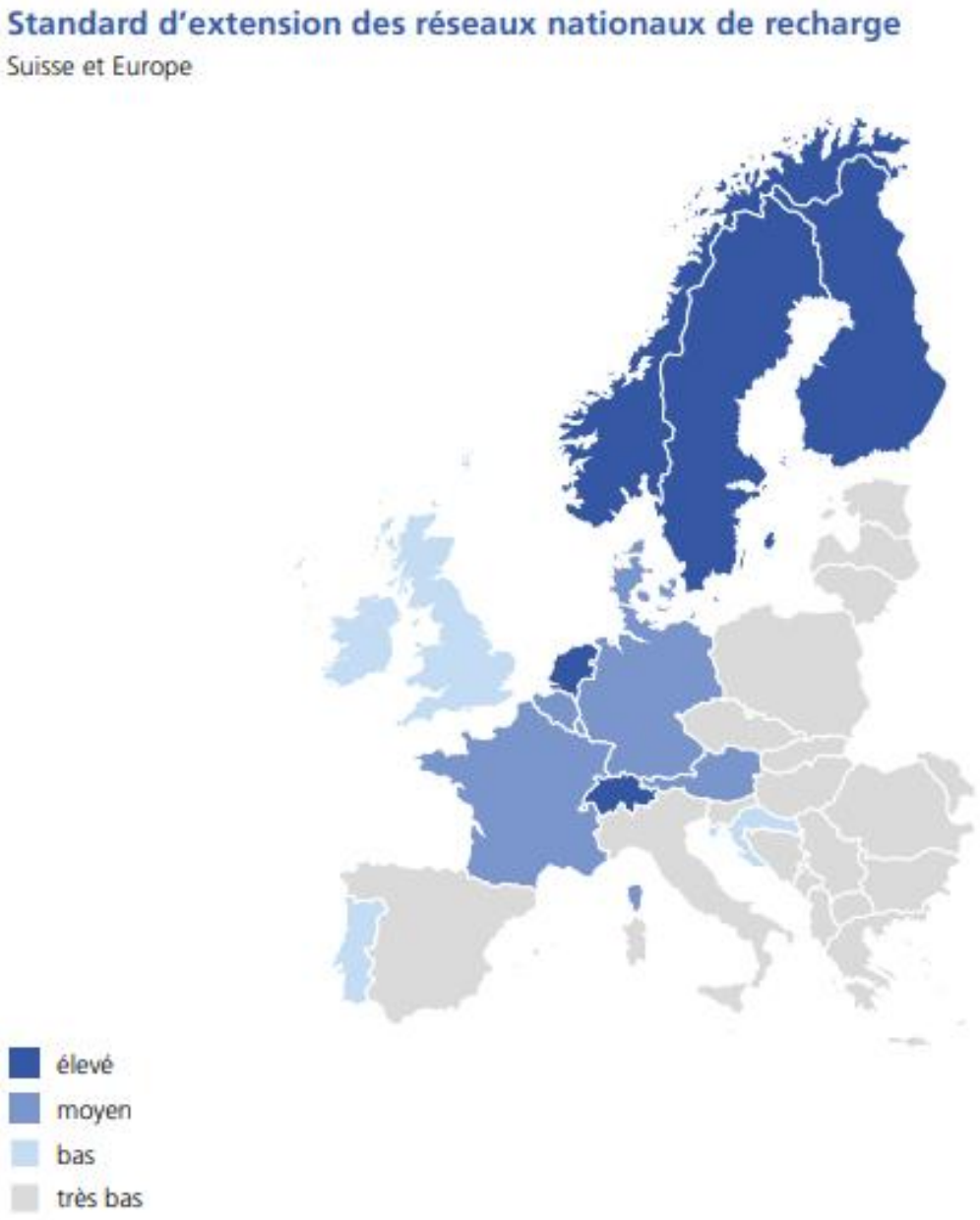


- **1.** Tesla Model Y
- **2.** Tesla Model 3
- **3.** Škoda Enyaq
- **4.** Audi Q4
- **5.** VW ID.3
- **6.** Cupra Born
- **7.** VW ID.4
- **8.** Fiat 500
- **9.** Hyundai Ioniq
- **10.** Renault Megane
- Autres

La somme des pourcentages n'est pas égale à 100, car les chiffres après la virgule sont arrondis.

Swiss e Mobility

Bornes

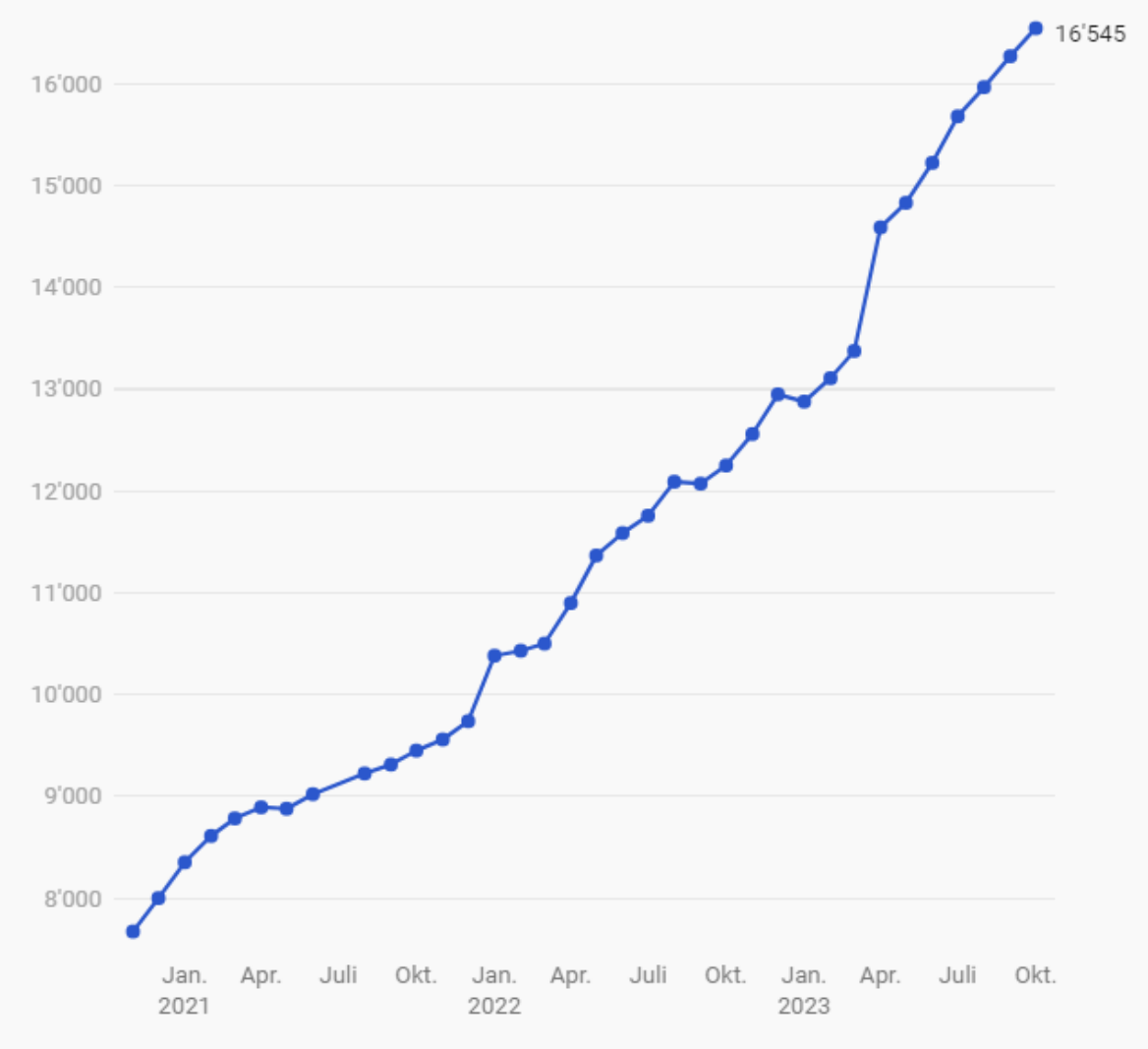


Un réseau parmi les meilleurs d'Europe

Swiss e Mobility

Bornes

Evolution du nombre de borne de recharge publiques en Suisse



Objectif : 20’000 bornes publiques en 2025

Swiss e Mobility

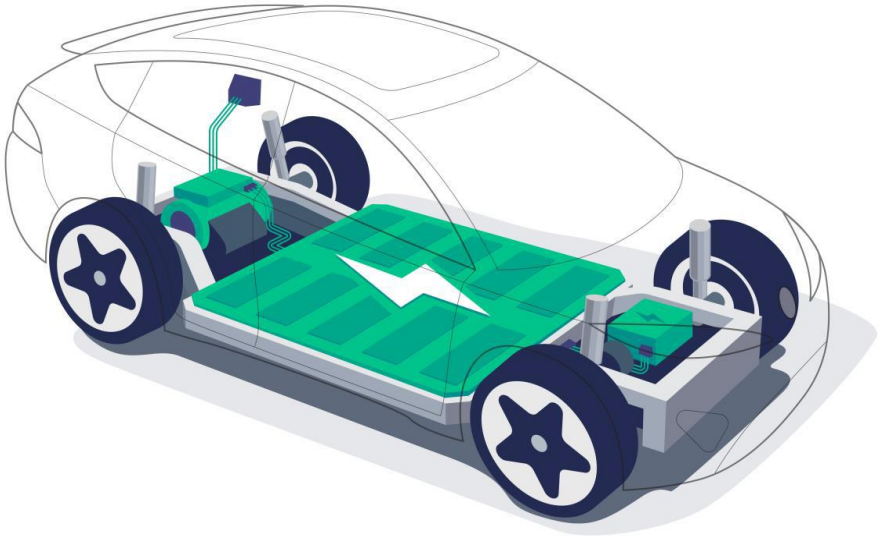
Empa
Materials Science and Technology

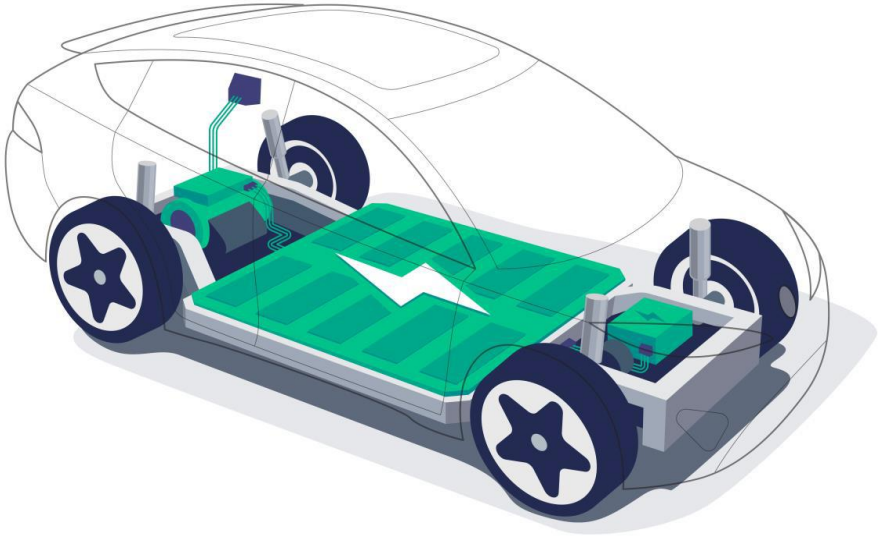
Des matières premières à la fin de vie
ce qu'il faut savoir sur les batteries de voitures électriques

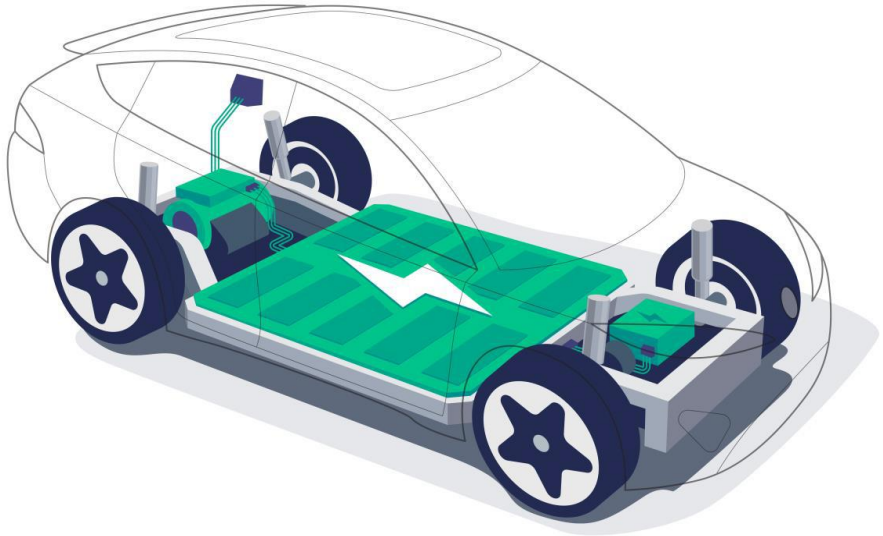
Webinaire

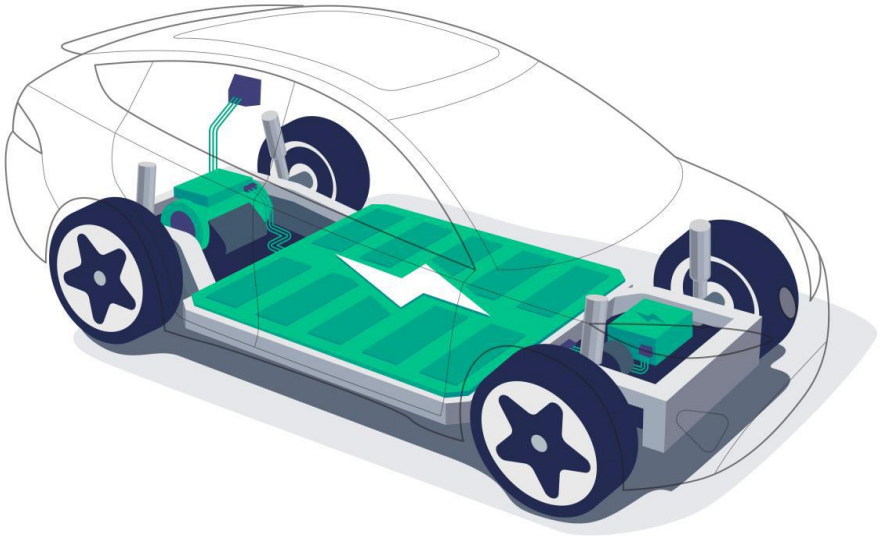
21.11.2023

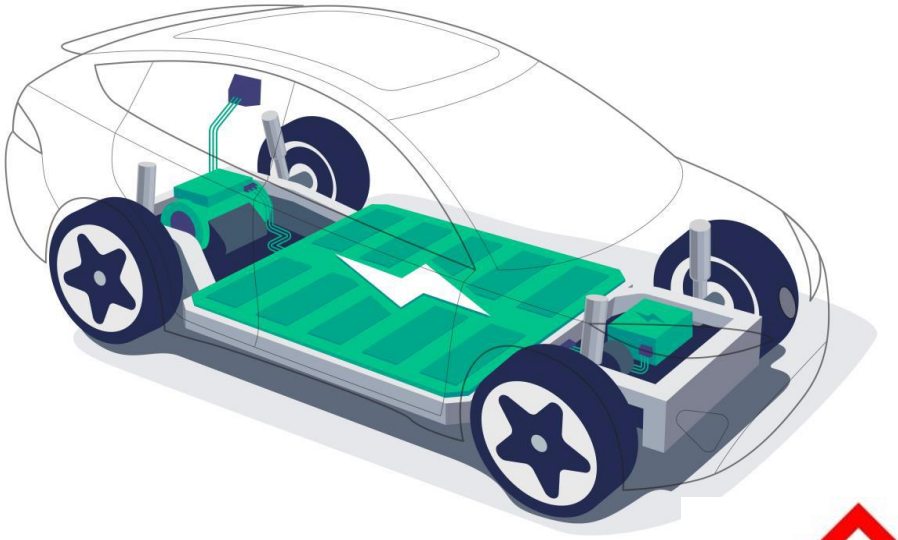
Charles Marmy charles.marmy@empa.ch
Marie-Claude Bay marie-claude.bay@planair.ch

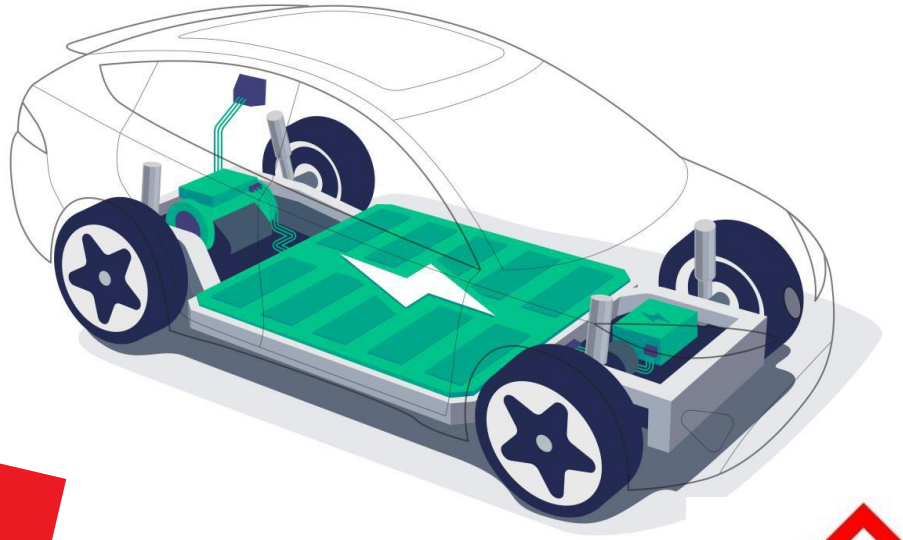


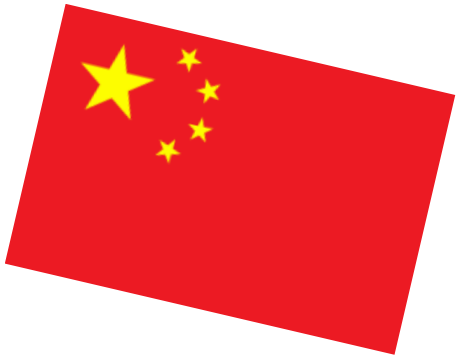




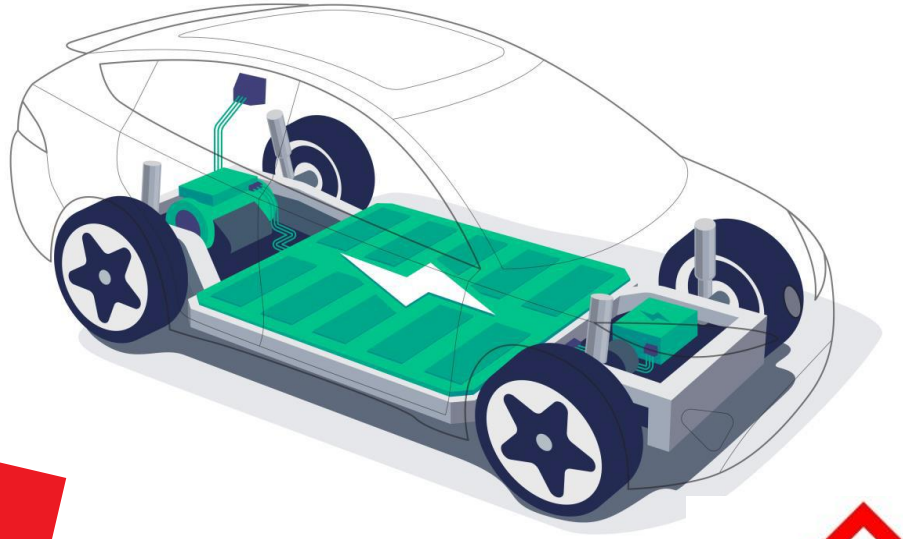


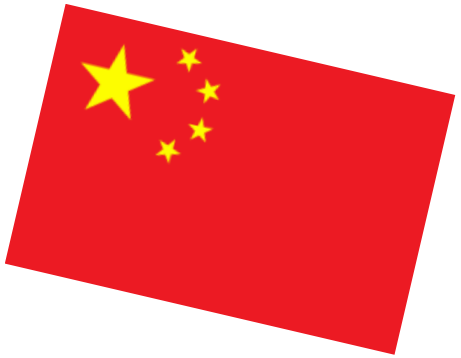






Empa
Materials Science and Technology





https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-94311.html

Empa
Materials Science and Technology

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Comité d'experts:

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

EVTEC

FH
Berner Fachhochschule

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU
Office fédéral de l'environnement OFEV
Ufficio federale dell'ambiente UFAM
Uffizi federal d'ambient UFAM

Für Mensch und Umwelt
VCS

STIFTUNG AUTO RECYCLING SCHWEIZ

Fastenaktion

HEKS
Brot für alle.

librec
Closed-loop Battery Recycling

INFRAS

Roberto Bianchetti

Empa
Materials Science and Technology

https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-94311.html

Webinaire en allemand

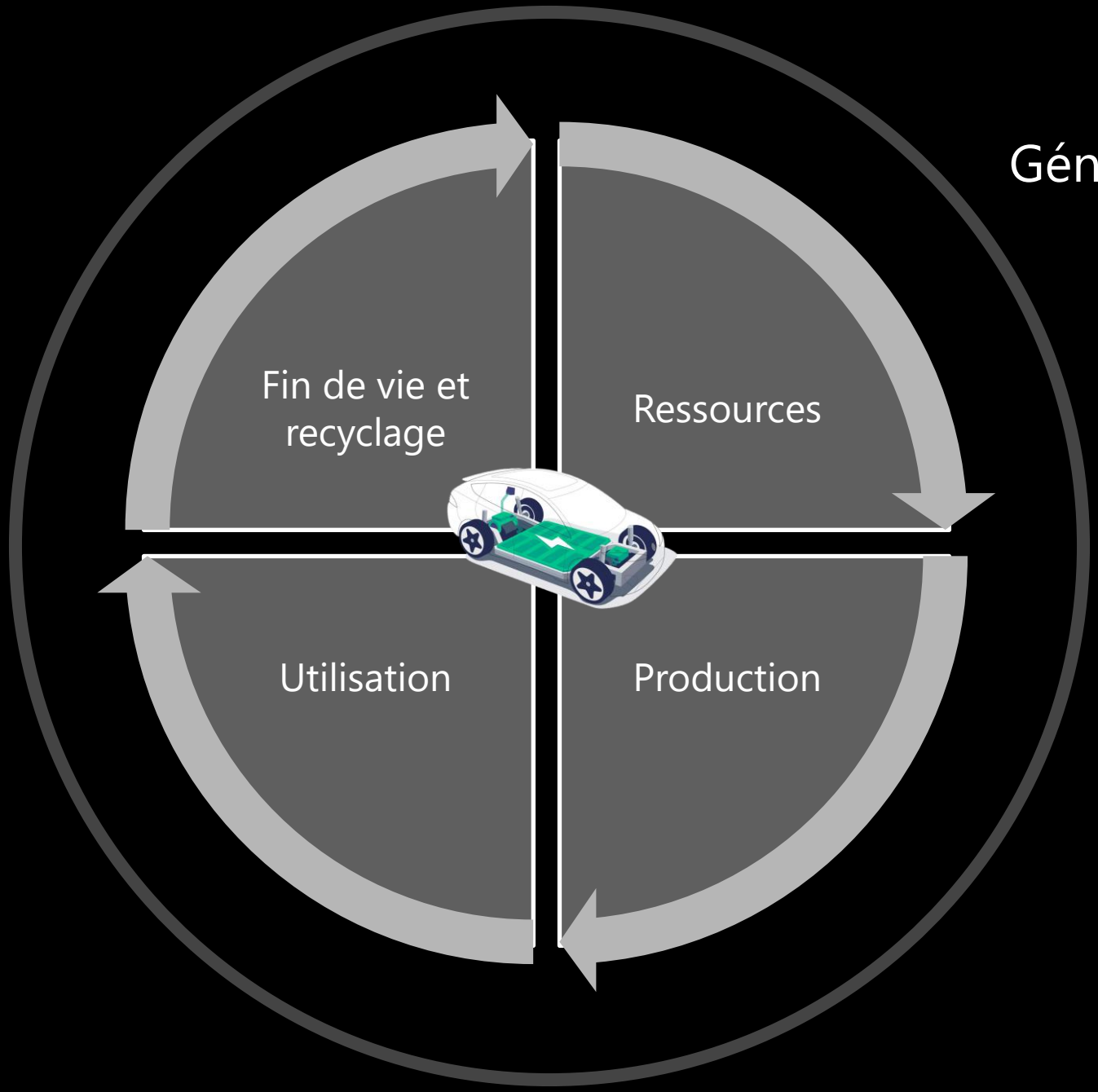
Andrin Büchel
andrin.buechel@empa.ch

Martin Gasser
martin.gasser@empa.ch

Charles Marmy
charles.marmy@empa.ch

Agenda

Généralités



Empa

Materials Science and Technology

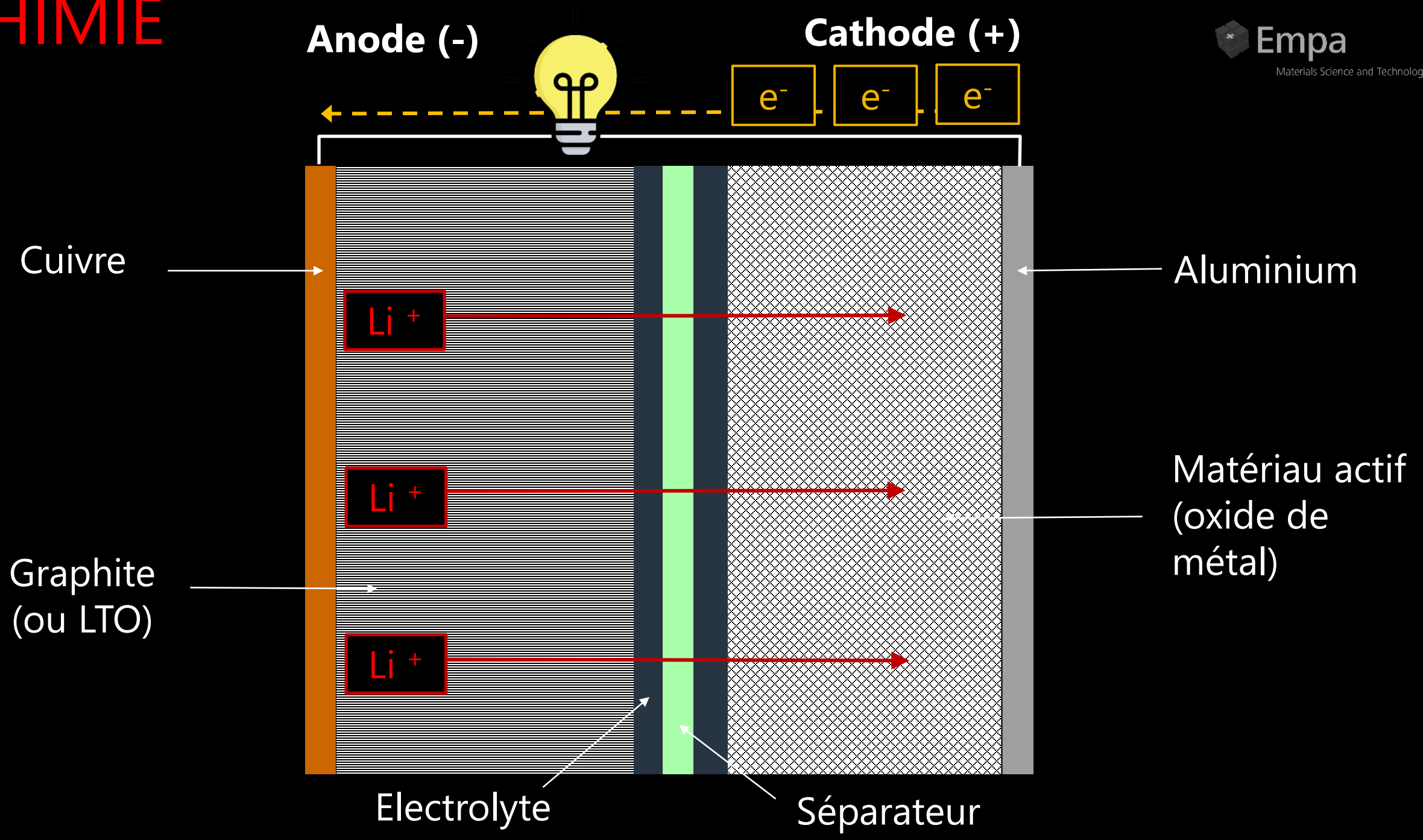
Empa
Materials Science and Technology

Empa
Materials Science and Technology

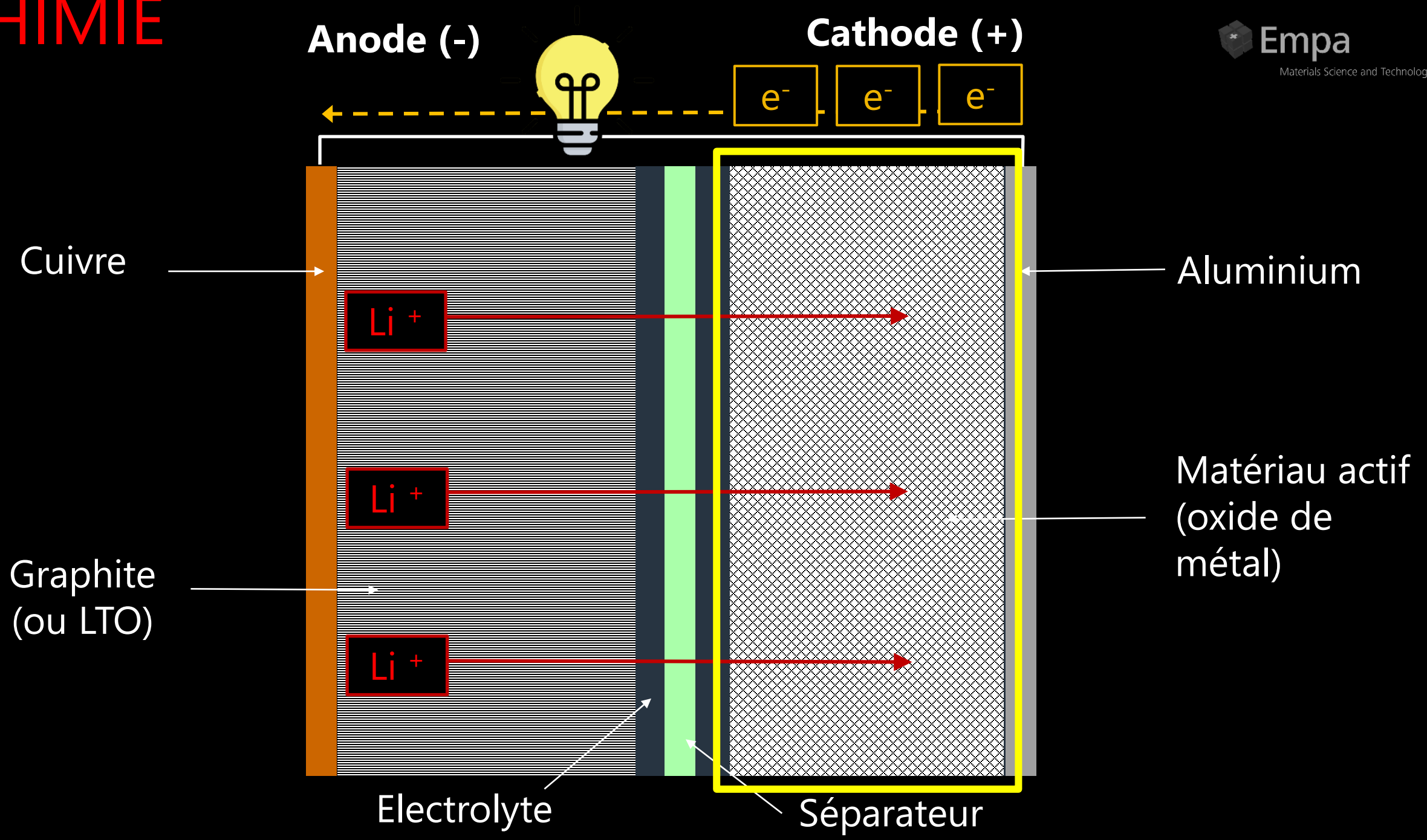
CHIMIE

FORME

CHIMIE


Anode (-)
Cathode (+)
e-
e-
e-
Cuivre
Aluminium
Li +
Li +
Li +
Matériau actif (oxide de métal)
Graphite (ou LTO)
Electrolyte
Séparateur

CHIMIE



Empa
Materials Science and Technology

Nickel

Manganèse

Cobalt

NMC

Empa
Materials Science and Technology

Empa
Materials Science and Technology

Nickel

Manganèse

Cobalt

NMC

Fer

Phosphate

LFP

Empa
Materials Science and Technology

Nickel

Manganèse

Cobalt

NMC

Fer

Phosphate

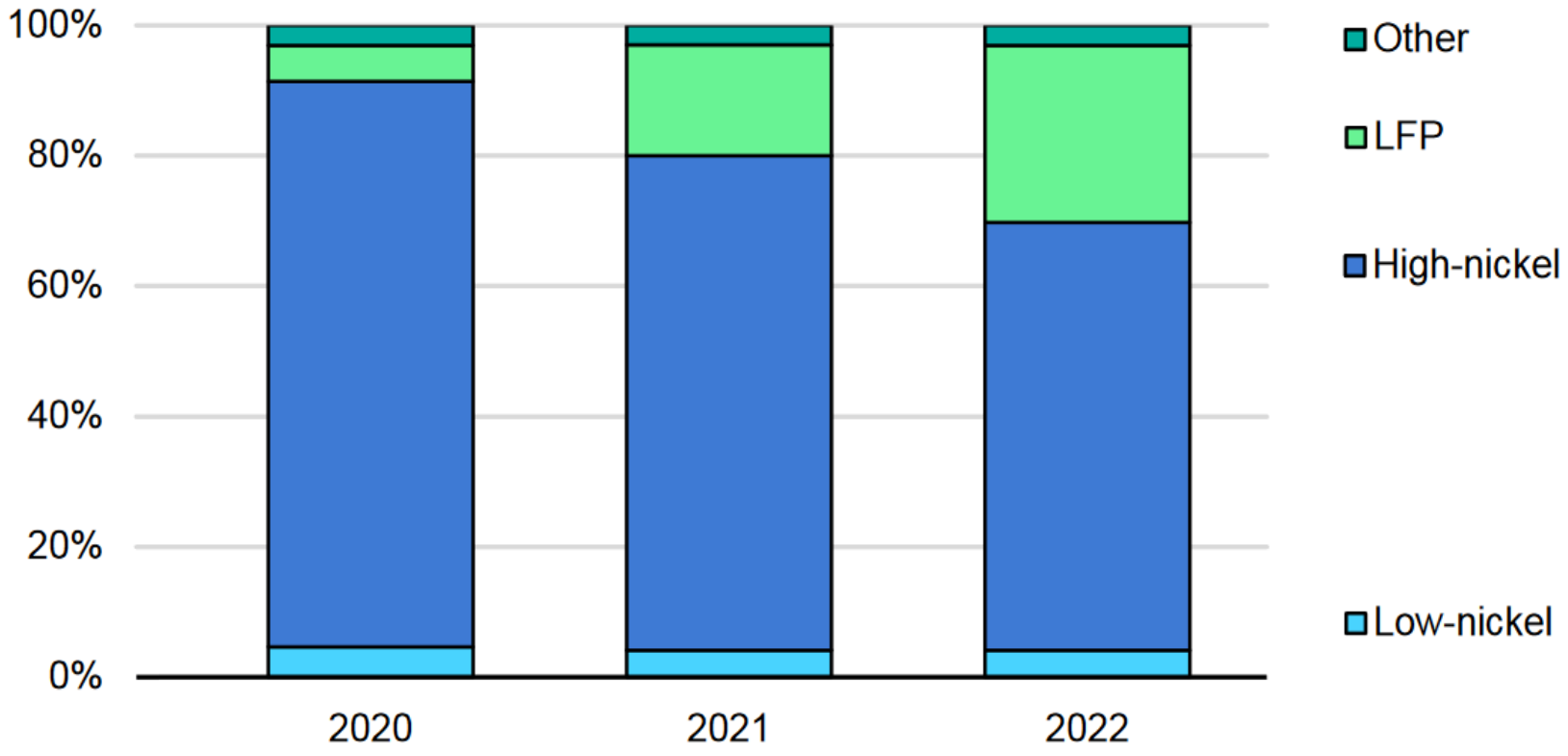
LFP

~250 Wh/kg
~1’500 cycles

~180 Wh/kg
~3’000 cycles

Empa
Materials Science and Technology

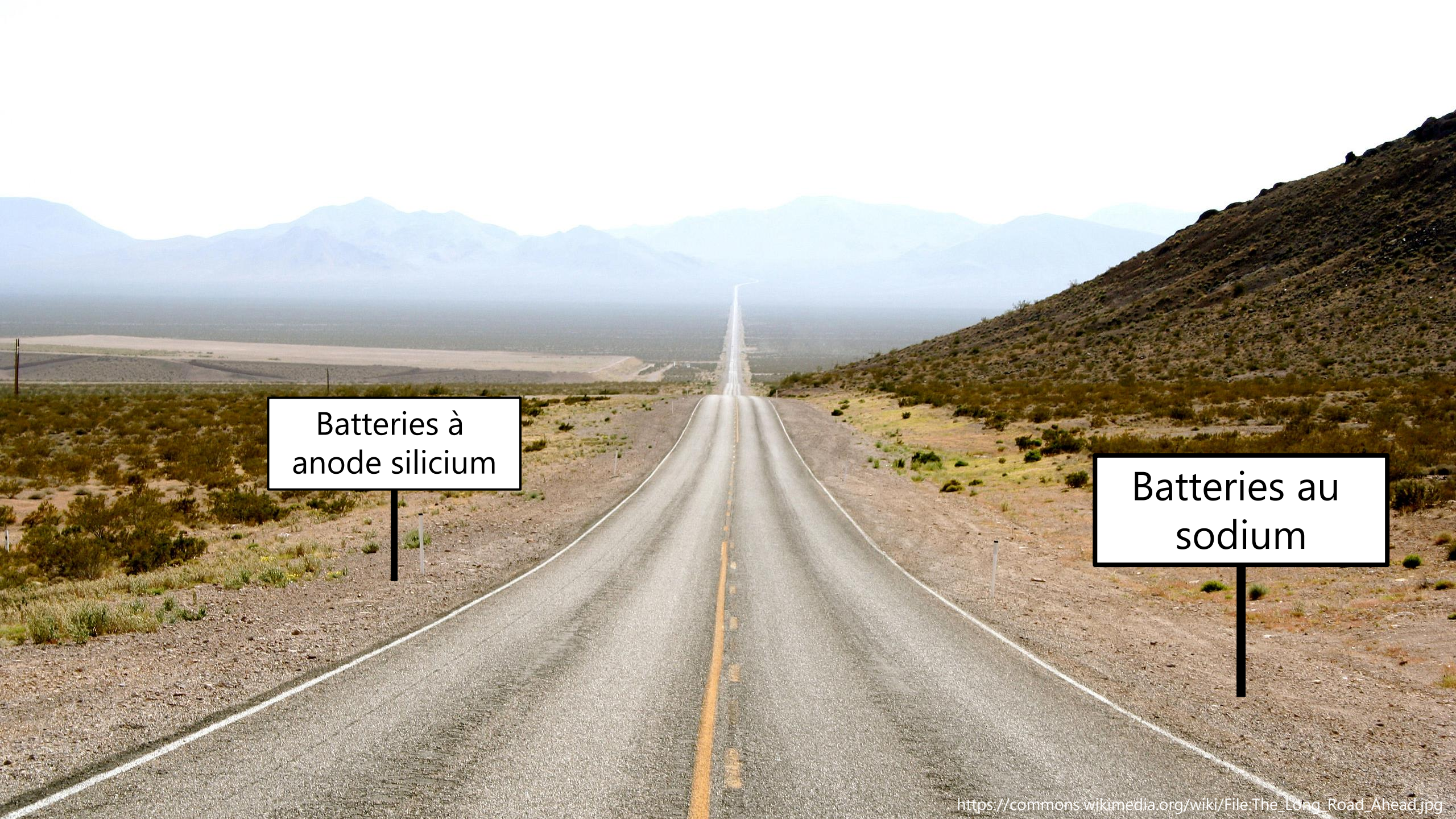
Part des différentes chimies de batteries dans le marché mondial des batteries de traction



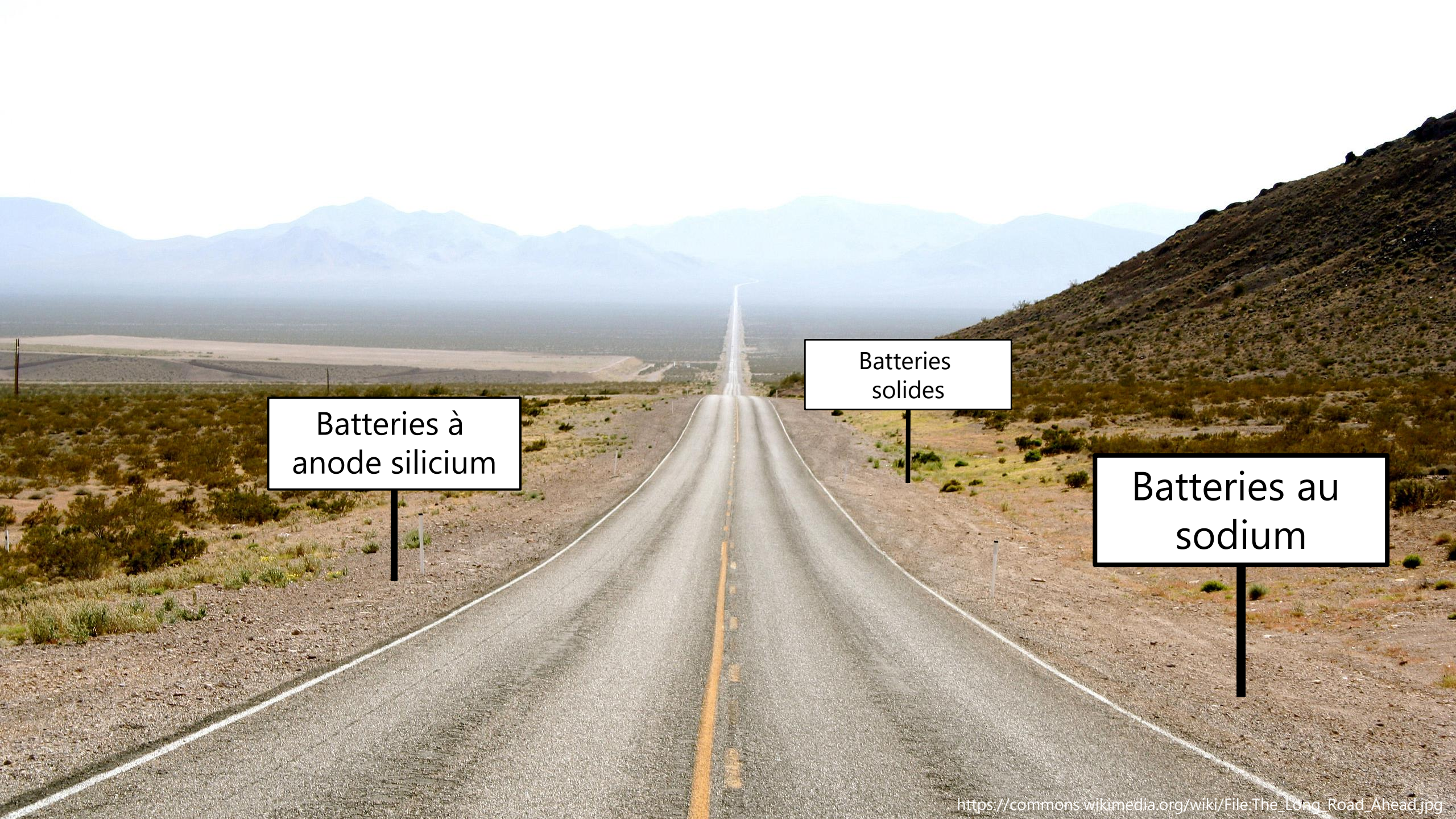
International Energy Agency – Global EV Outlook 2023

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Long_Road_Ahead.jpg

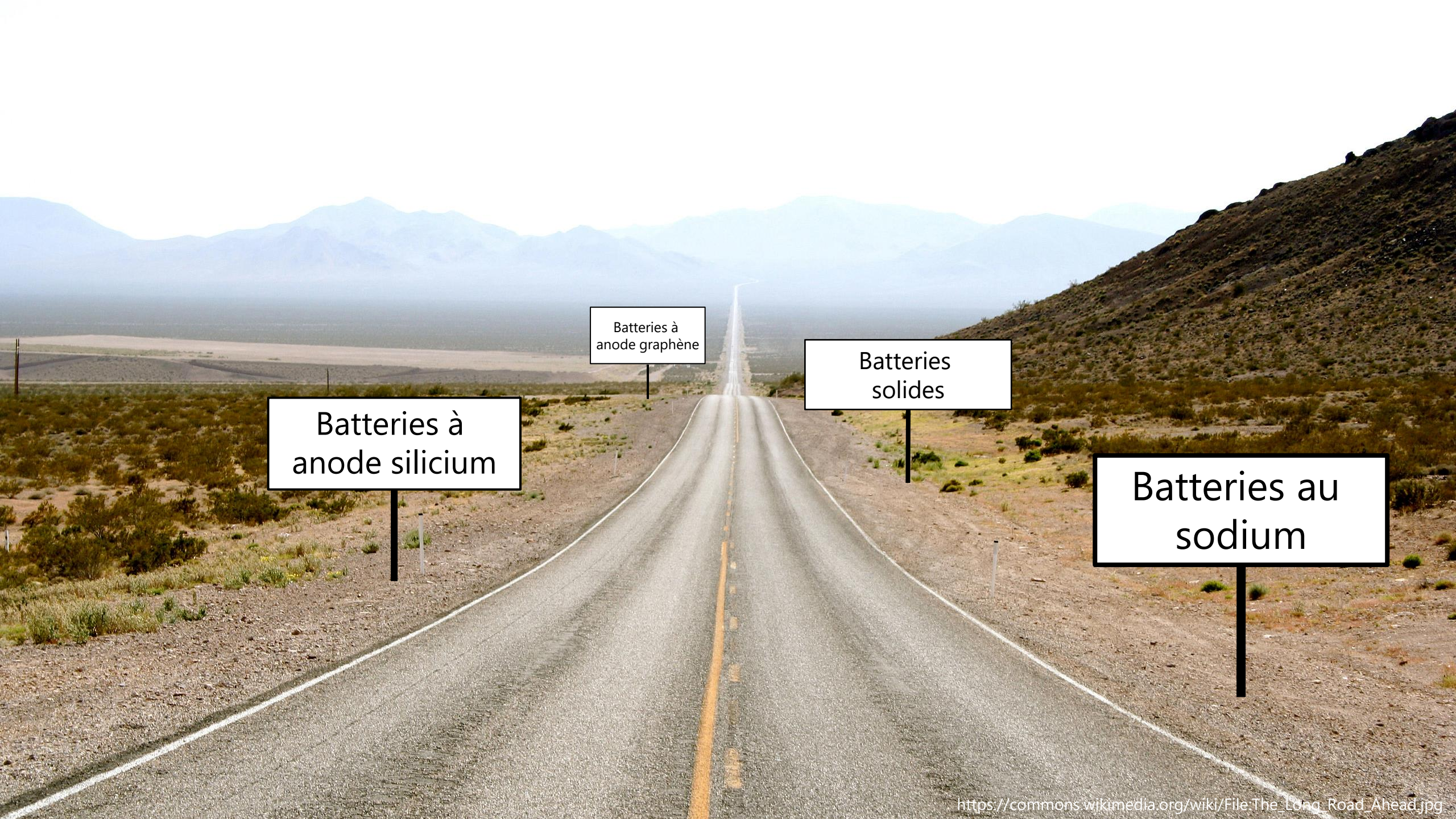
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Long_Road_Ahead.jpg



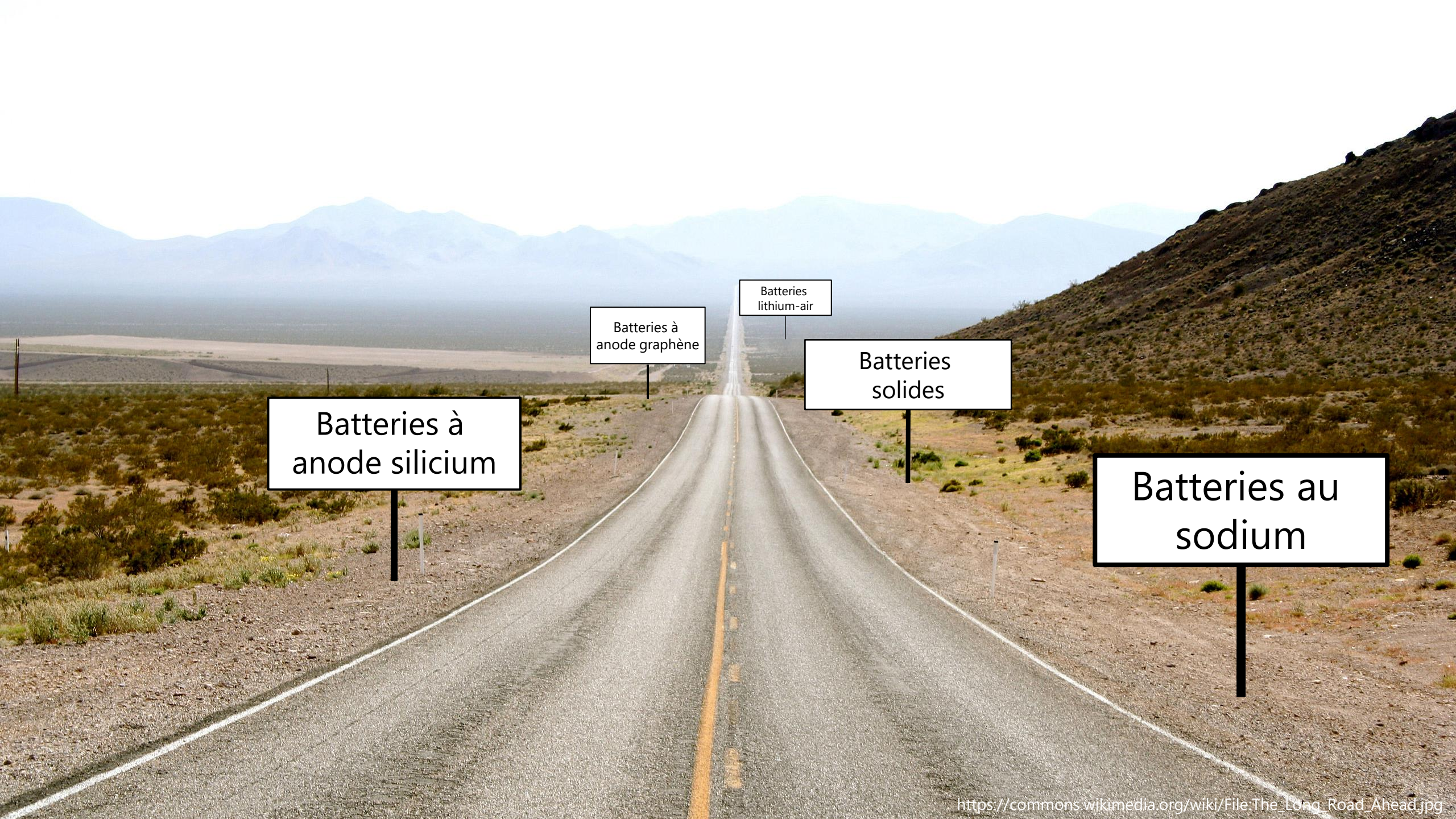
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Long_Road_Ahead.jpg



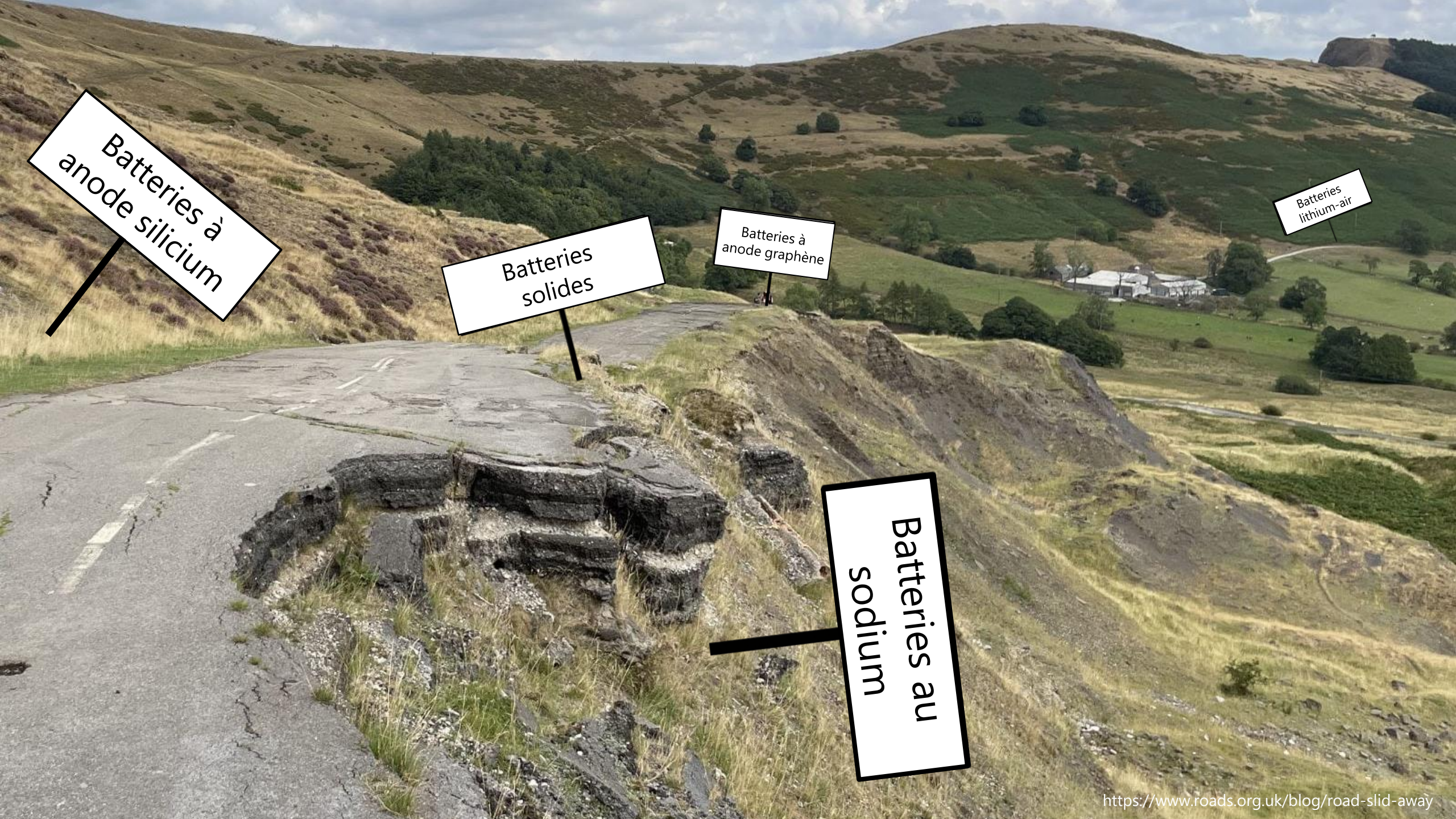
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Long_Road_Ahead.jpg



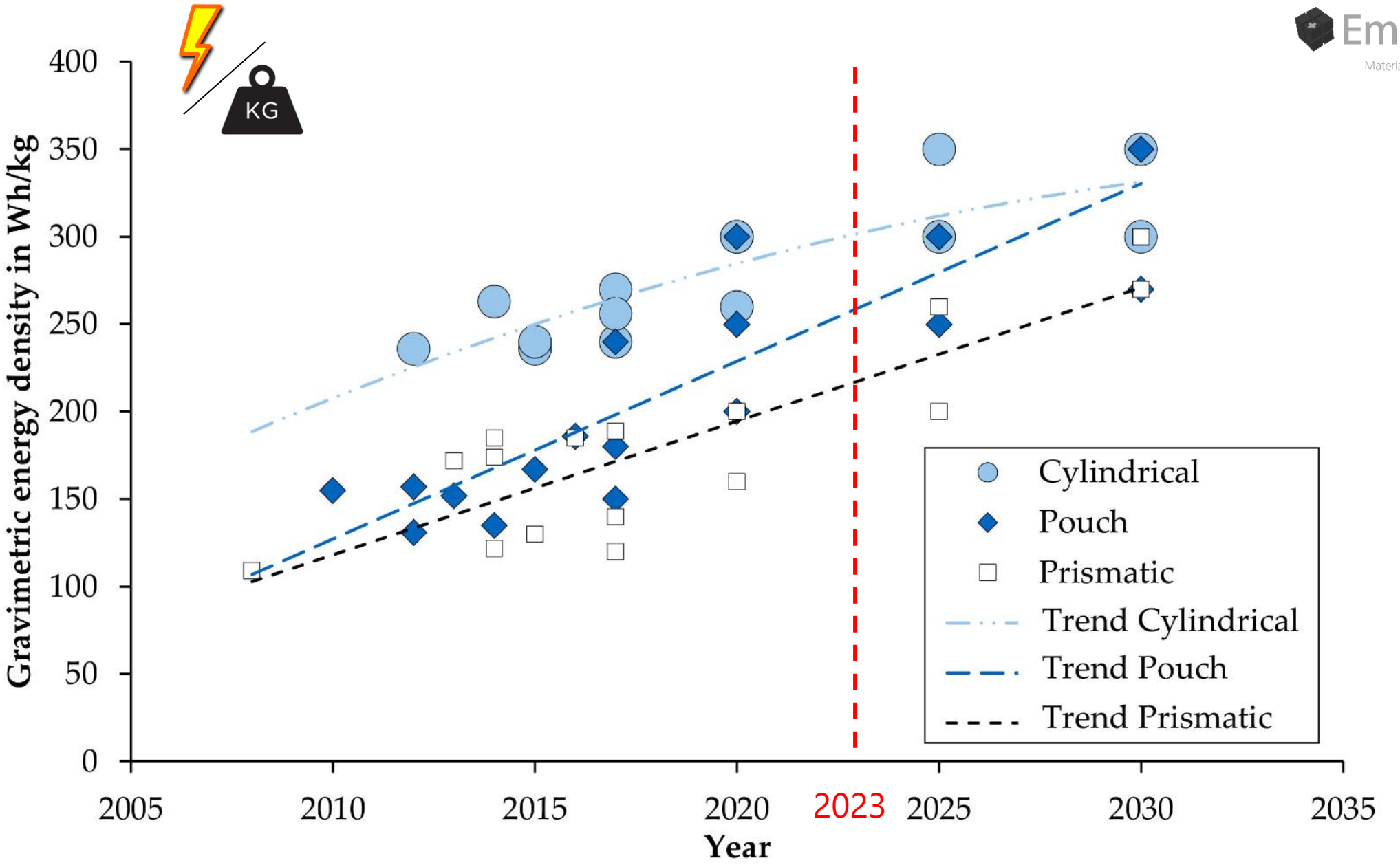
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Long_Road_Ahead.jpg



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Long_Road_Ahead.jpg



https://www.roads.org.uk/blog/road-slid-away



König et al. (2021), An Overview of Parameter and Cost for Battery Electric Vehicles

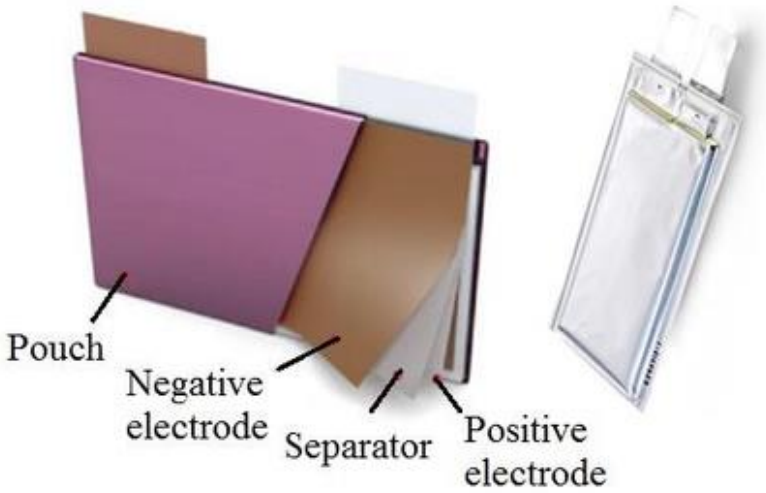
FORME

Empa
Materials Science and Technology

Cylindrical cell

Prismatic cell

Pouch cell



Empa
Materials Science and Technology

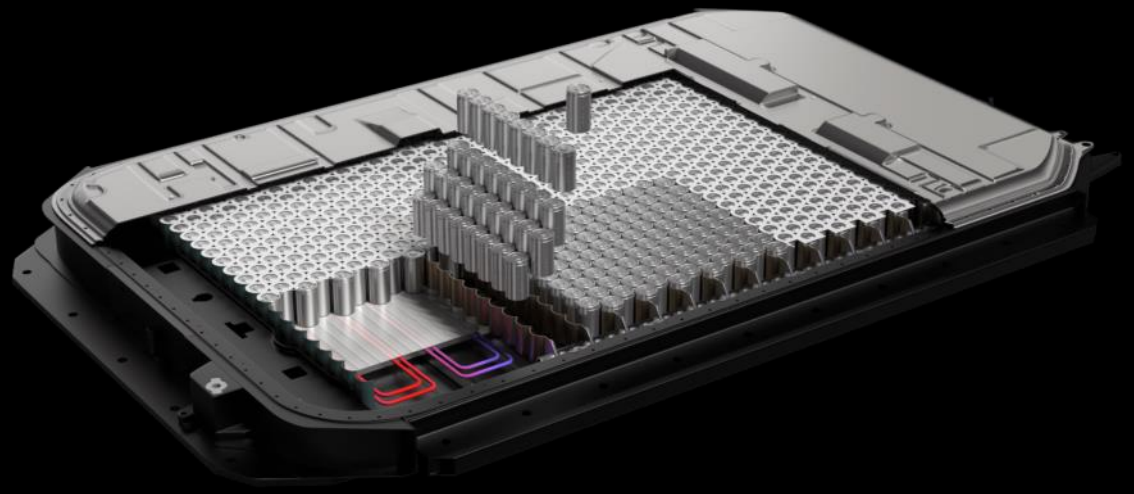
TESLA Model S

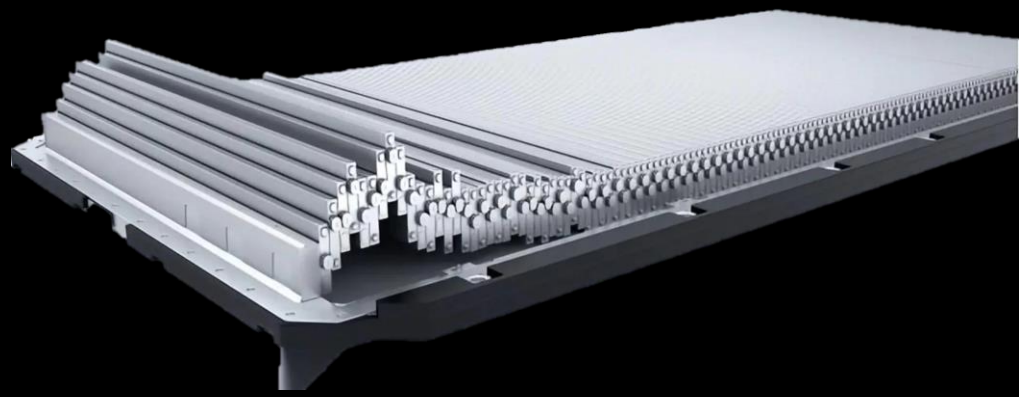
Hyundai IONIQ 5

https://www.qnovo.com/blogs/peek-inside-the-battery-of-a-tesla-model-s
https://insideevs.com/news/539940/hyundai-ioniq5-battery-pack-opened/

Empa
Materials Science and Technology

cell-to-pack design

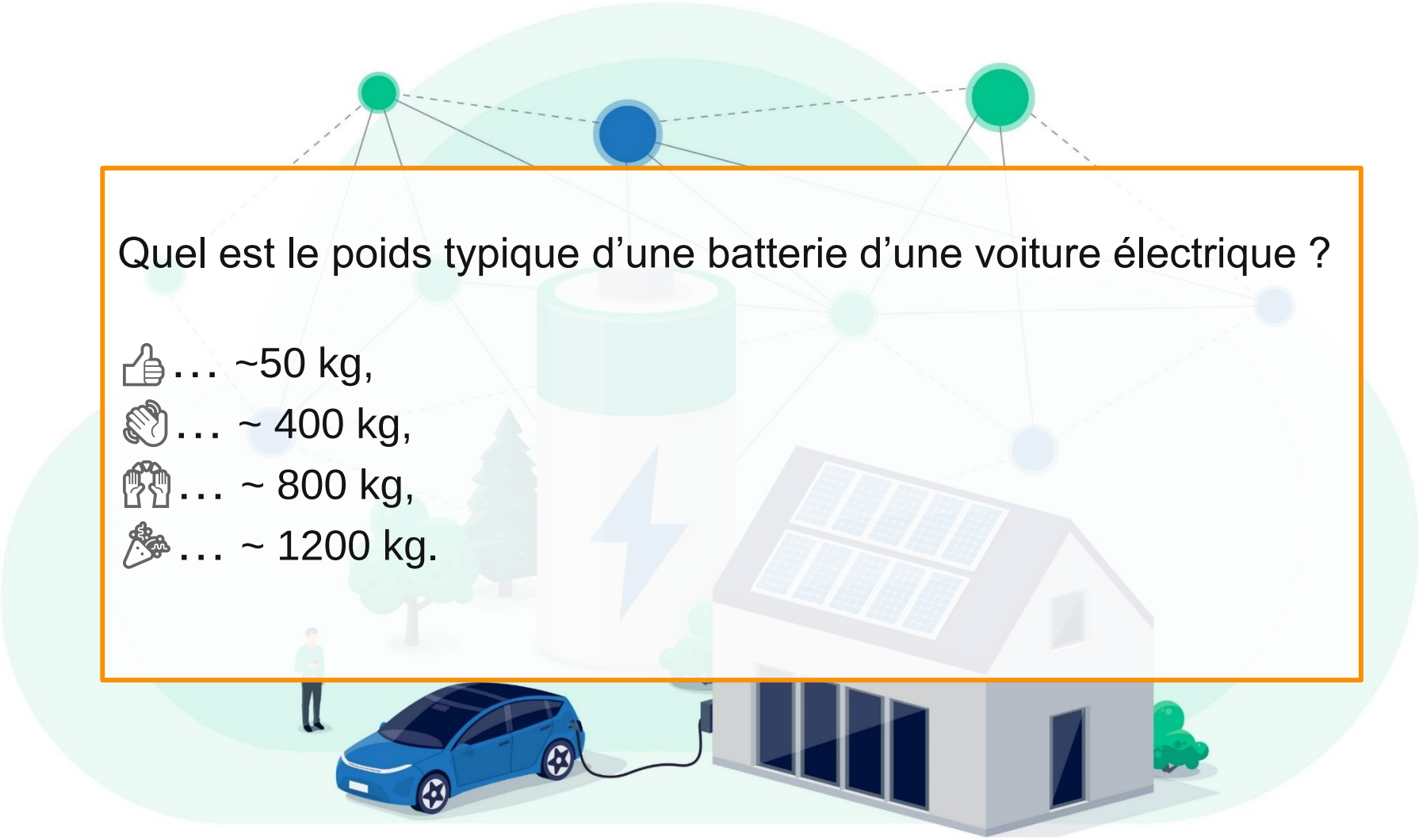




https://www.emobility-engineering.com/cell-to-pack-batteries/
https://www.topcarstesla.com/blogs/news/tesla-to-equip-model-y-with-byds-blade-battery

Quel est le poids typique d’une batterie d’une voiture électrique ?

… ~50 kg,
… ~ 400 kg,
… ~ 800 kg,
… ~ 1200 kg.



Empa
Materials Science and Technology

85 kWh
540 kg

TESLA Model S

72 kWh
450 kg

Hyundai IONIQ 5

https://www.qnovo.com/blogs/peek-inside-the-battery-of-a-tesla-model-s
https://insideevs.com/news/539940/hyundai-ioniq5-battery-pack-opened/

https://d2n41s0wa71yzf.cloudfront.net/wp-content/uploads/2023/07/26130119/graphite-1.jpg

https://d2n41s0wa71yzf.cloudfront.net/wp-content/uploads/2023/07/26130119/graphite-1.jpg

https://d2n41s0wa71yzf.cloudfront.net/wp-content/uploads/2023/07/26130119/graphite-1.jpg

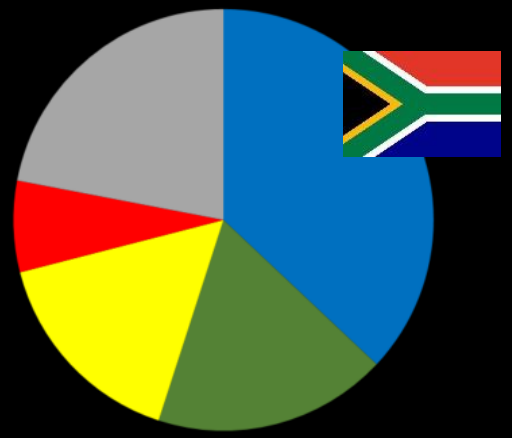
https://de.wikipedia.org/wiki/Erd%C3%B6l#/media/Datei:An_oil_rig_offshore_Vungtau.jpg

2022

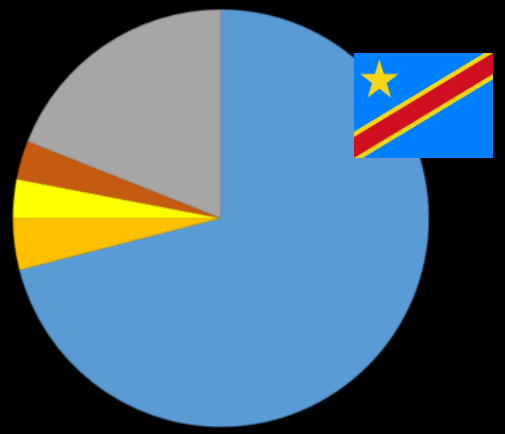
Empa
Materials Science and Technology

Nickel

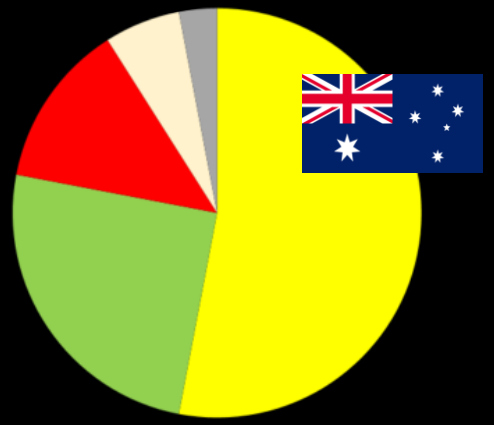
Manganèse



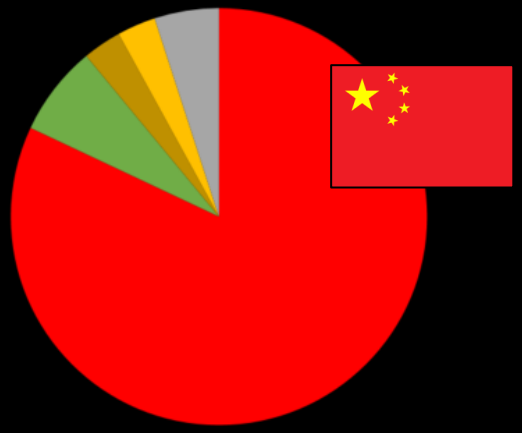
Cobalt

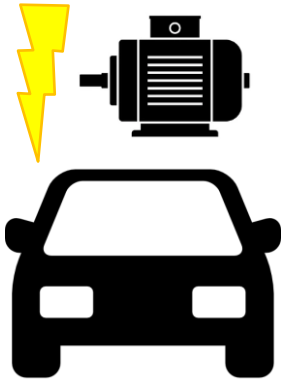


Lithium



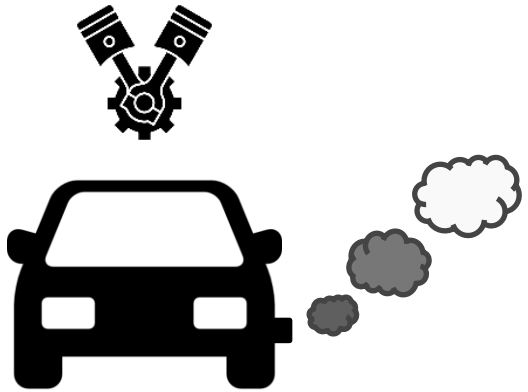
Graphite





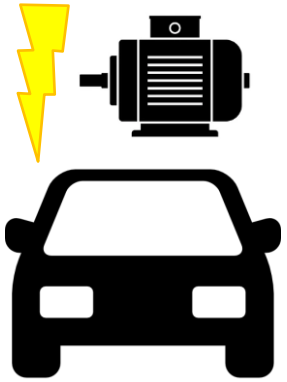
Catégorie du véhicule

Taille, chimie et origine de la batterie



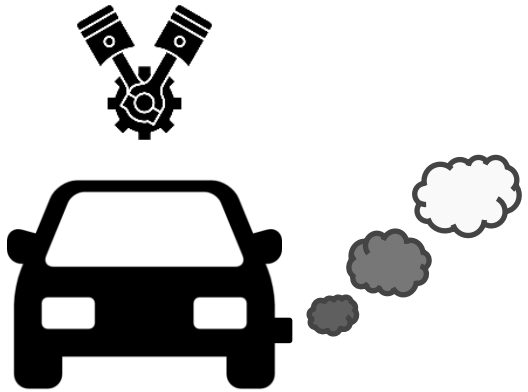
Origine de l'électricité utilisée pour alimenter le véhicule

Empa
Materials Science and Technology



Catégorie du véhicule

Taille, chimie et origine de la batterie



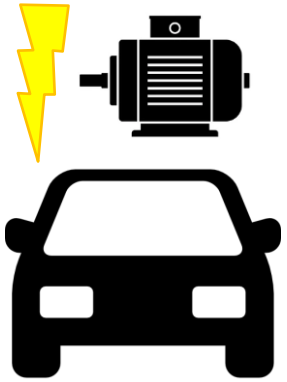
Origine de l'électricité utilisée pour alimenter le véhicule

Impact

Production

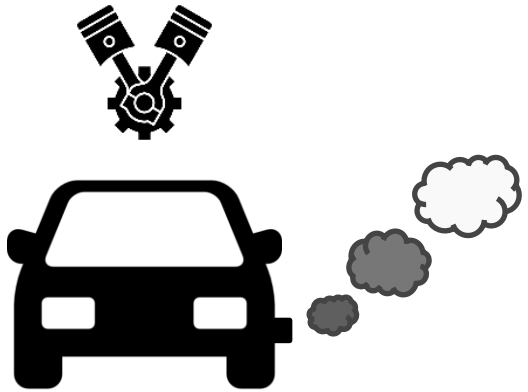
Production

Impact

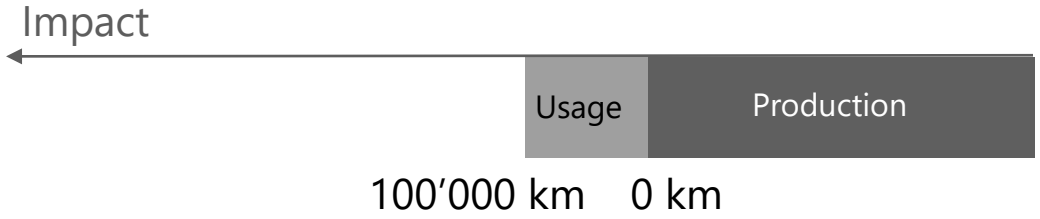


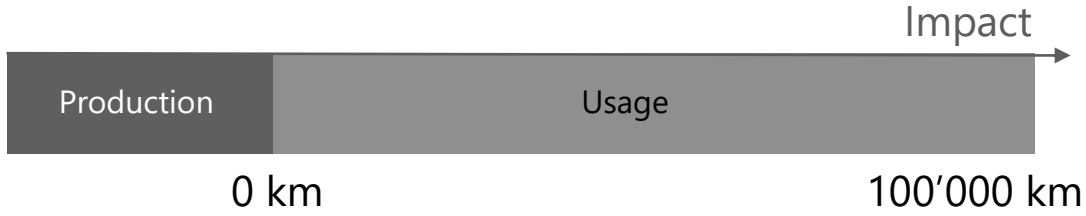
Catégorie du véhicule

Taille, chimie et origine de la batterie

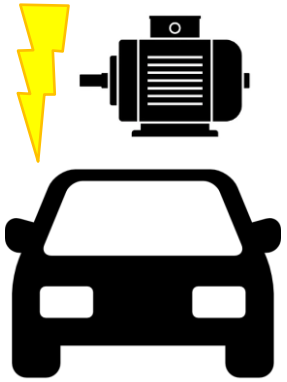


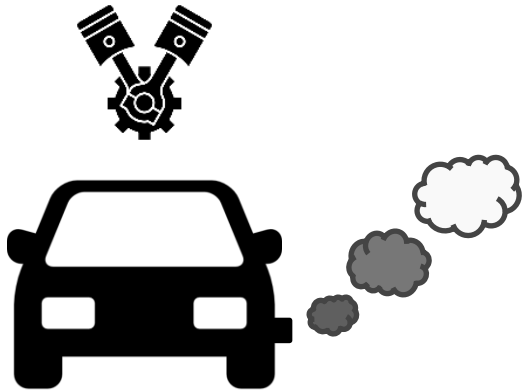
Origine de l'électricité utilisée pour alimenter le véhicule





Empa
Materials Science and Technology

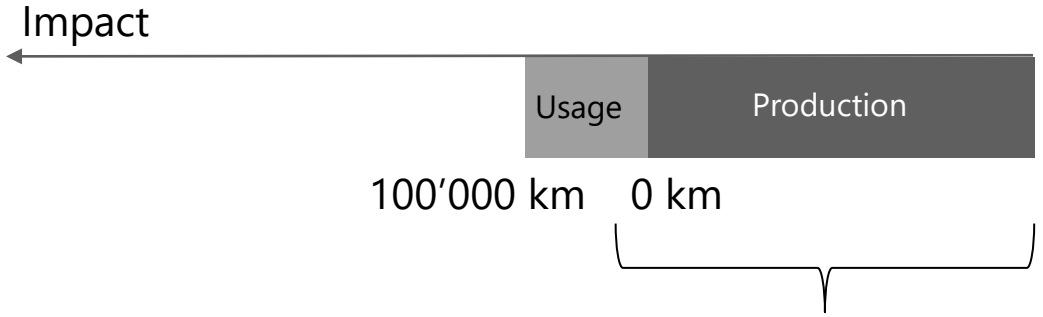


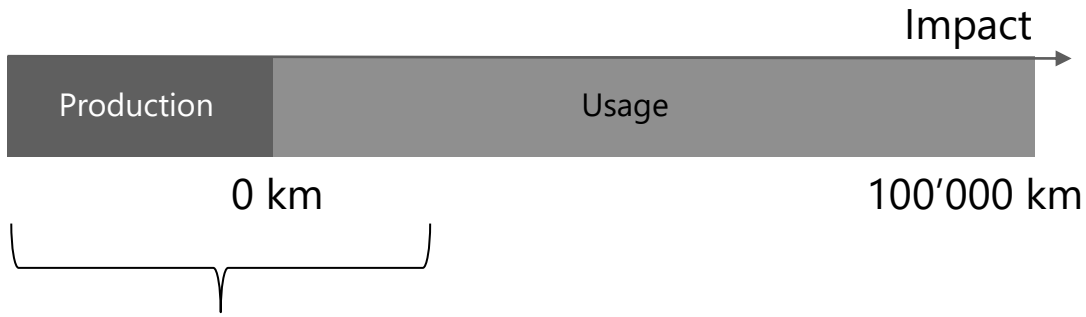


Catégorie du véhicule

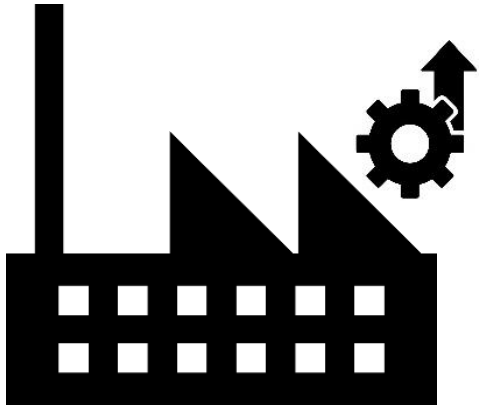
Taille, chimie et origine de la batterie

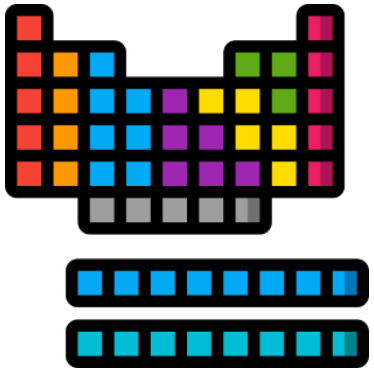
Origine de l'électricité utilisée pour alimenter le véhicule

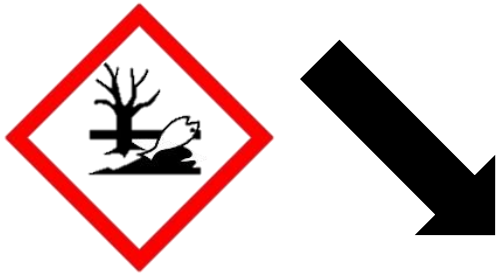




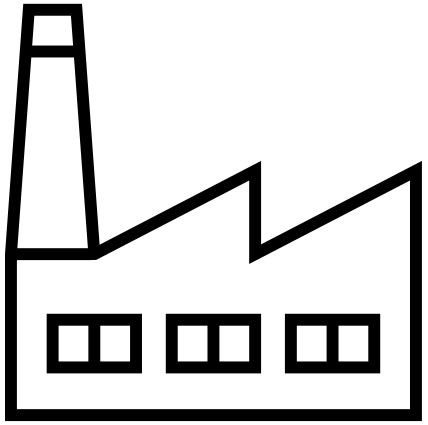
Amortissement écologique après
25'000 – 50'000 km







Production de batteries de traction

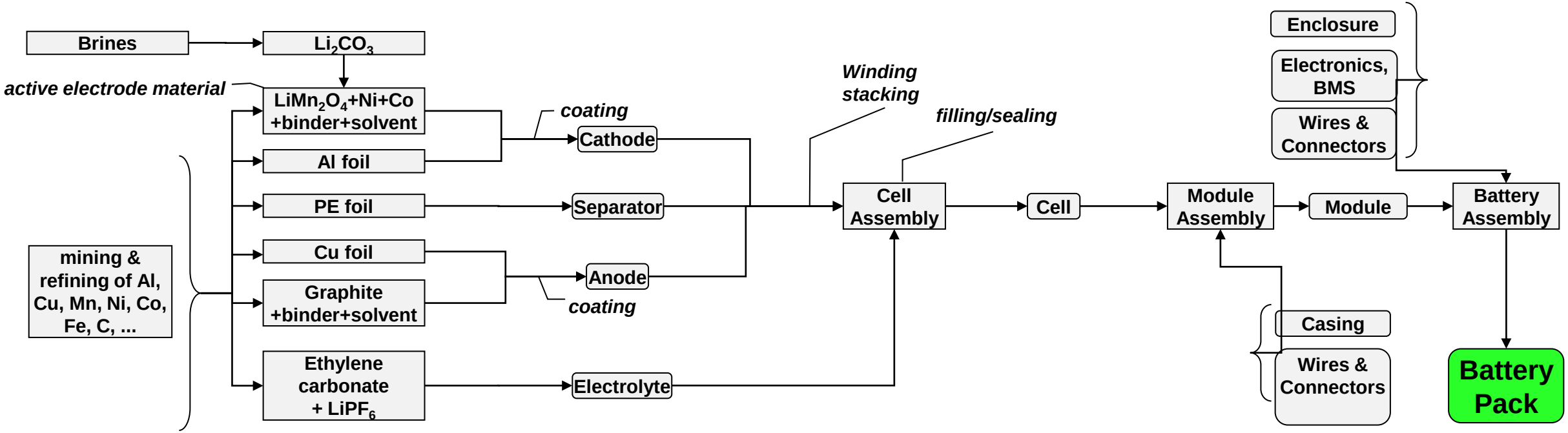


Comment les fabrique-t-on ?

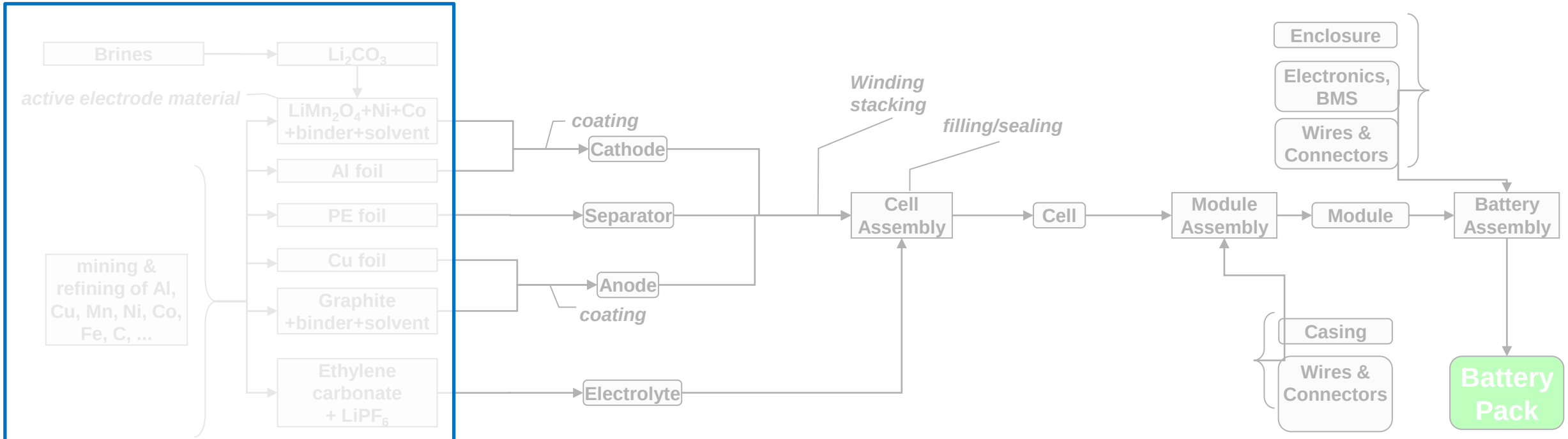
Combien et combien ça coûte ?

Qui et où ?

Comment fabriquer les batteries Li-ions?



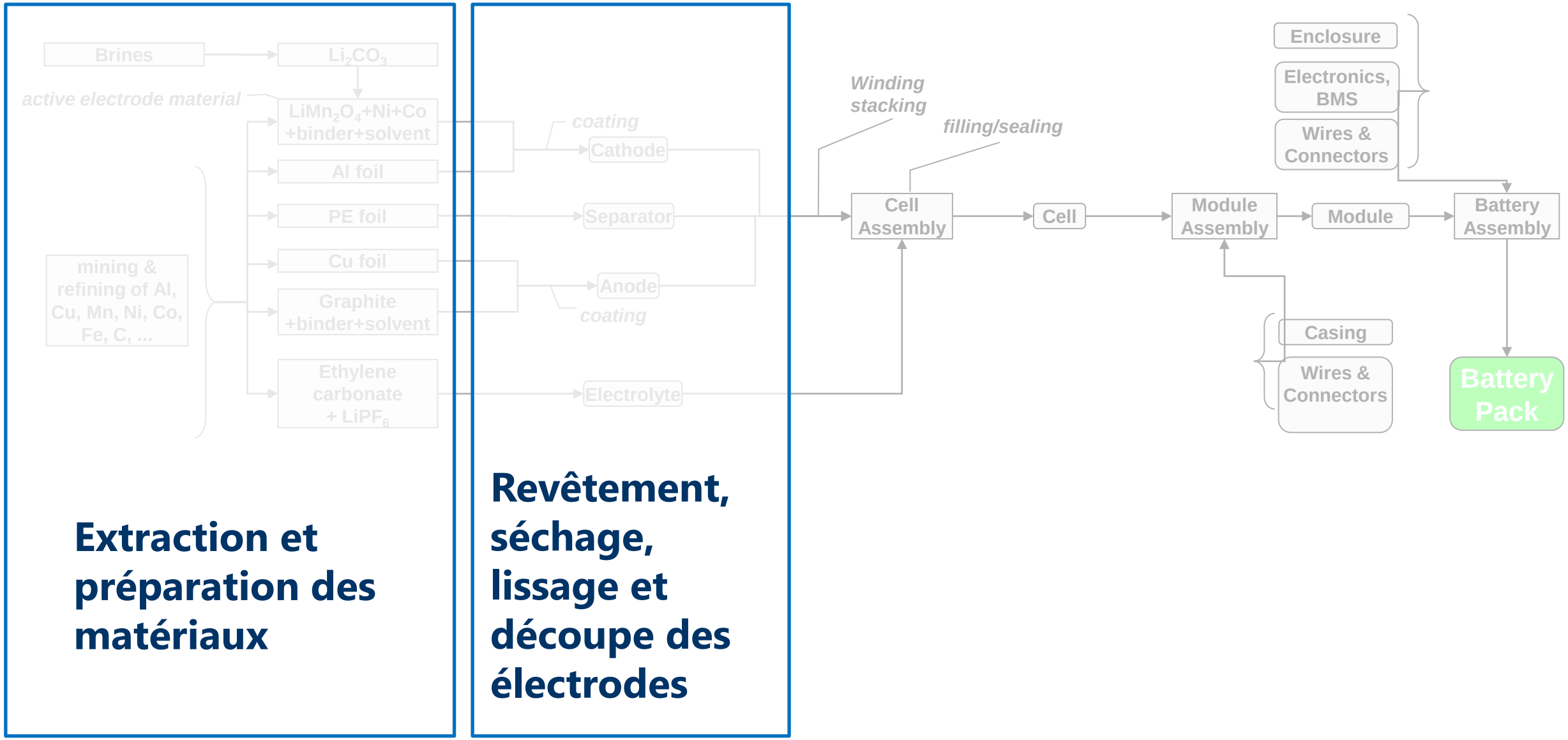
Comment fabriquer les batteries Li-ions?



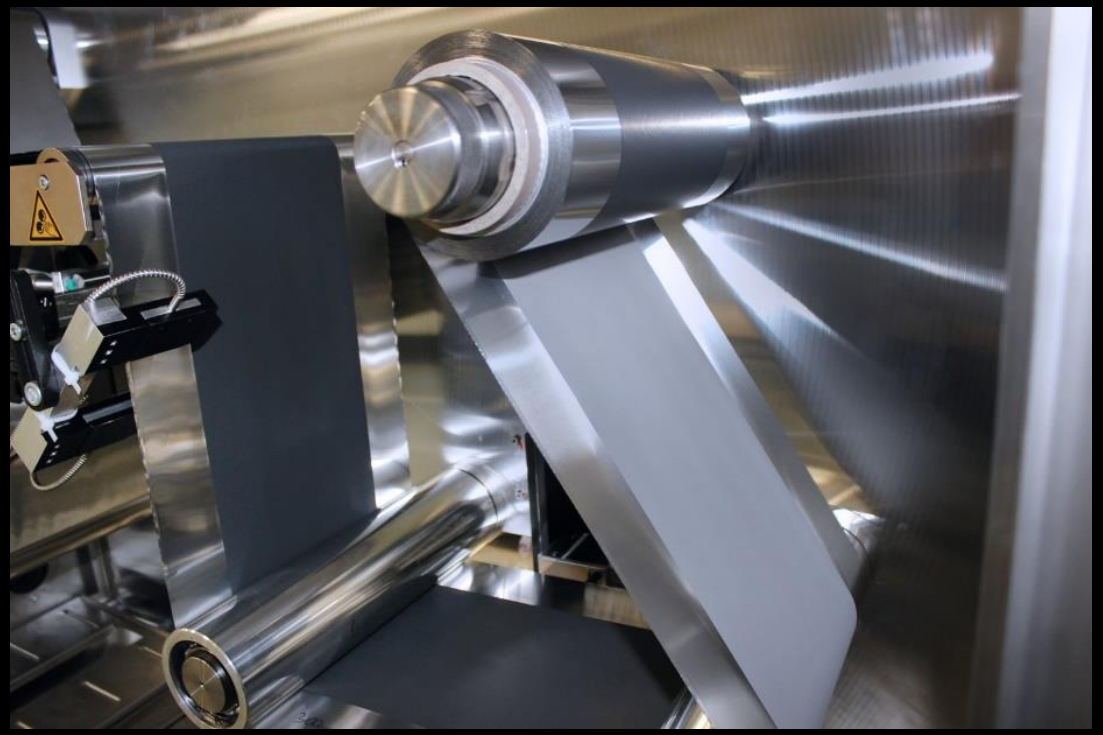
Extraction et préparation des matériaux

Empa
Materials Science and Technology

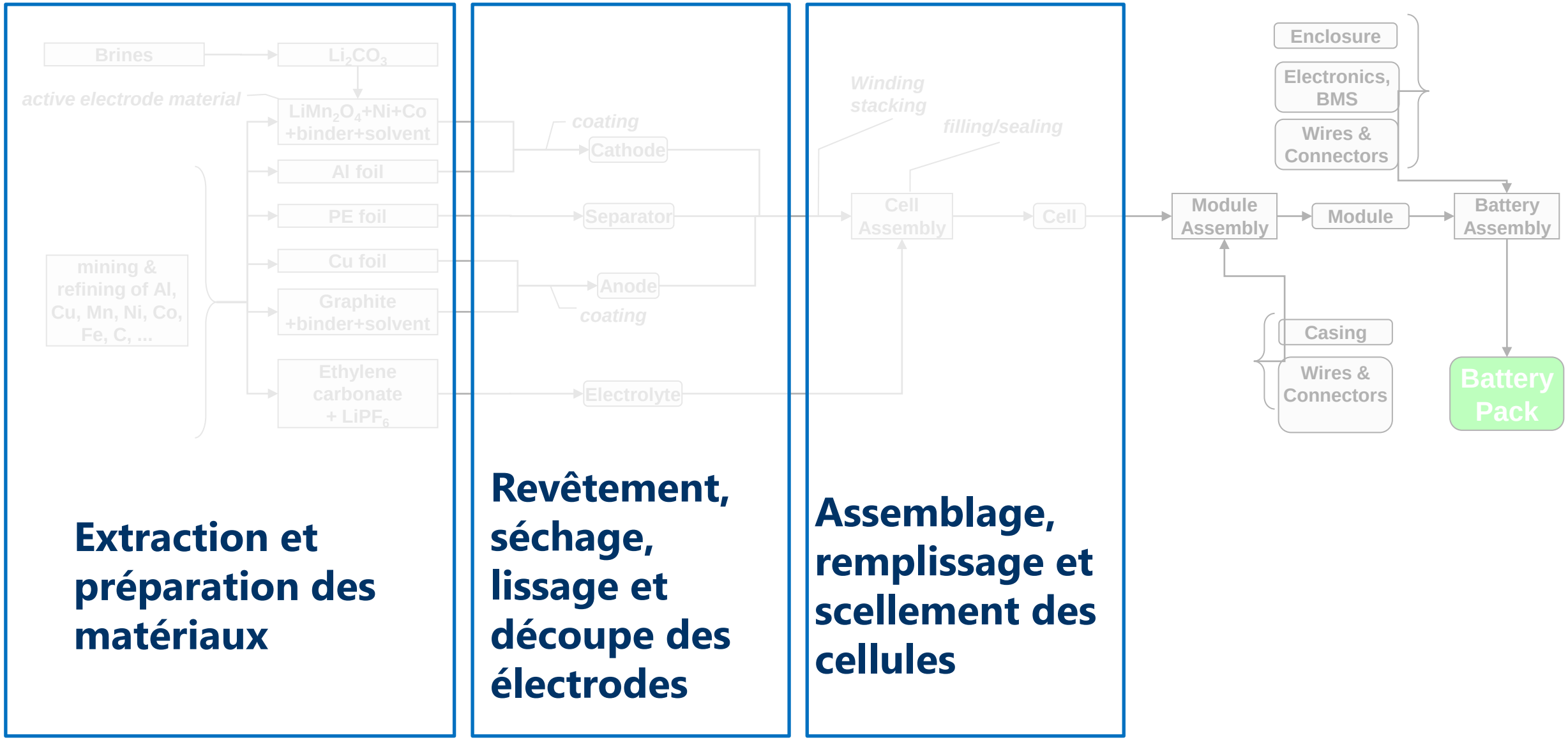
Comment fabriquer les batteries Li-ions?



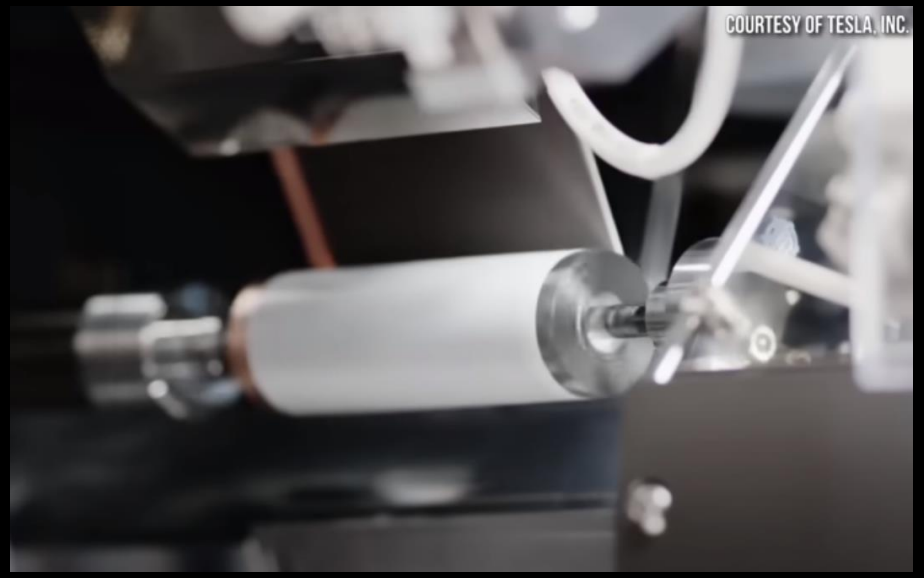
Empa
Materials Science and Technology

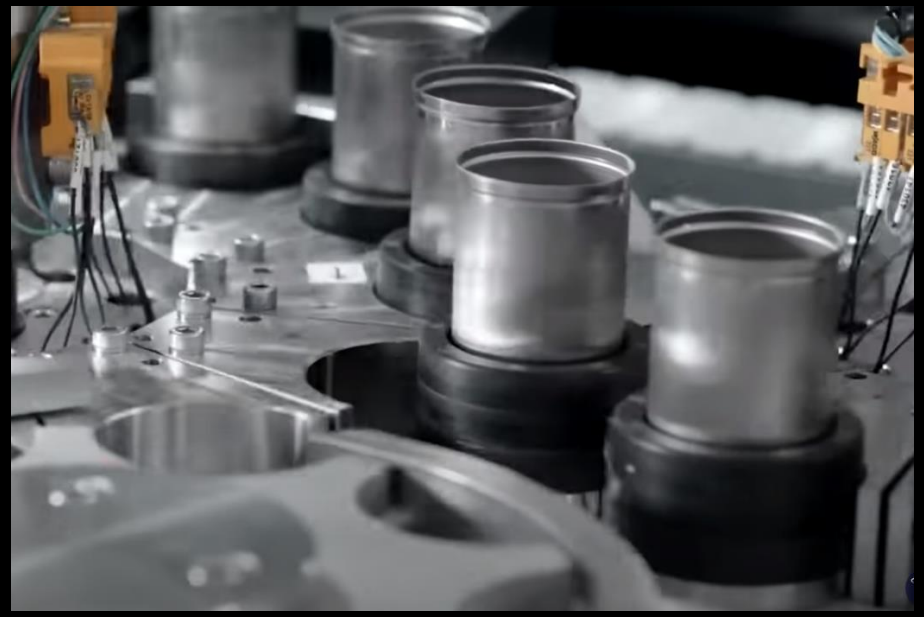


Comment fabriquer les batteries Li-ions?



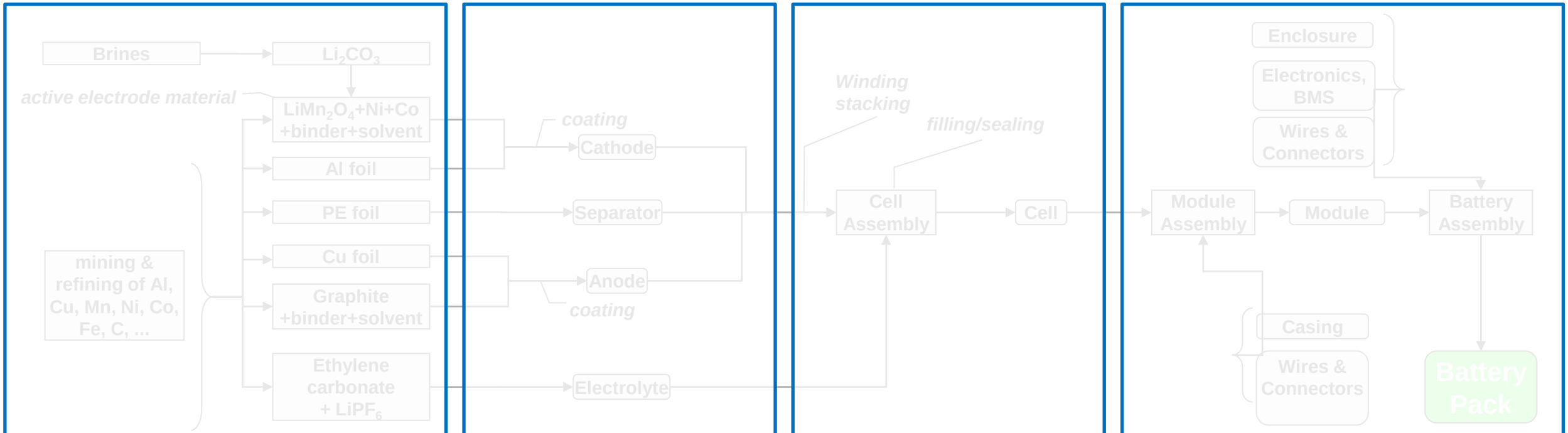
Empa
Materials Science and Technology





Comment fabriquer les batteries Li-ions?

Empa
Materials Science and Technology



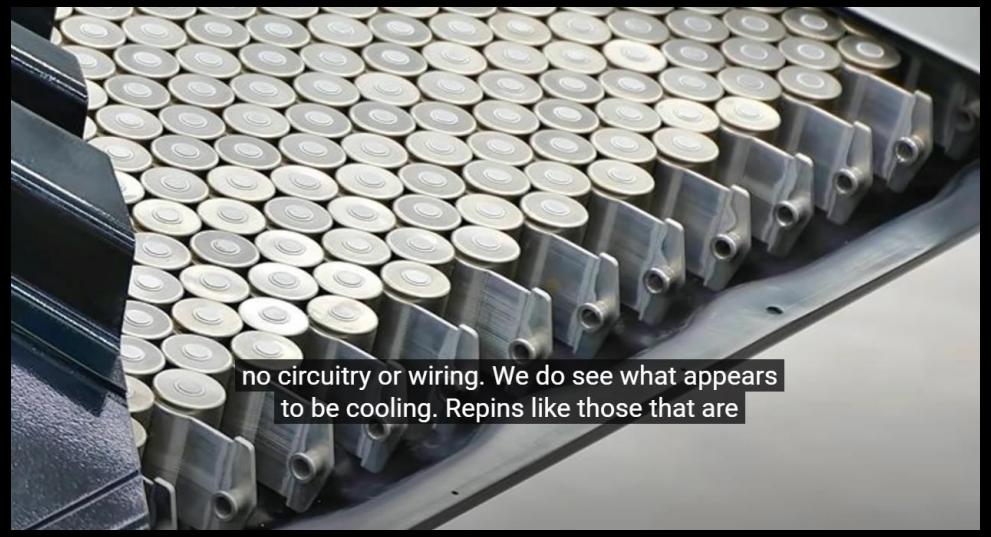
Extraction et préparation des matériaux

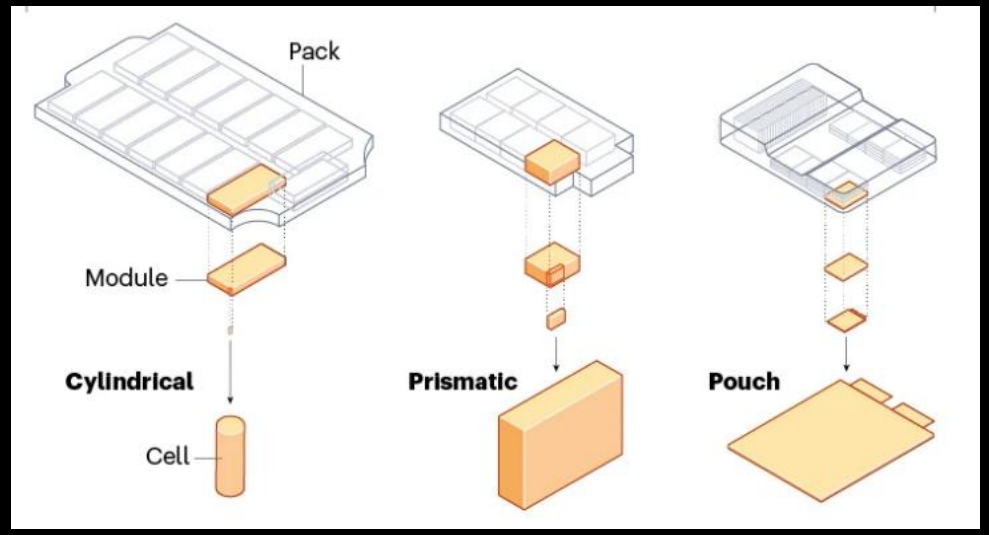
Revêtement, séchage, lissage et découpe des électrodes

Assemblage, remplissage et scellement des cellules

Assemblage des modules et batteries

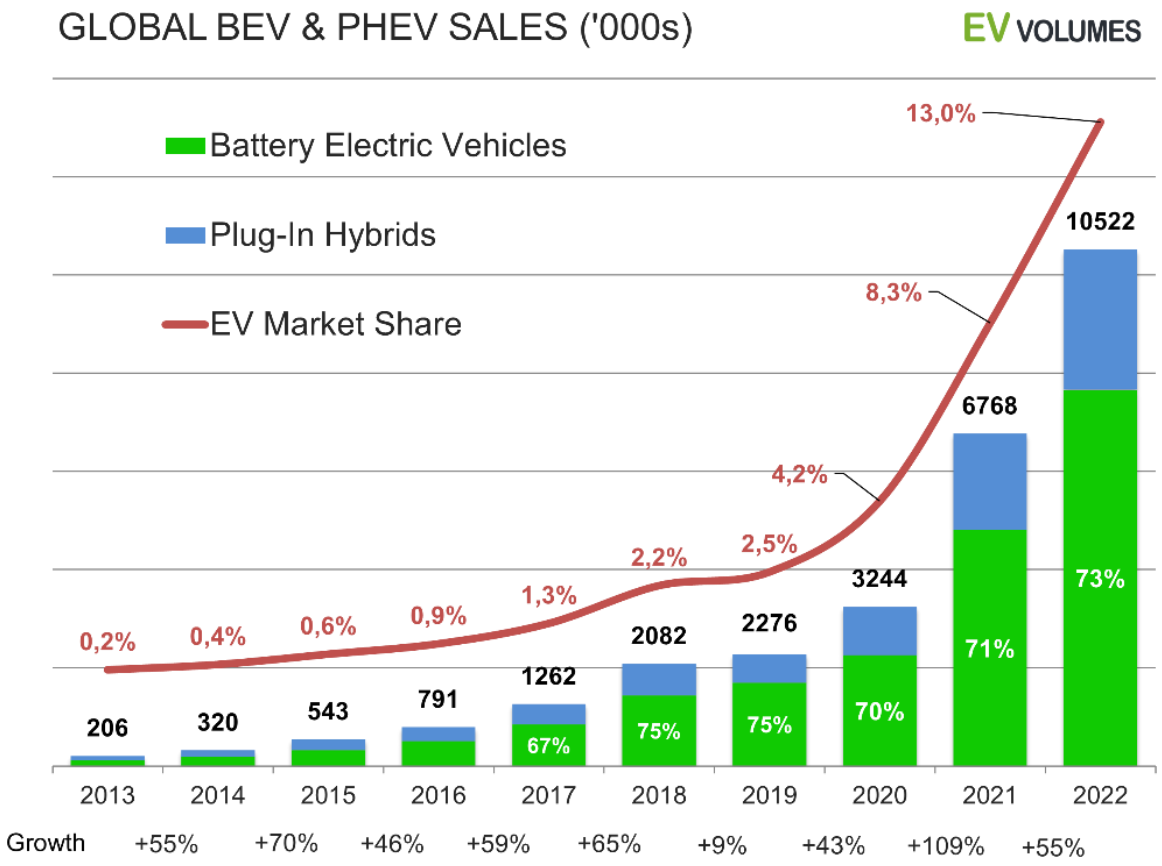
Empa
Materials Science and Technology





Boom de l'électromobilité

Marché global des véhicules électriques

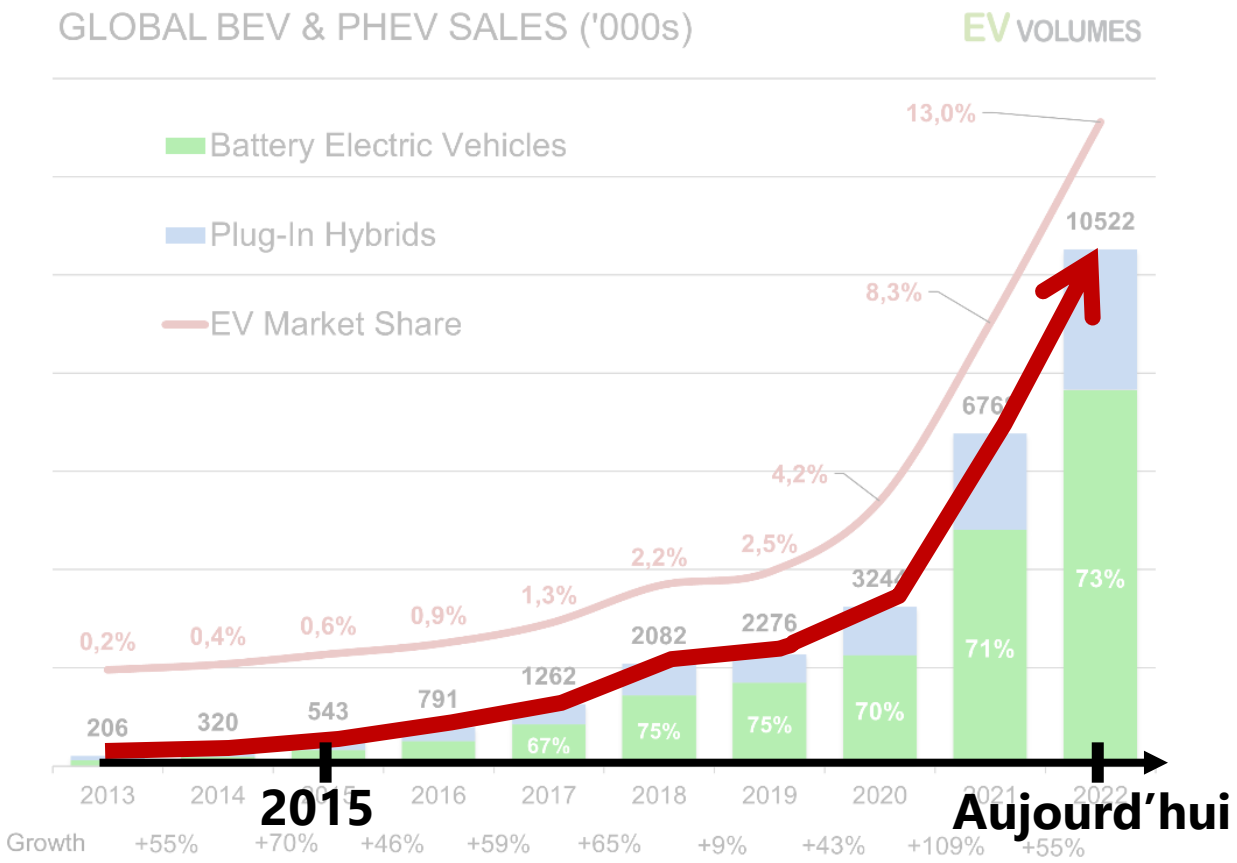


https://www.ev-volumes.com/

https://www.iea.org/data-and-statistics

Boom de l'électromobilité

Marché global des véhicules électriques

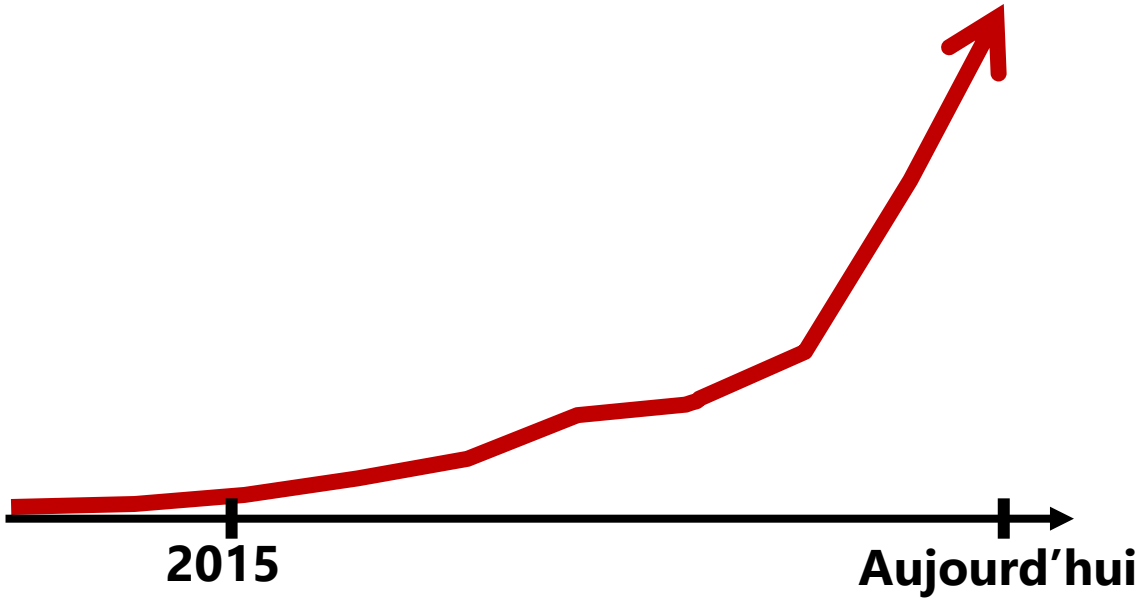


https://www.ev-volumes.com/

https://www.iea.org/data-and-statistics

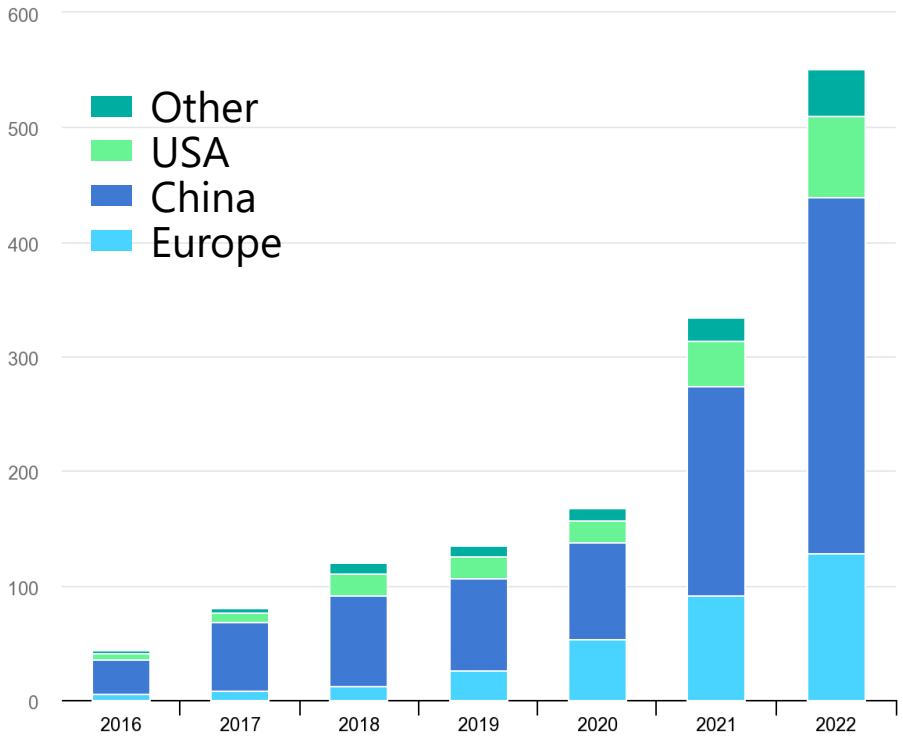
Boom de l'électromobilité

Marché global des véhicules électriques



https://www.ev-volumes.com/

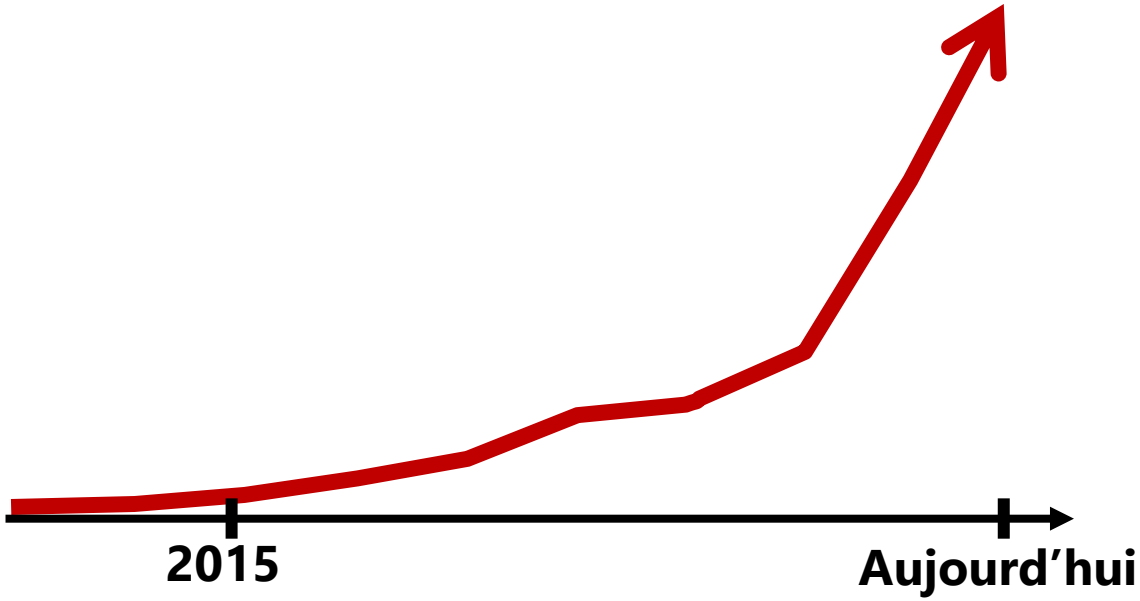
Demande globale de batteries



https://www.iea.org/data-and-statistics

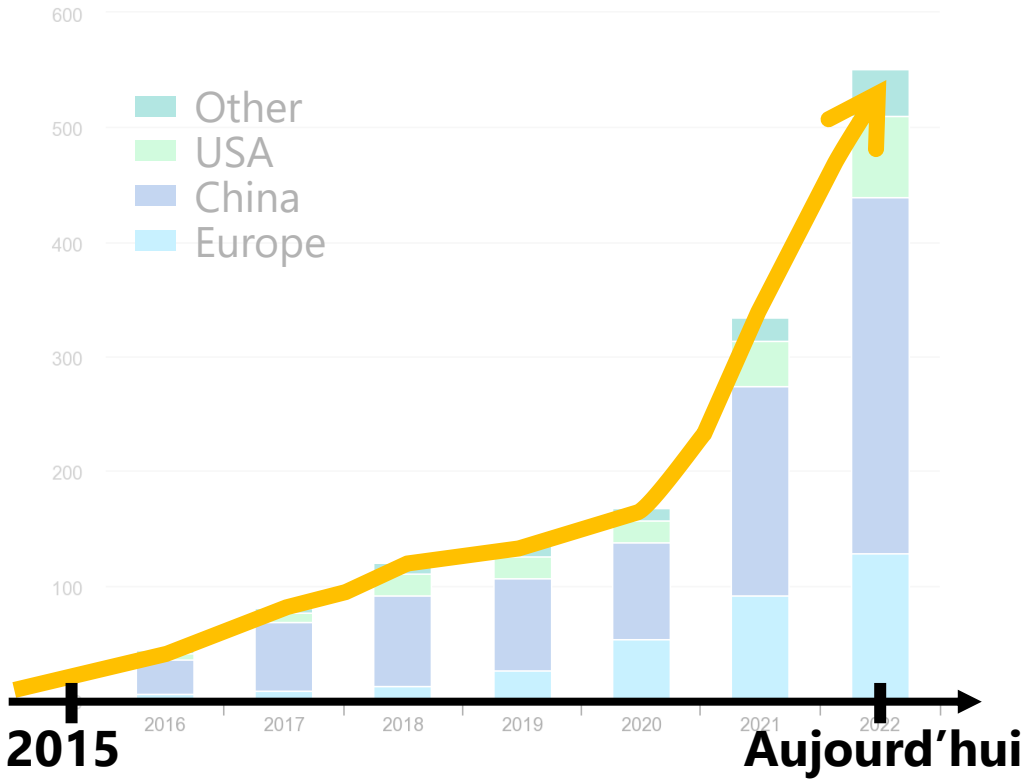
Boom de l'électromobilité

Marché global des véhicules électriques



https://www.ev-volumes.com/

Demande globale de batteries

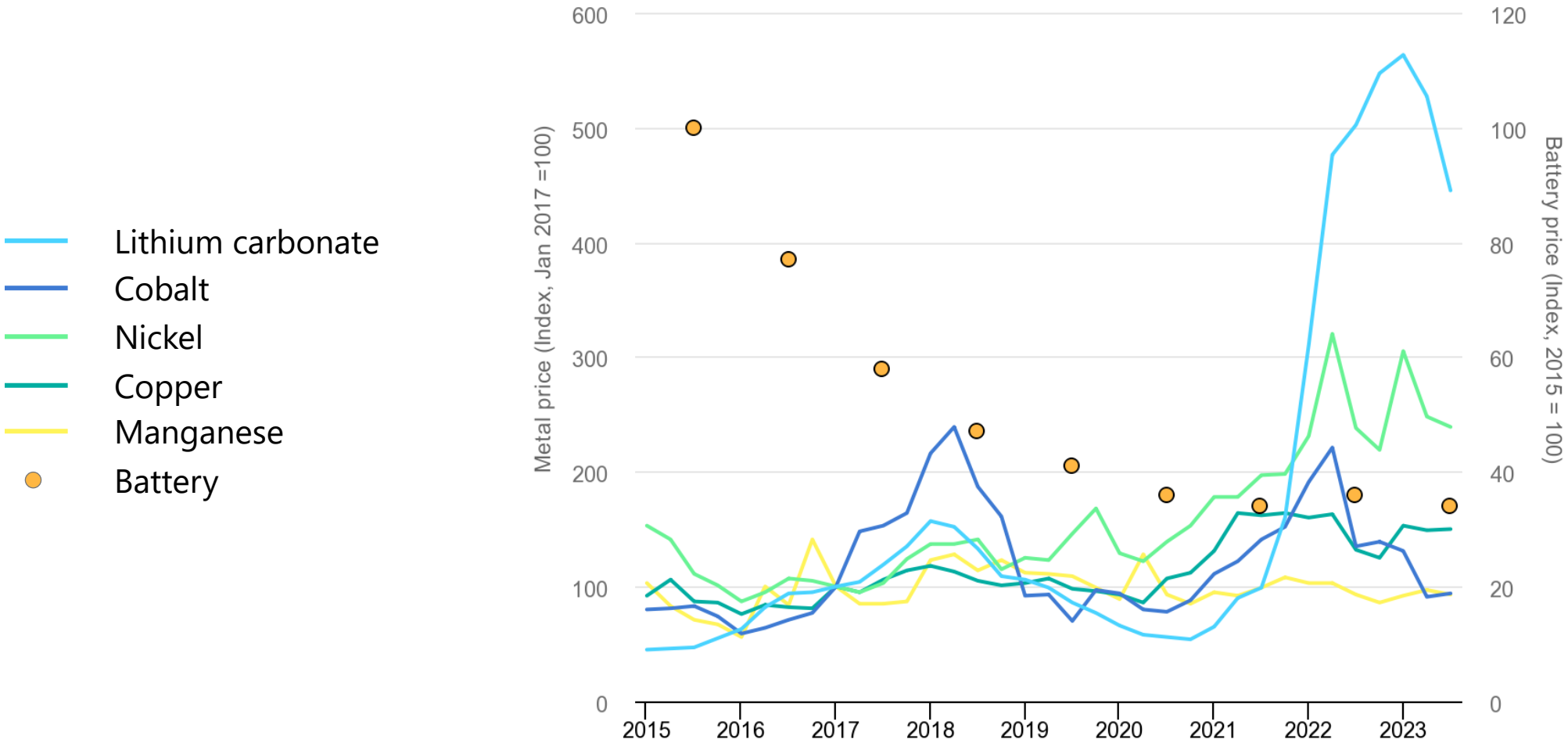


https://www.iea.org/data-and-statistics

Boom de l'électromobilité

Empa
Materials Science and Technology

Prix des matériaux de batteries

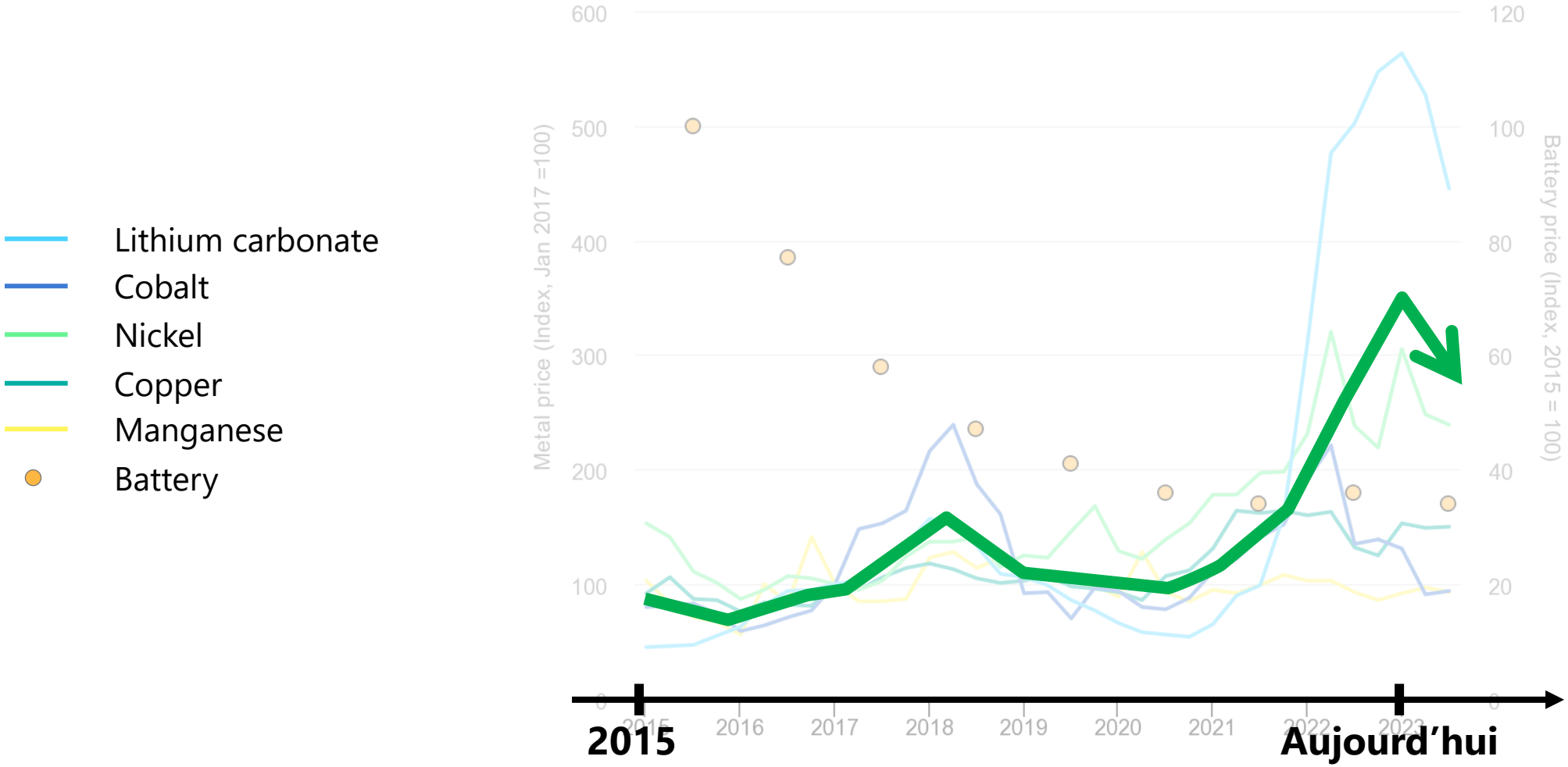


https://www.iea.org/data-and-statistics

Boom de l'électromobilité

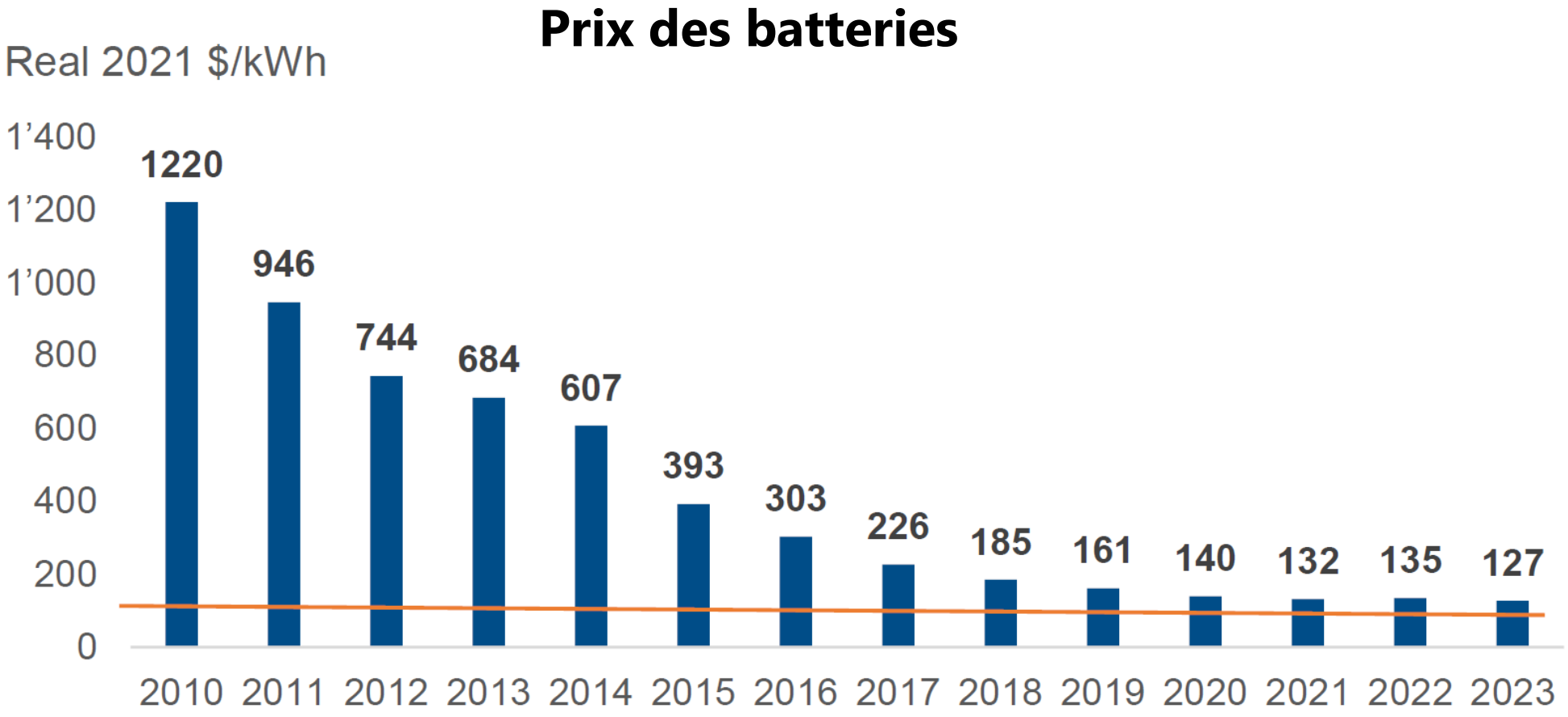
Empa
Materials Science and Technology

Prix des matériaux de batteries



https://www.iea.org/data-and-statistics

Boom de l'électromobilité

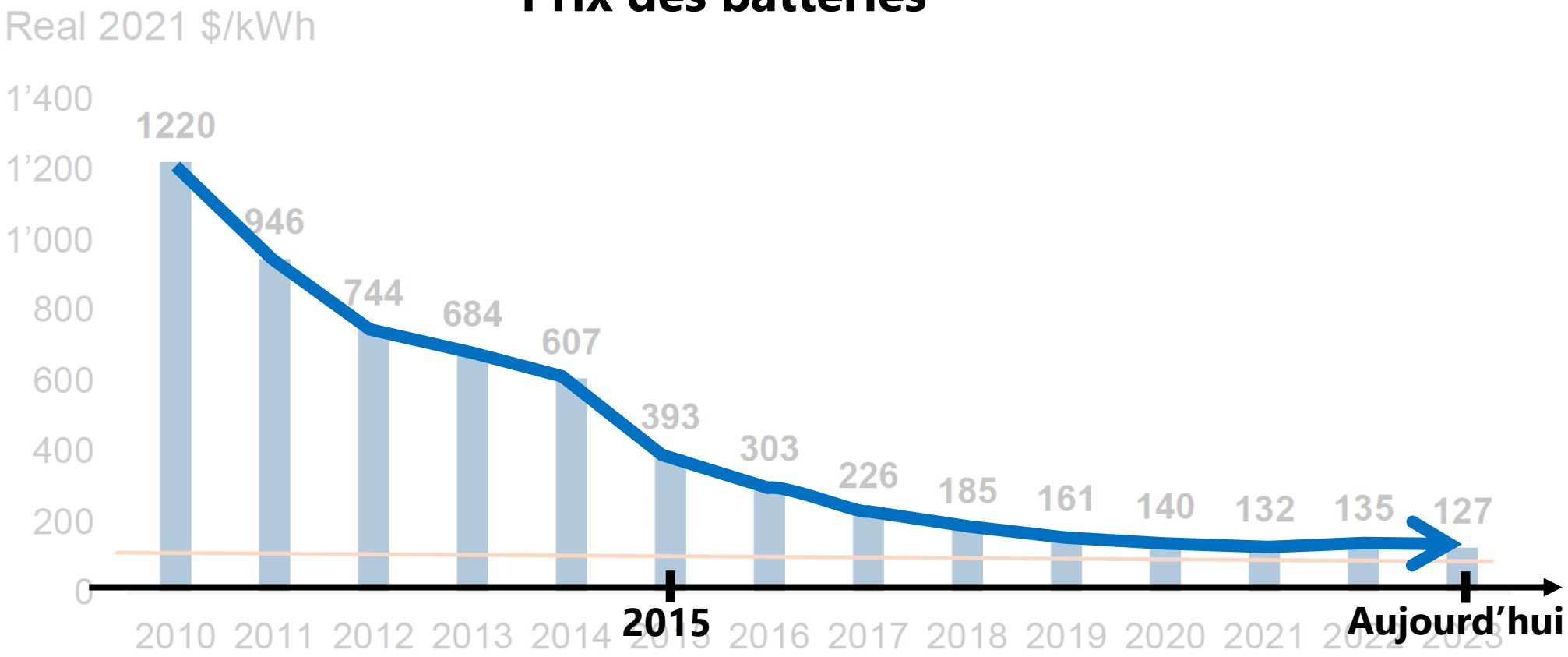


https://www.iea.org/data-and-statistics

Boom de l'électromobilité

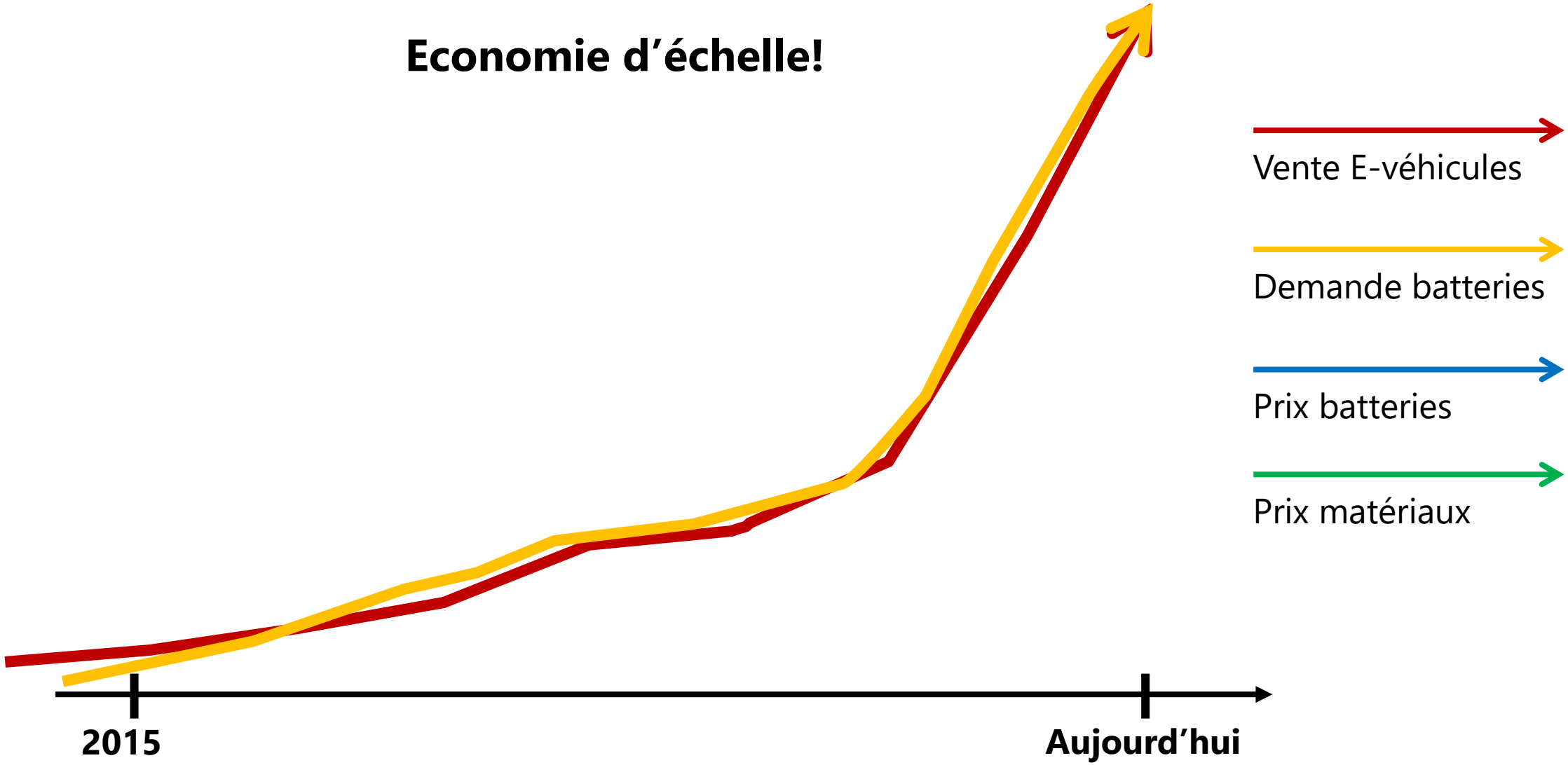
Empa
Materials Science and Technology

Prix des batteries

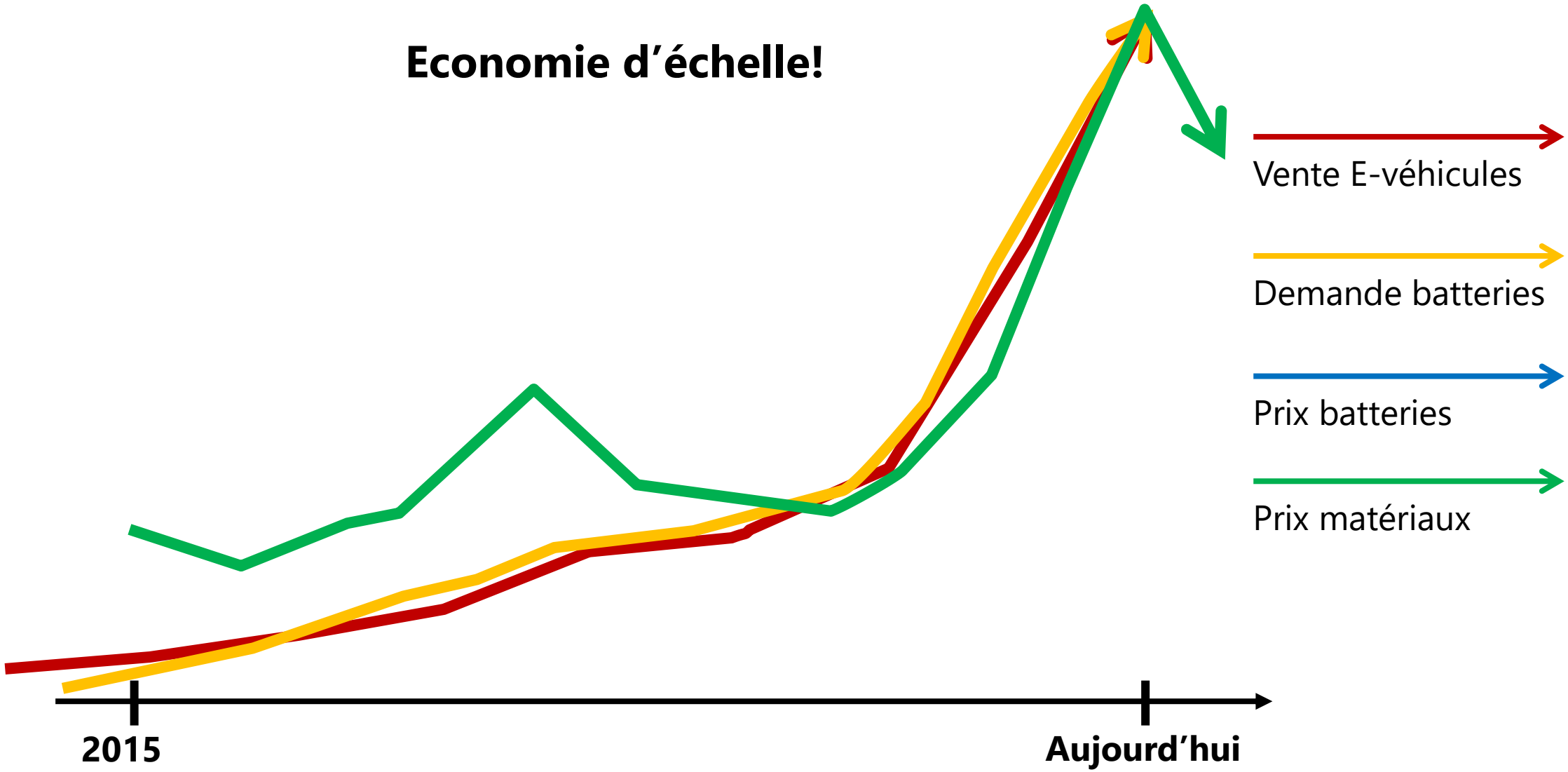


https://www.iea.org/data-and-statistics

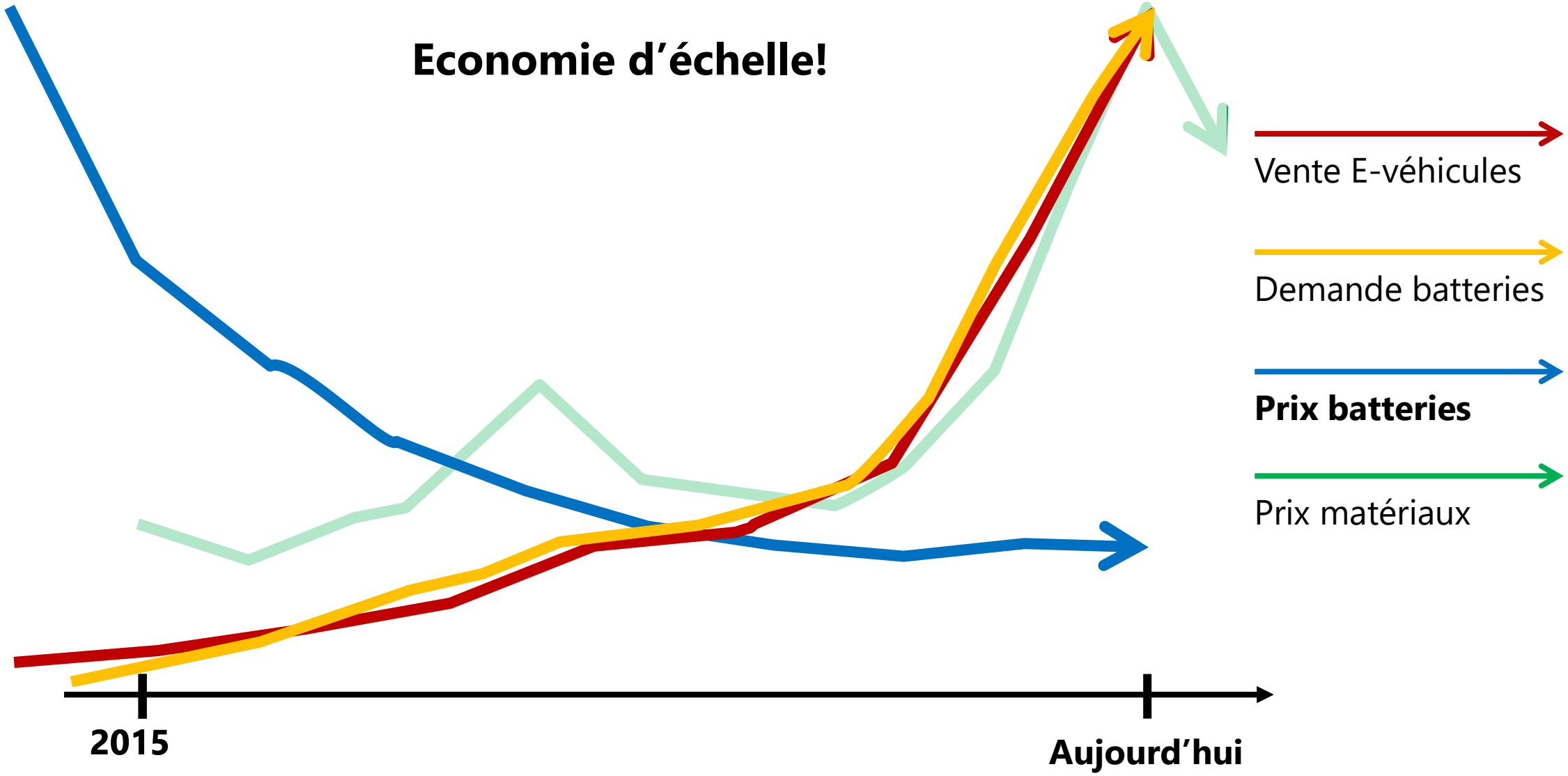
Boom de l'électromobilité



Boom de l'électromobilité



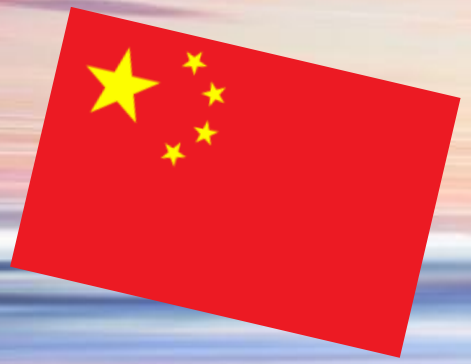
Boom de l'électromobilité



BYD Yuan Plus (entièrement électrique)

BYD Yuan Plus (entièrement électrique)

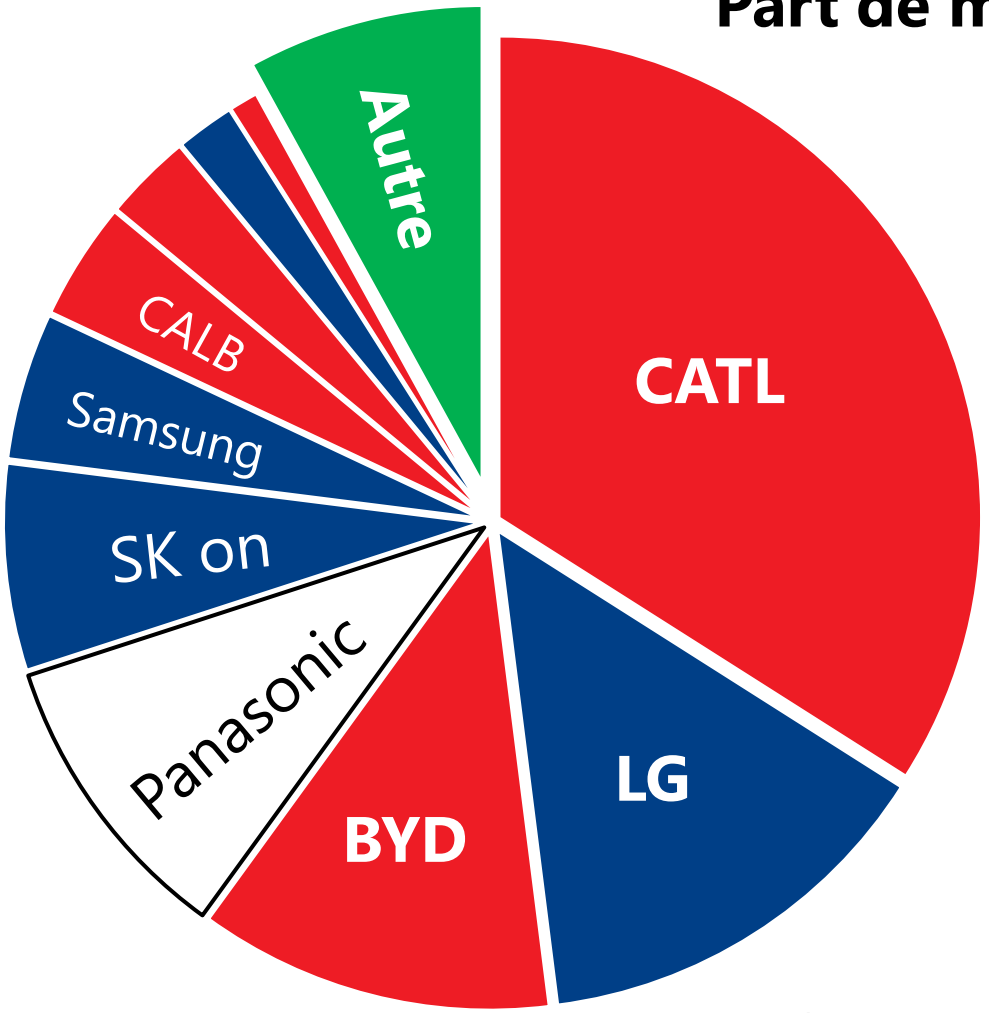
5 des 10 véhicules électriques **les plus vendus** en 2023 sont de marque **BYD**

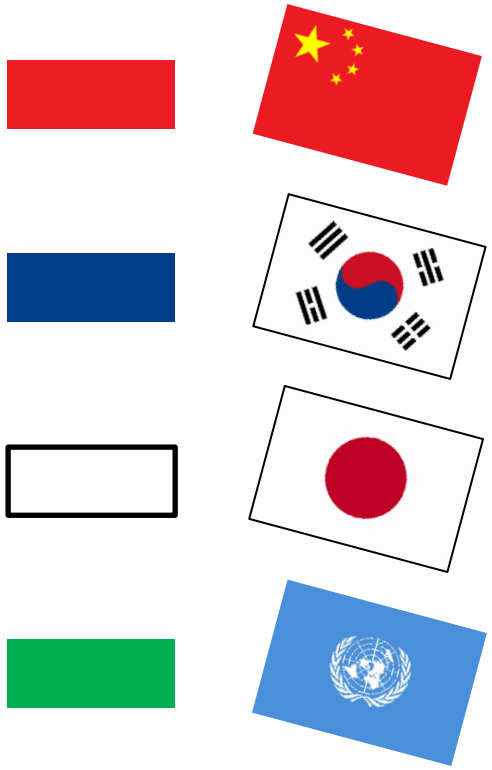


Qui produit les batteries?

Empa
Materials Science and Technology

Part de marché par fabriquant

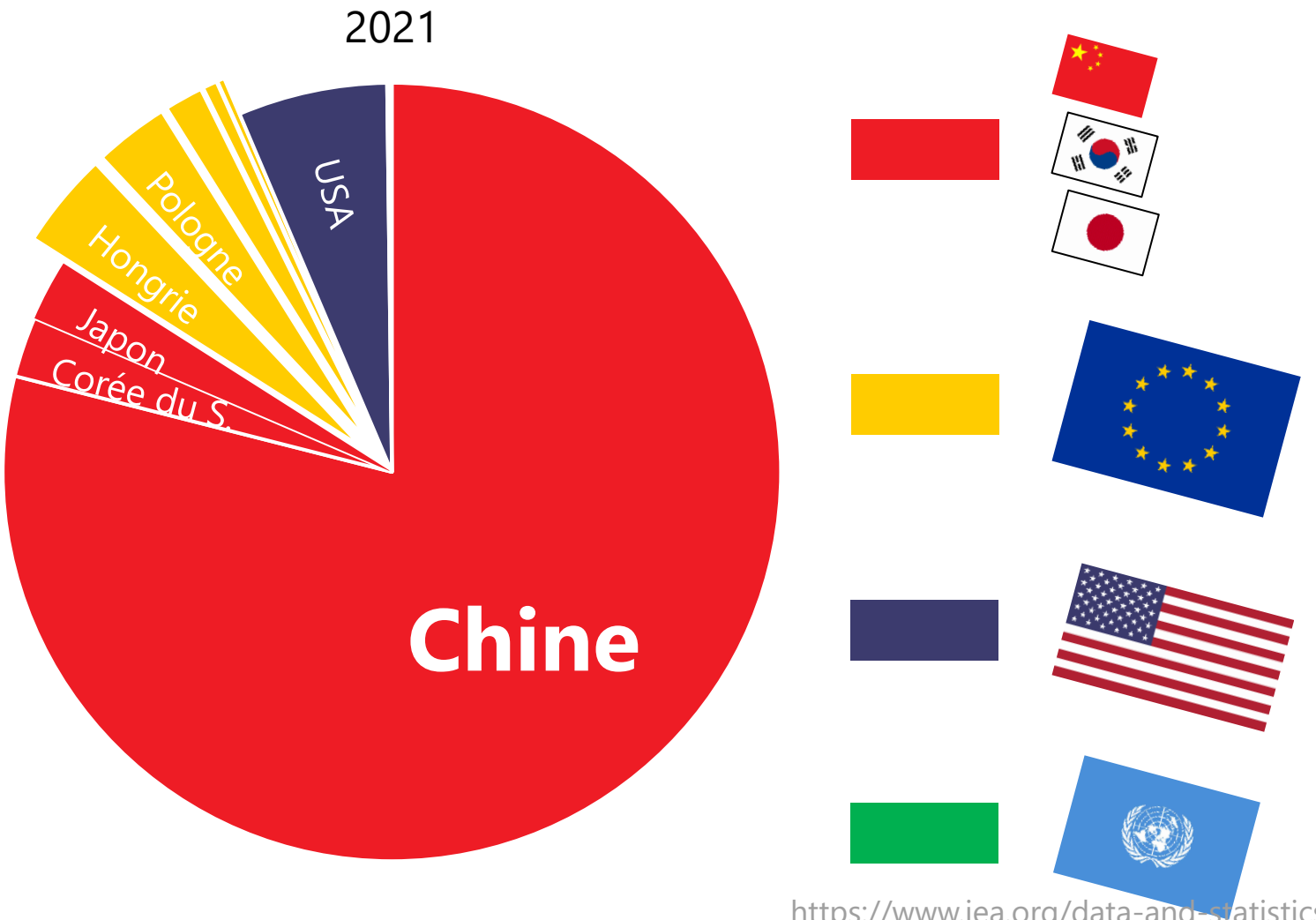




https://www.iea.org/data-and-statistics

Où sont produites les batteries?

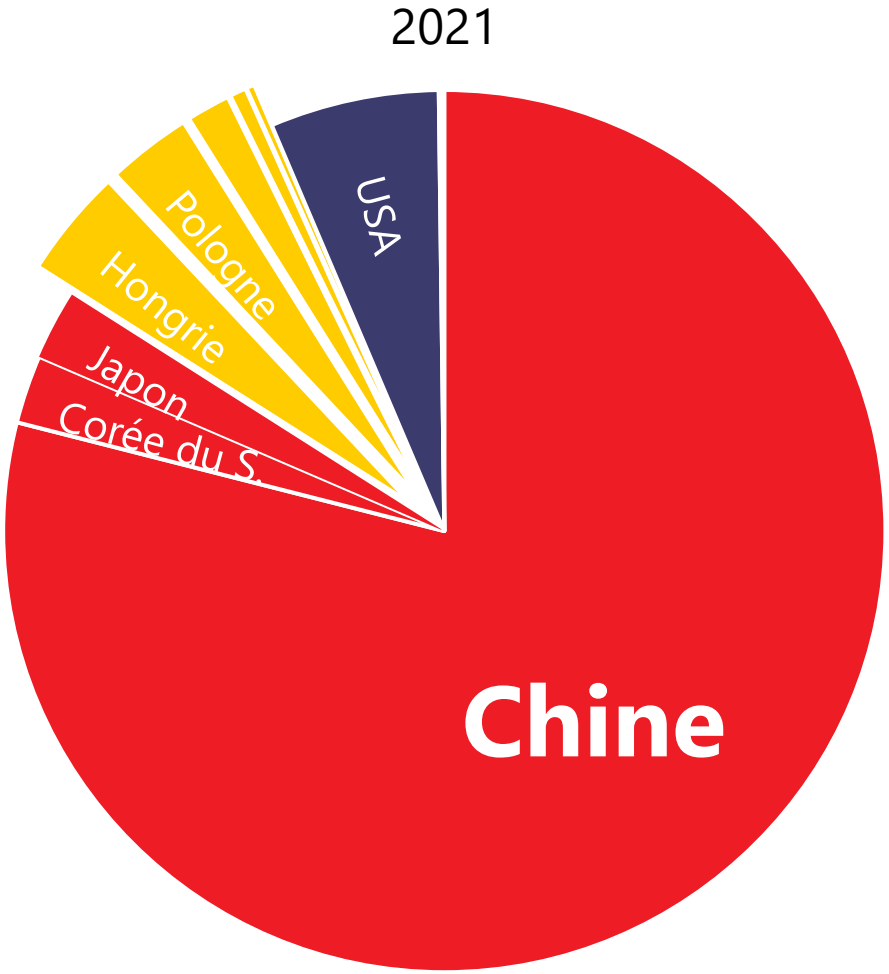
Capacité de production par pays

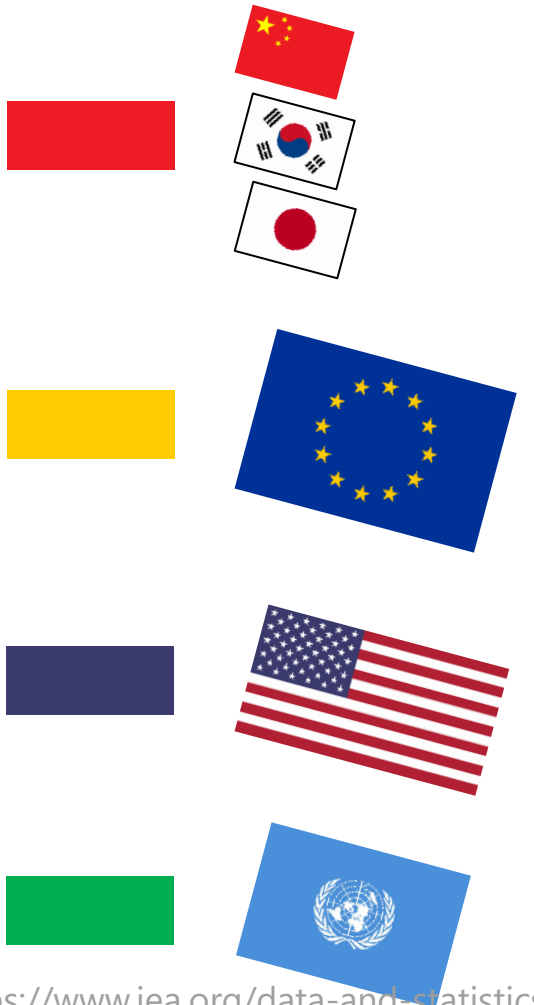


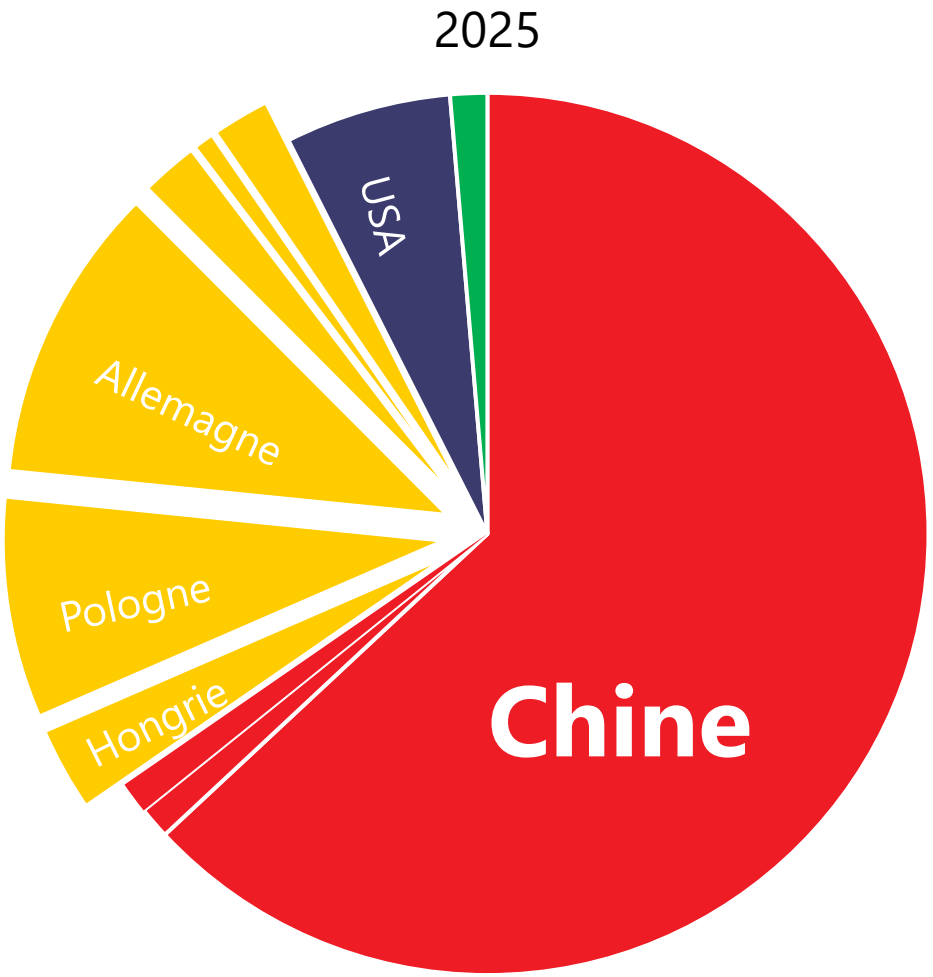
https://www.iea.org/data-and-statistics

Où sont produites les batteries?

Capacité de production par pays

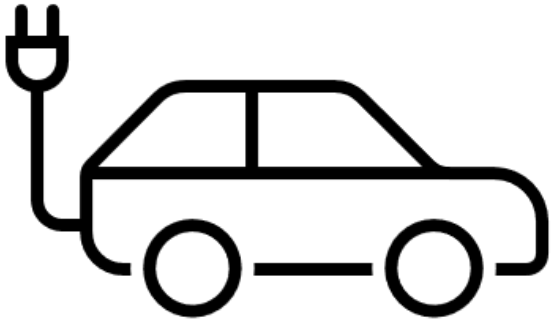






https://www.iea.org/data-and-statistics

Utilisation des batteries de véhicules électriques



- Portée et capacité
- Risques et danger
- Durée de vie

Dimensionnement et portée

Aussi grande que nécessaire, aussi petite que possible

Dacia Spring

Mercedes EQS

30 kWh	**50 kWh**	**70 kWh**	**100+ kWh**

Dimensionnement et portée

Aussi grande que nécessaire, aussi petite que possible

Dacia Spring

Mercedes EQS

	30 kWh	50 kWh	70 kWh	100+ kWh
Usage	Penduler			
Capacité	120-150 km en ville			

Grundlagedokument Traktionbatterien, 2023, BFE

Dimensionnement et portée

Aussi grande que nécessaire, aussi petite que possible

Dacia Spring

Mercedes EQS

	30 kWh	50 kWh	70 kWh	100+ kWh
Usage	Penduler	Longs trajets occasionnels	Longs trajets fréquents	
Capacité	120-150 km en ville	200 km autoroute	300 km autoroute	

Grundlagedokument Traktionbatterien, 2023, BFE

Dimensionnement et portée

Aussi grande que nécessaire, aussi petite que possible

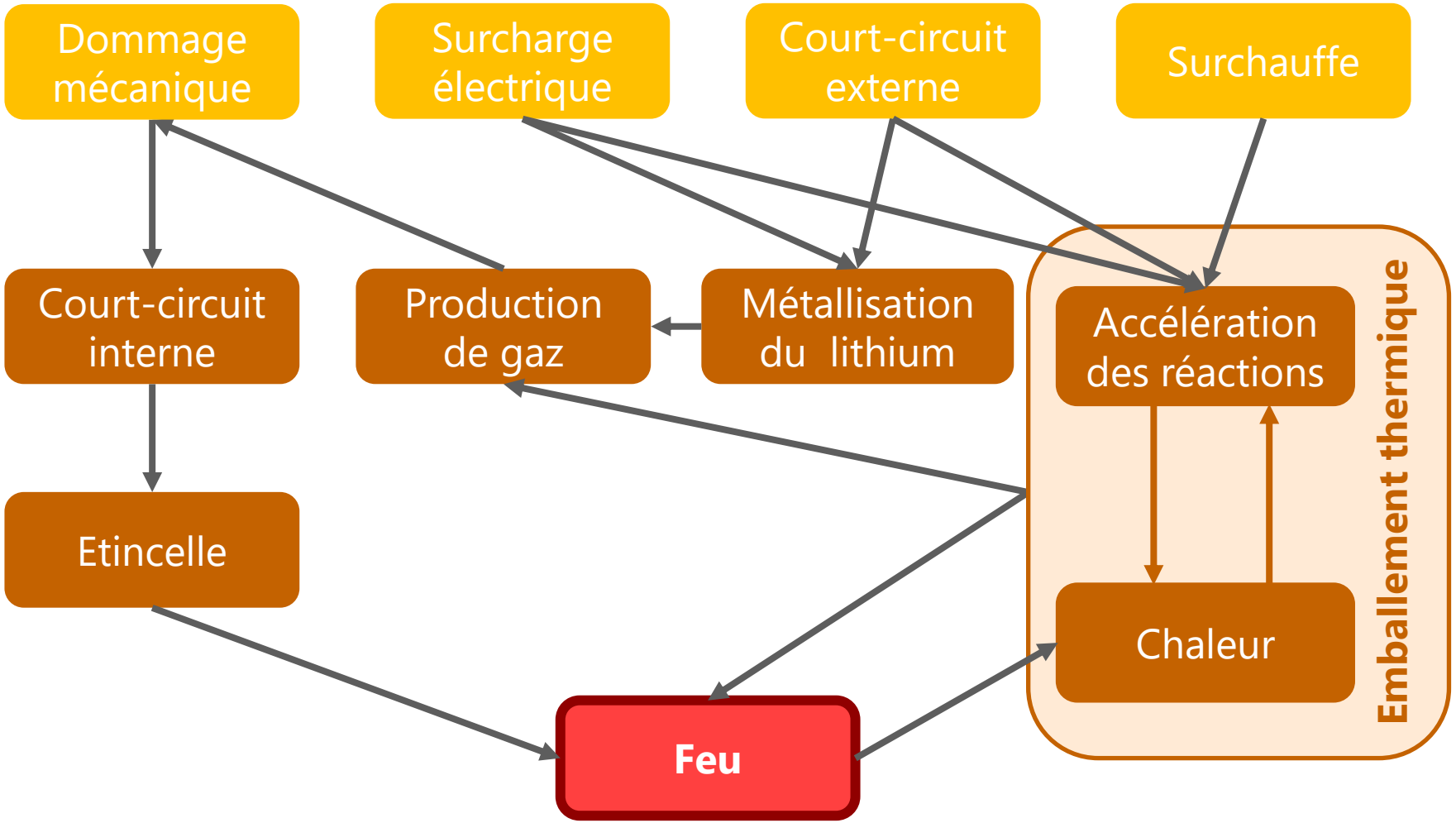
Dacia Spring

Mercedes EQS

	30 kWh	50 kWh	70 kWh	100+ kWh
Usage	Penduler	Longs trajets occasionnels	Longs trajets fréquents	???
Capacité	120-150 km en ville	200 km autoroute	300 km autoroute	Équivalent voiture fossile

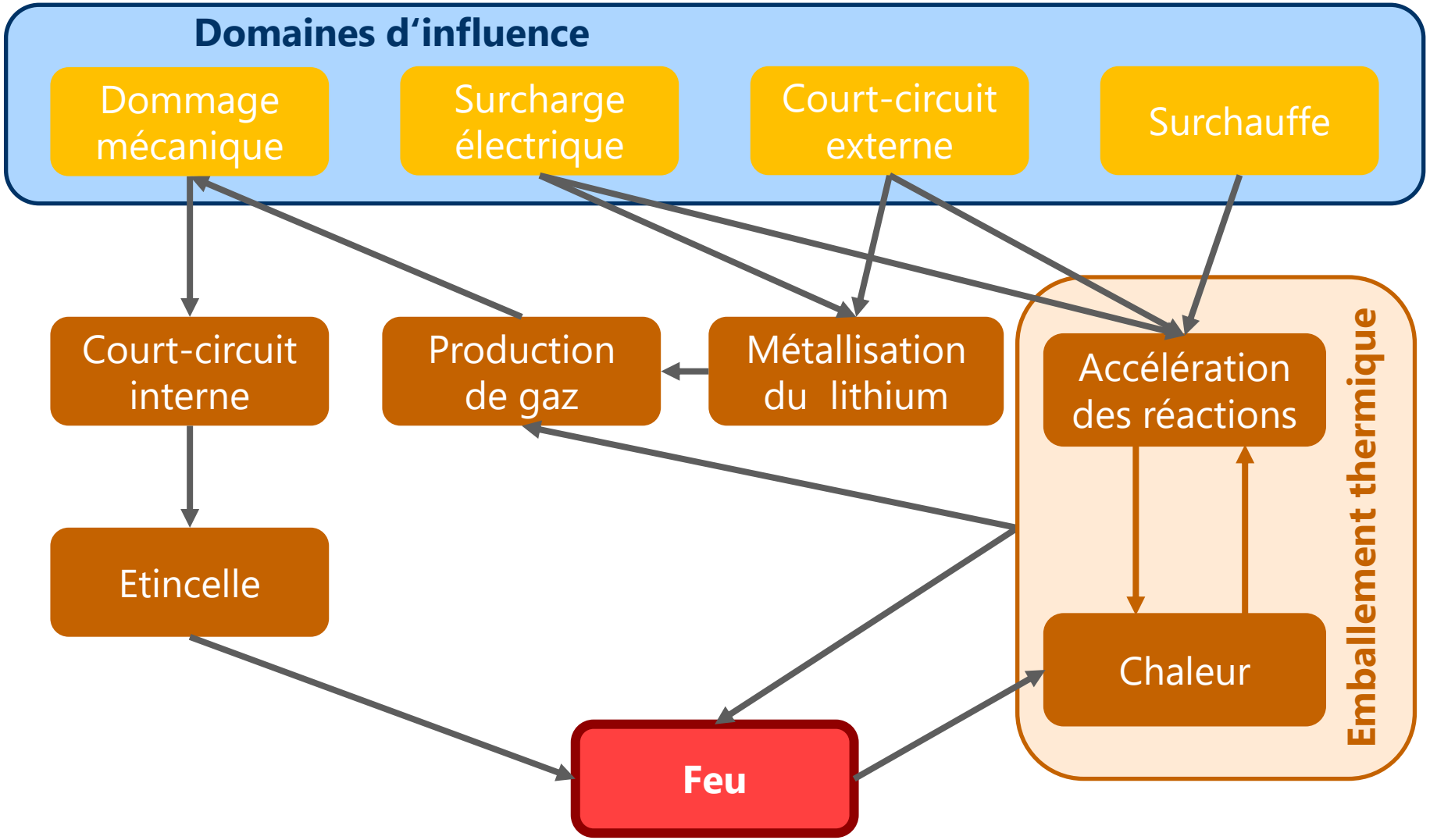
Grundlagedokument Traktionbatterien, 2023, BFE

Incendie de batteries



C. Marmy, 2021, Präsentation SwissRecycling

Incendie de batteries



C. Marmy, 2021, Präsentation SwissRecycling

Comparé à un véhicule thermique, un véhicule électrique présente :

… Un risque d’incendie plus élevé,
… Des incendies plus difficiles à maîtriser,
… Les deux,
… Ni l’un ni l’autre.

Incendie de batteries

Le risque d'incendie n'est pas supérieur à celui des voitures à essence ou diesel.

La même chose pour les romands:
Les voitures électriques n'étaient pas à l'origine de l'incendie sur le cargo à voitures *Freemantle Highway* en mer du nord

watson 26° DE | FR

Schweiz International Wirtschaft Sport Leben Spass Digital Wissen Blogs Quiz Videos Promotionen

International › Deutschland › Fremantle Highway: Elektroautos verursachten Brand auf Frachter wohl nicht

Elektroautos waren's wohl nicht: Ursache für Brand auf Autofrachter gibt weiter Rätsel auf

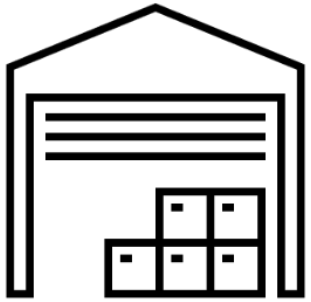
49 News folgen

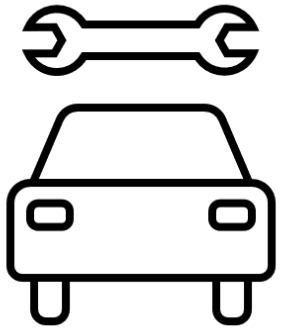
14.08.2023, 21:12 14.08.2023, 22:40

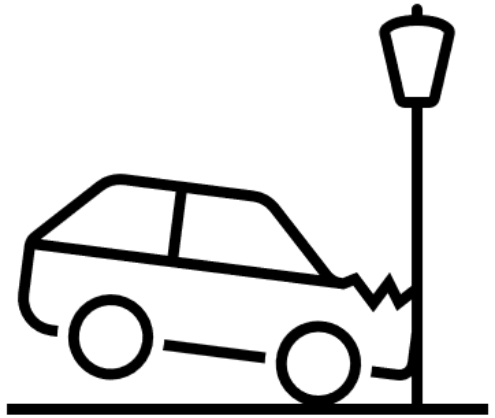
https://www.watson.ch/international/deutschland/381096776-fremantle-highway-elektroautos-verursachten-brand-auf-frachter-wohl-nicht

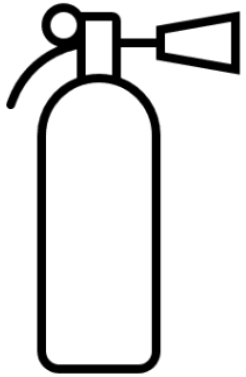
Incendie de batteries

Adaptation nécessaire des normes de sécurité incendie









Durée de vie des batteries

Empa
Materials Science and Technology

On ne le sait pas (encore), mais:

Durée de vie des batteries

Empa
Materials Science and Technology

On ne la connait pas (encore), mais:

- Garantie: **8-10 ans**
- Durée de vie moyenne des voitures actuelles: **~17 ans**
- Estimations initiales: **~12 ans**
- Premières données empiriques: **probablement bien plus longue**

Durée de vie des batteries

Empa
Materials Science and Technology

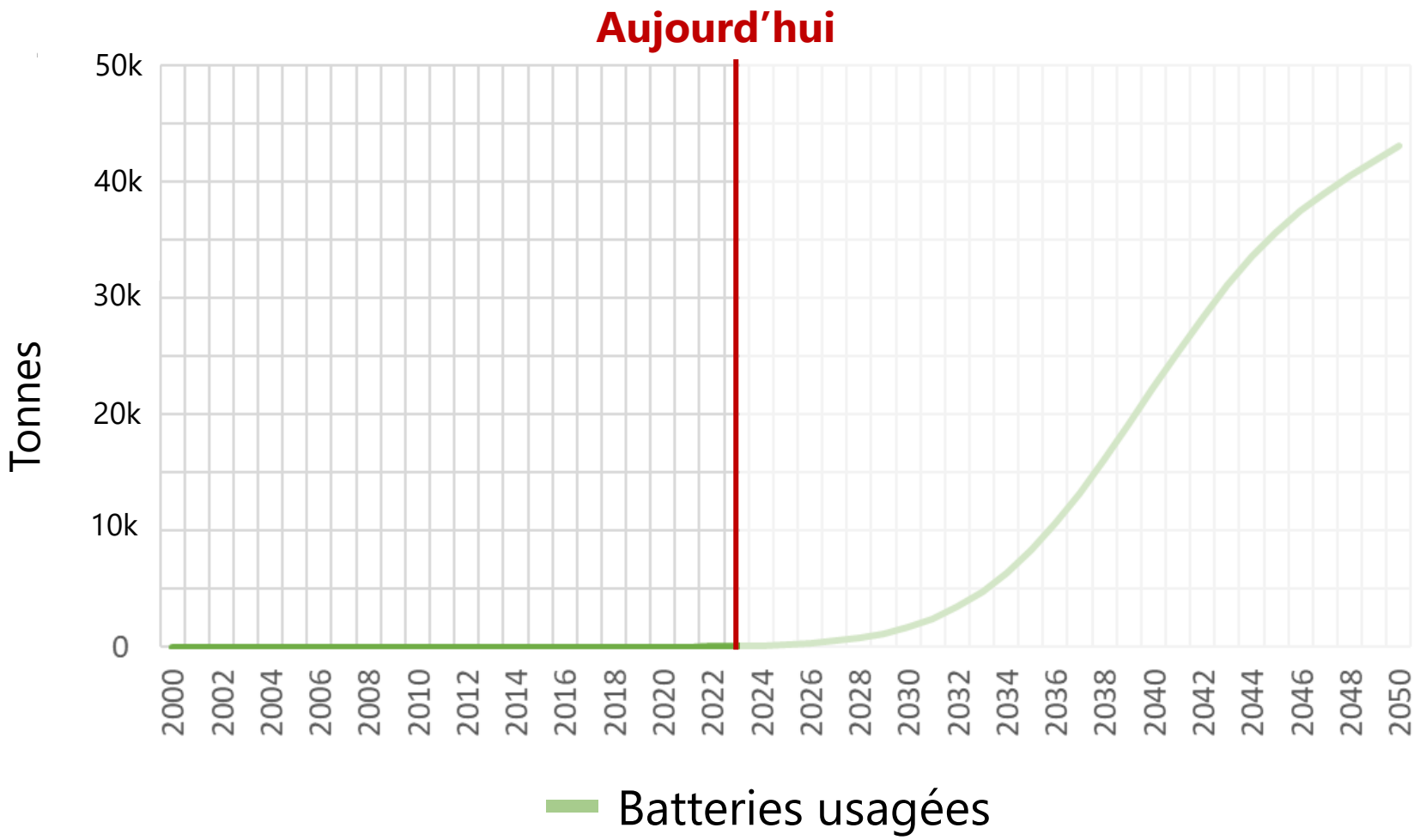
On ne la connait pas (encore), mais:

- Garantie: **8-10 ans**
- Durée de vie moyenne des voitures actuelles: **~17 ans**
- Estimations initiales: **~12 ans**
- Premières données empiriques: **probablement bien plus longue**

➢ **Ce sont les utilisatrices et utilisateurs qui décident quand une batterie est „trop“ vieille**

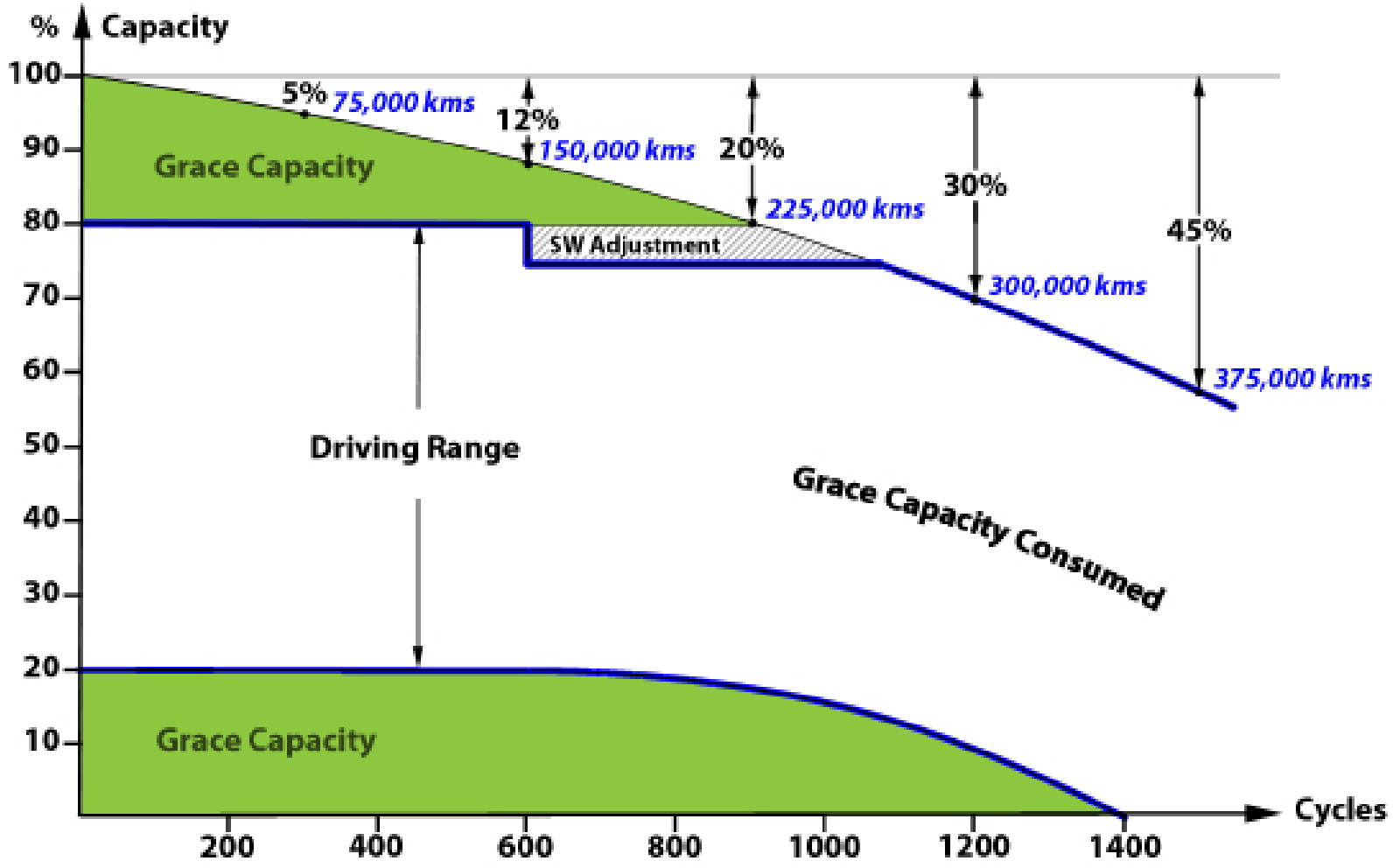
Durée de vie et dynamique de la flotte

Masse totale de batteries de voitures électriques usagées en Suisse



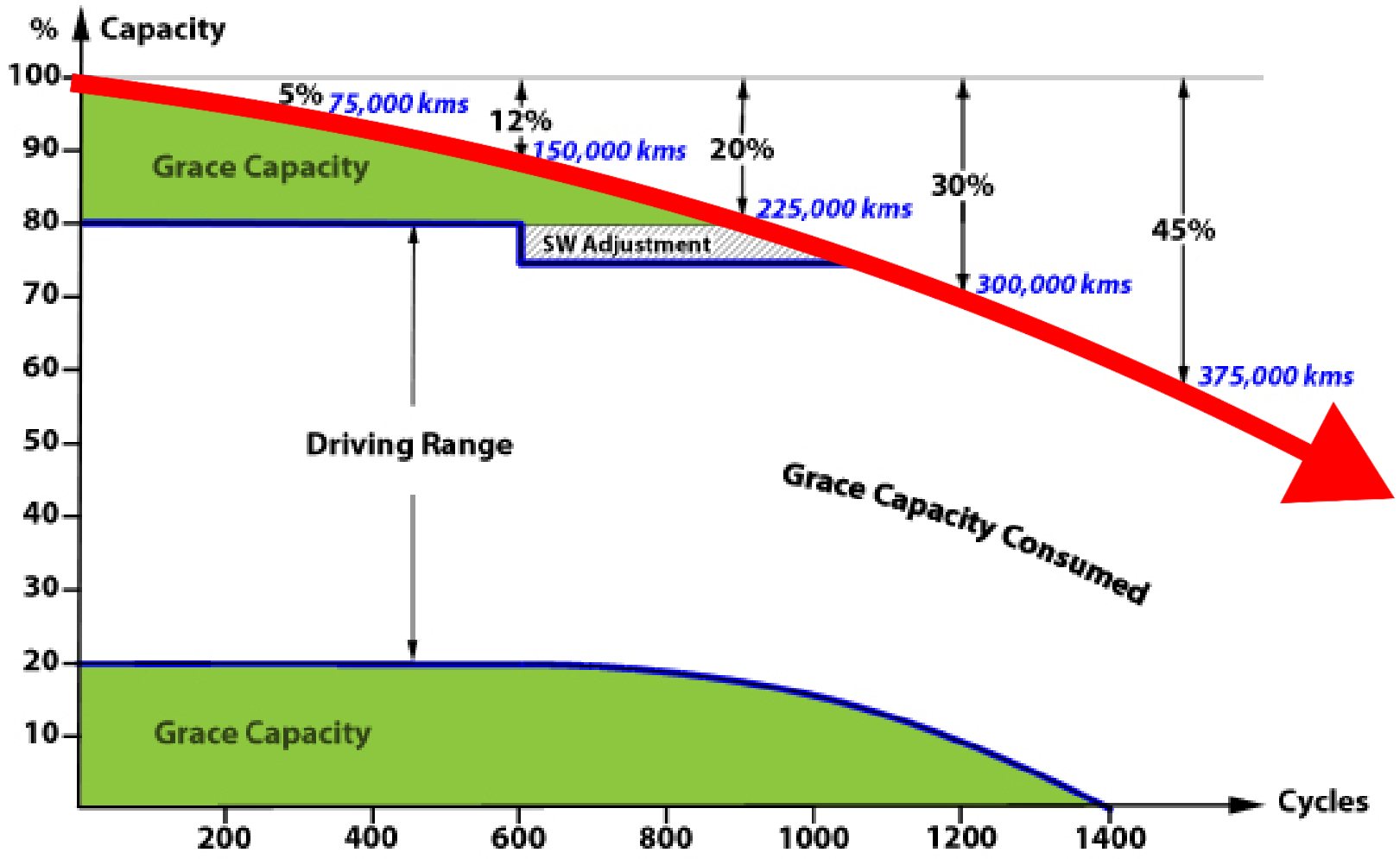
C. Marmy, 2023, Projekt EVA II, Empa

Réduction de l'autonomie en raison du vieillissement de la batterie



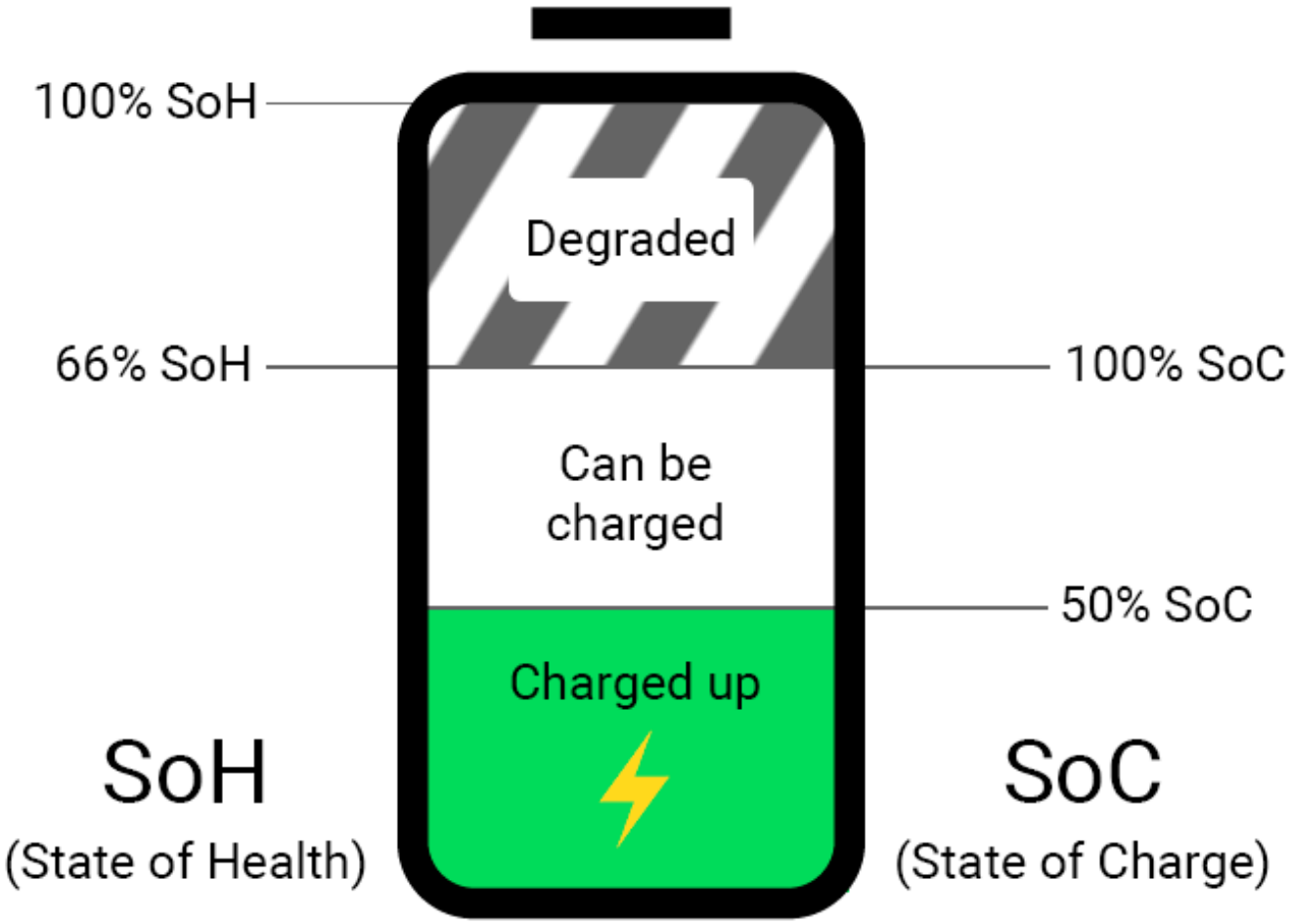
BU-1003a: Battery Ageing in an Electric Vehicle, 2019

Réduction de l'autonomie en raison du vieillissement de la batterie



BU-1003a: Battery Ageing in an Electric Vehicle, 2019

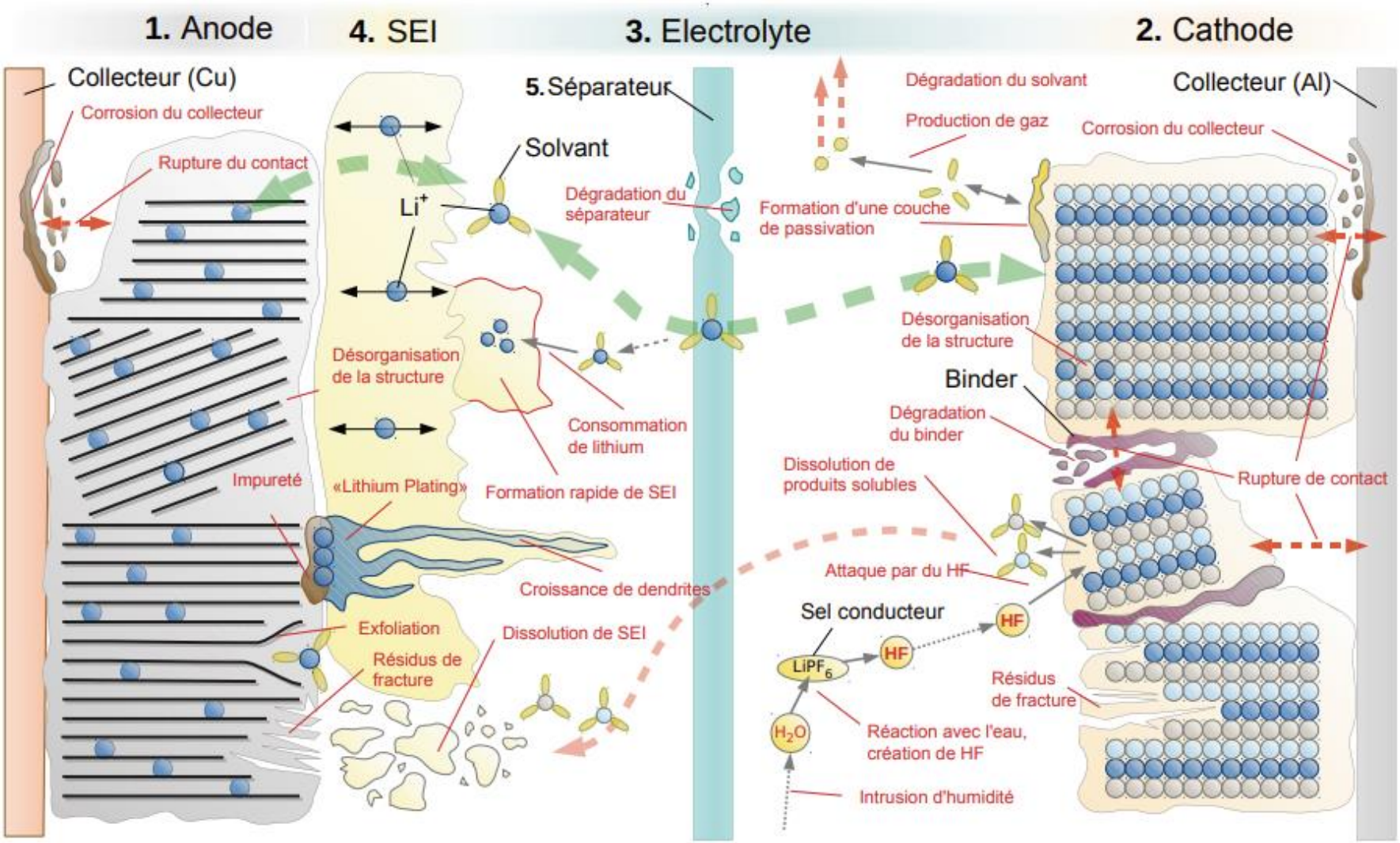
State of Health vs State of Charge



https://thepowertrip.co.nz/assets/EVGuide/SoCvsSoH.png

Mécanismes de vieillissement d'une batterie

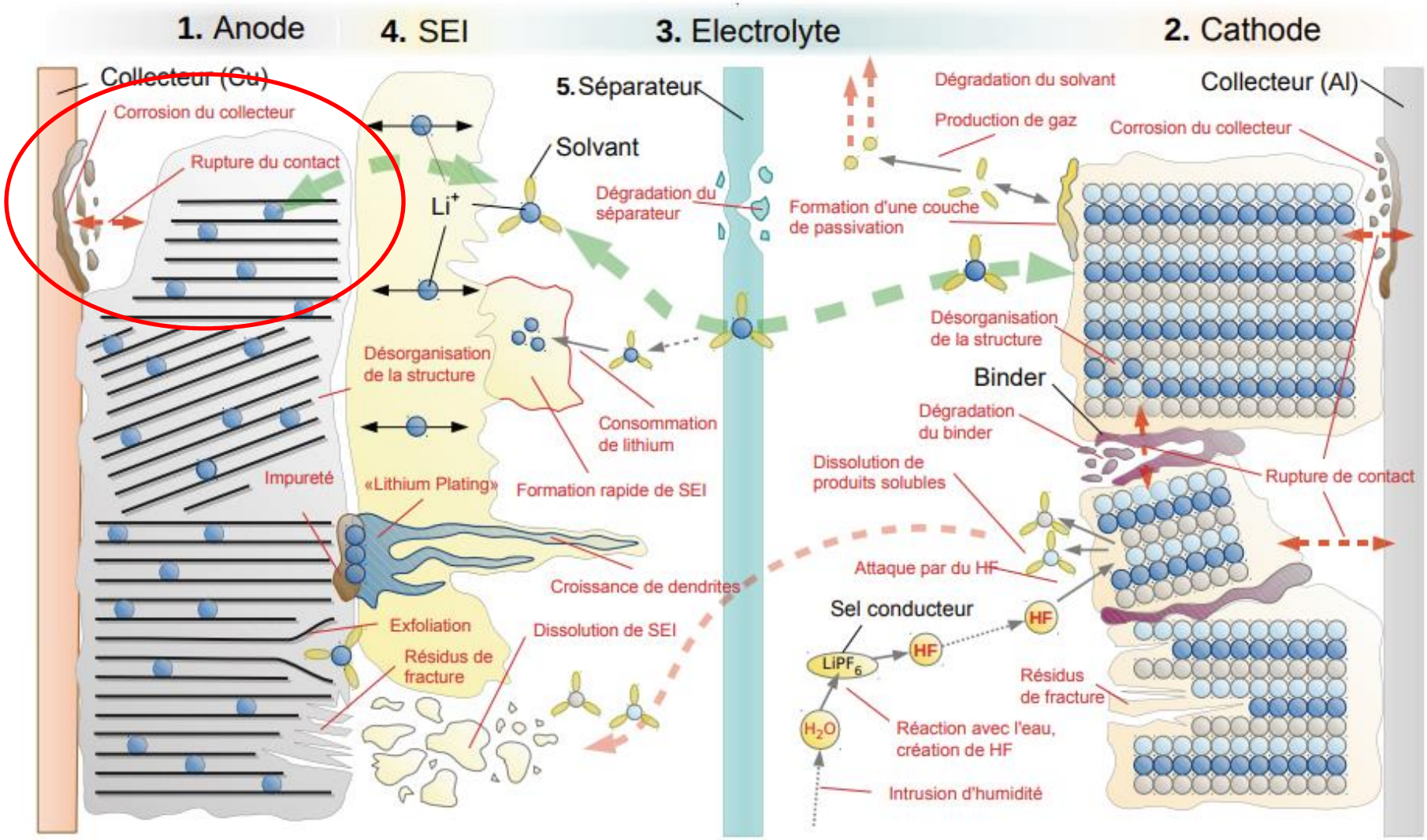
Empa
Materials Science and Technology



Schlasza, IEEE, 2014

Mécanismes de vieillissement d'une batterie

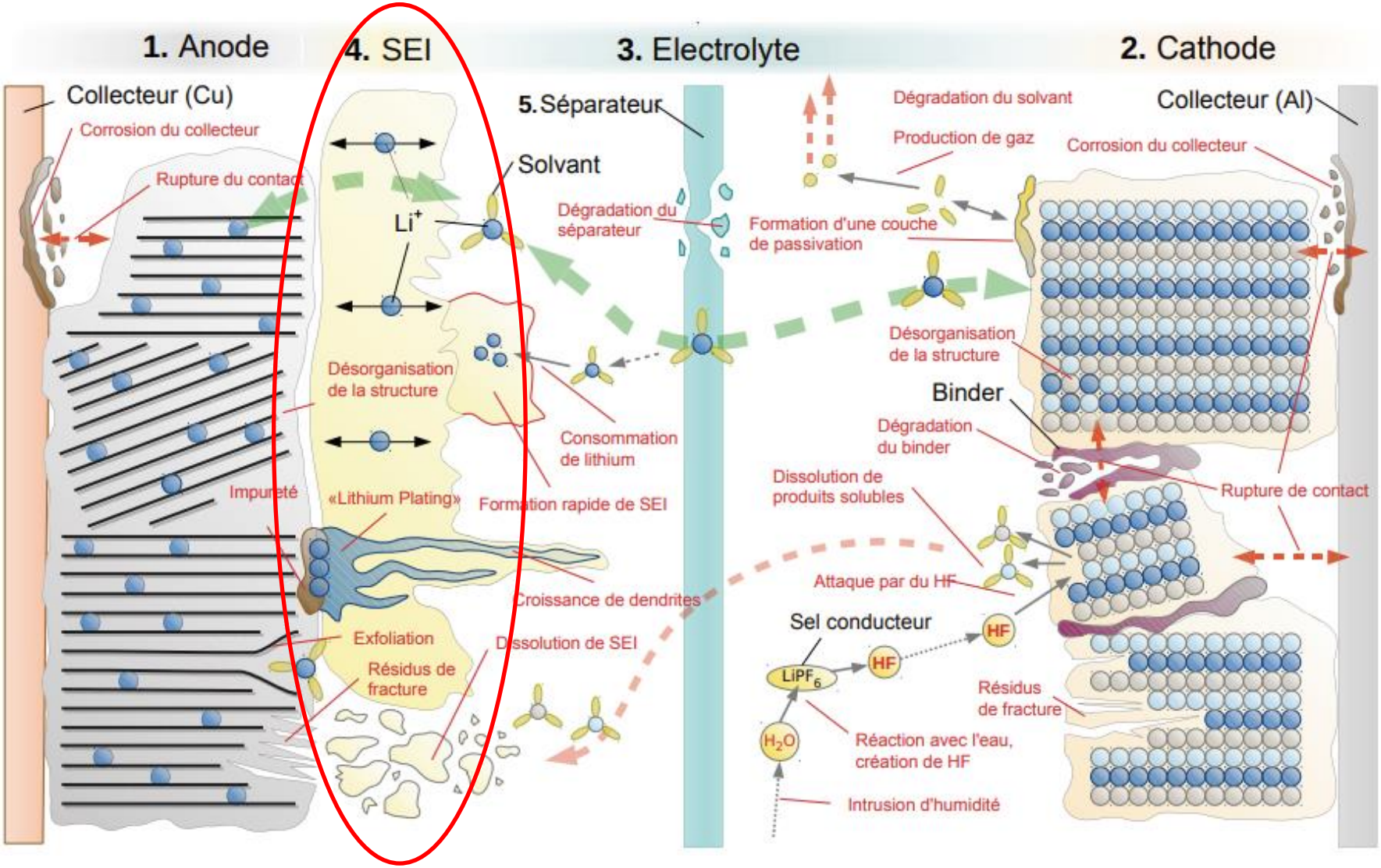
Empa
Materials Science and Technology



Schlasza, IEEE, 2014

Mécanismes de vieillissement d'une batterie

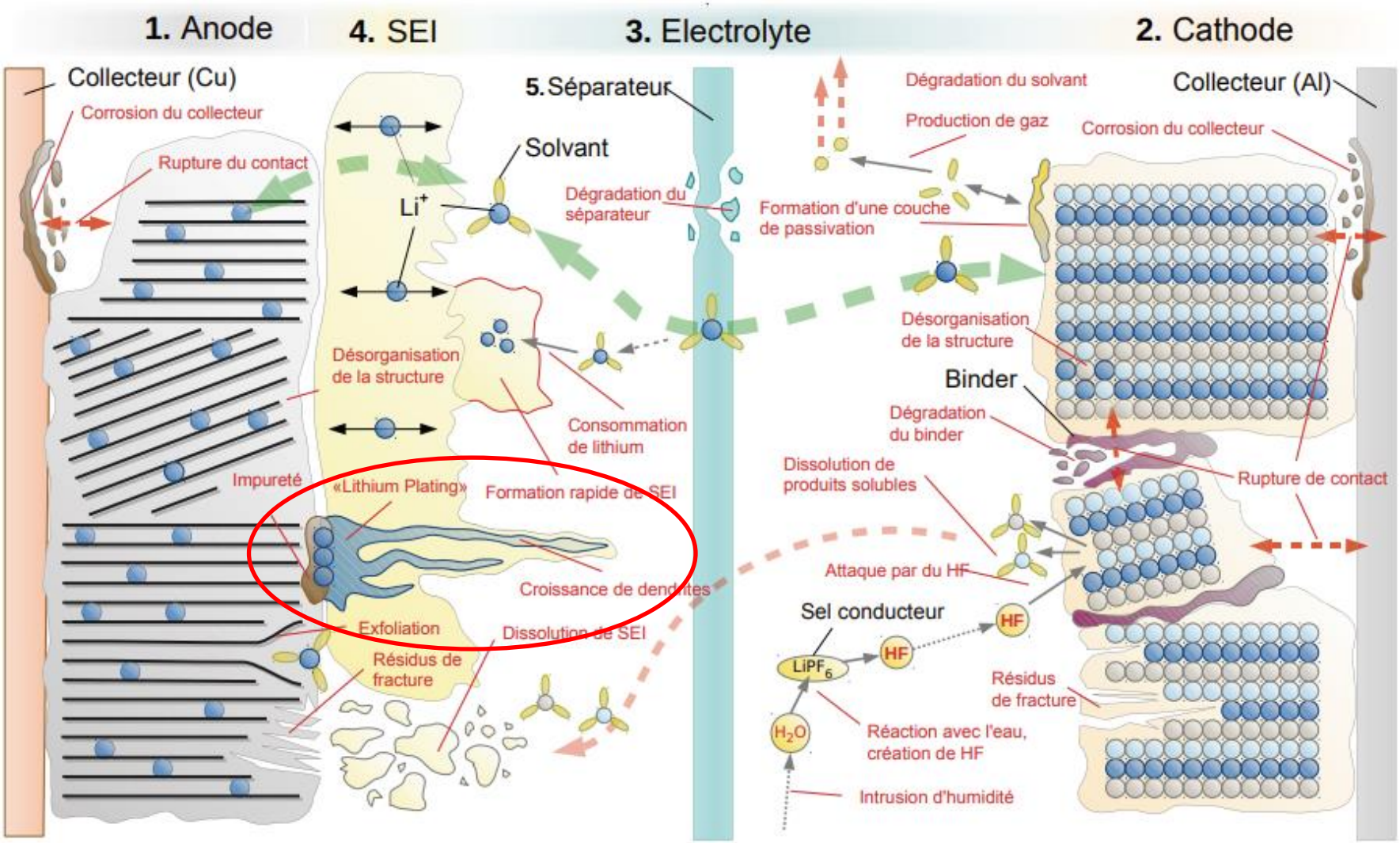
Empa
Materials Science and Technology



Schlasza, IEEE, 2014

Mécanismes de vieillissement d'une batterie

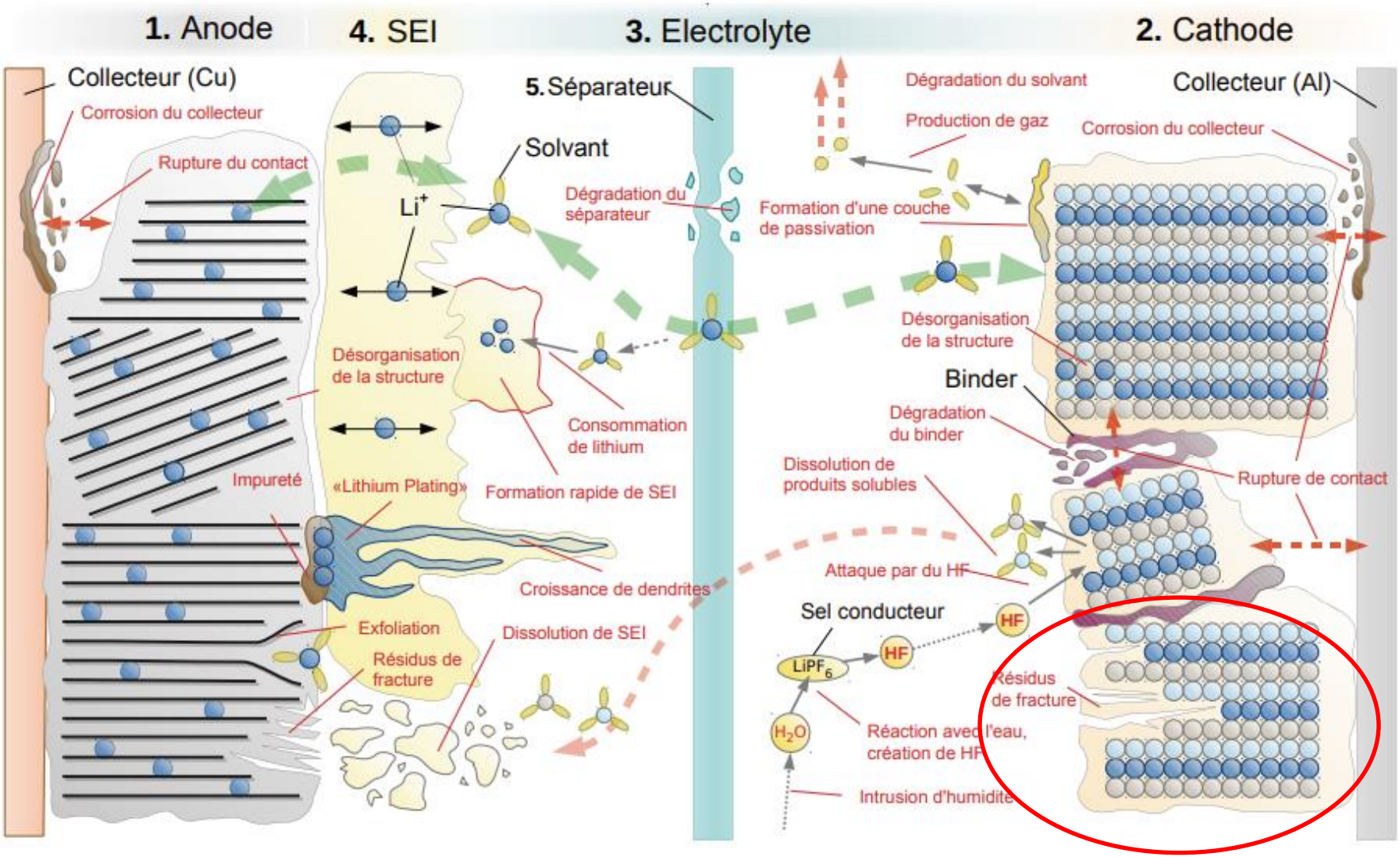
Empa
Materials Science and Technology



Schlasza, IEEE, 2014

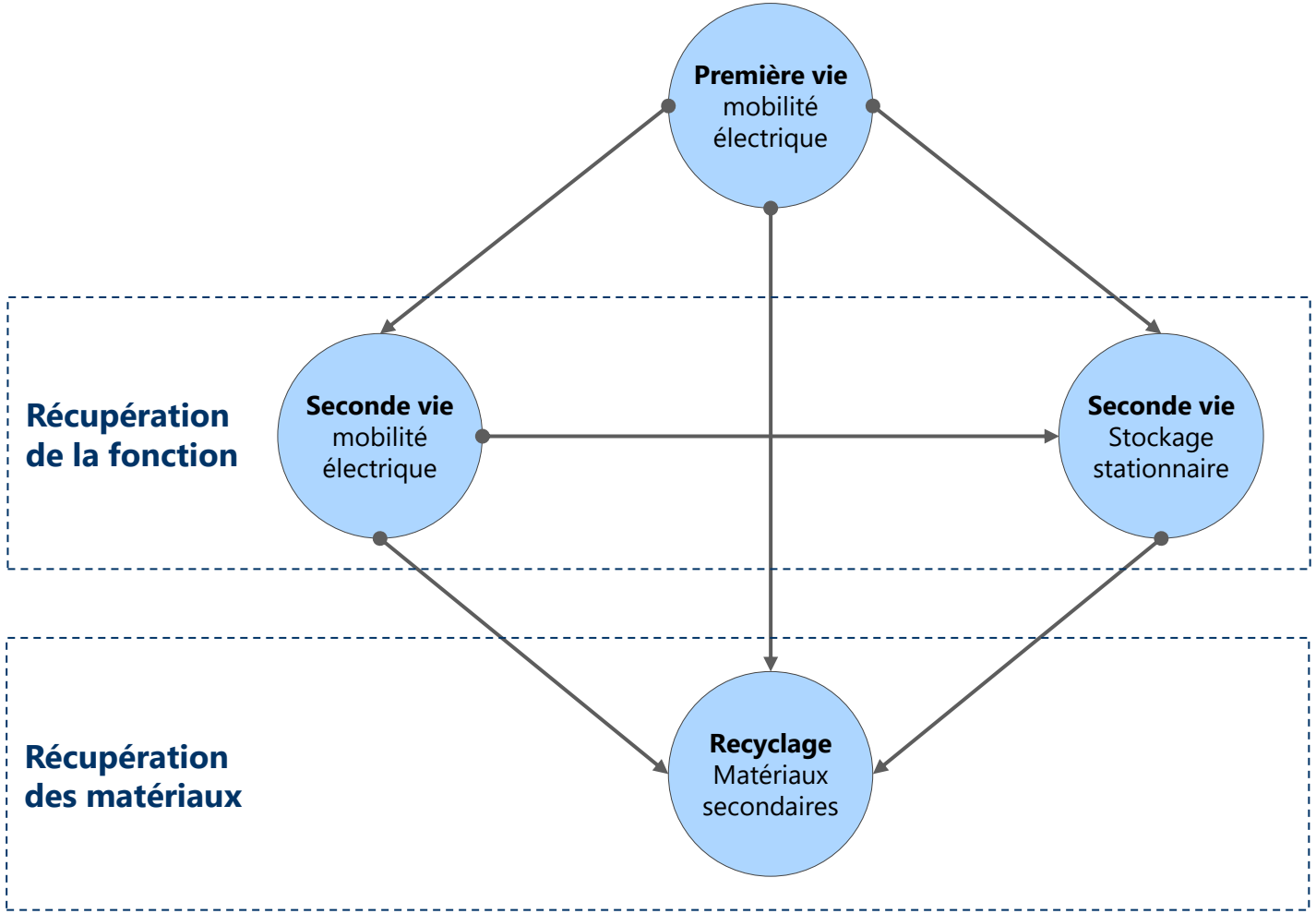
Mécanismes de vieillissement d'une batterie

Empa
Materials Science and Technology

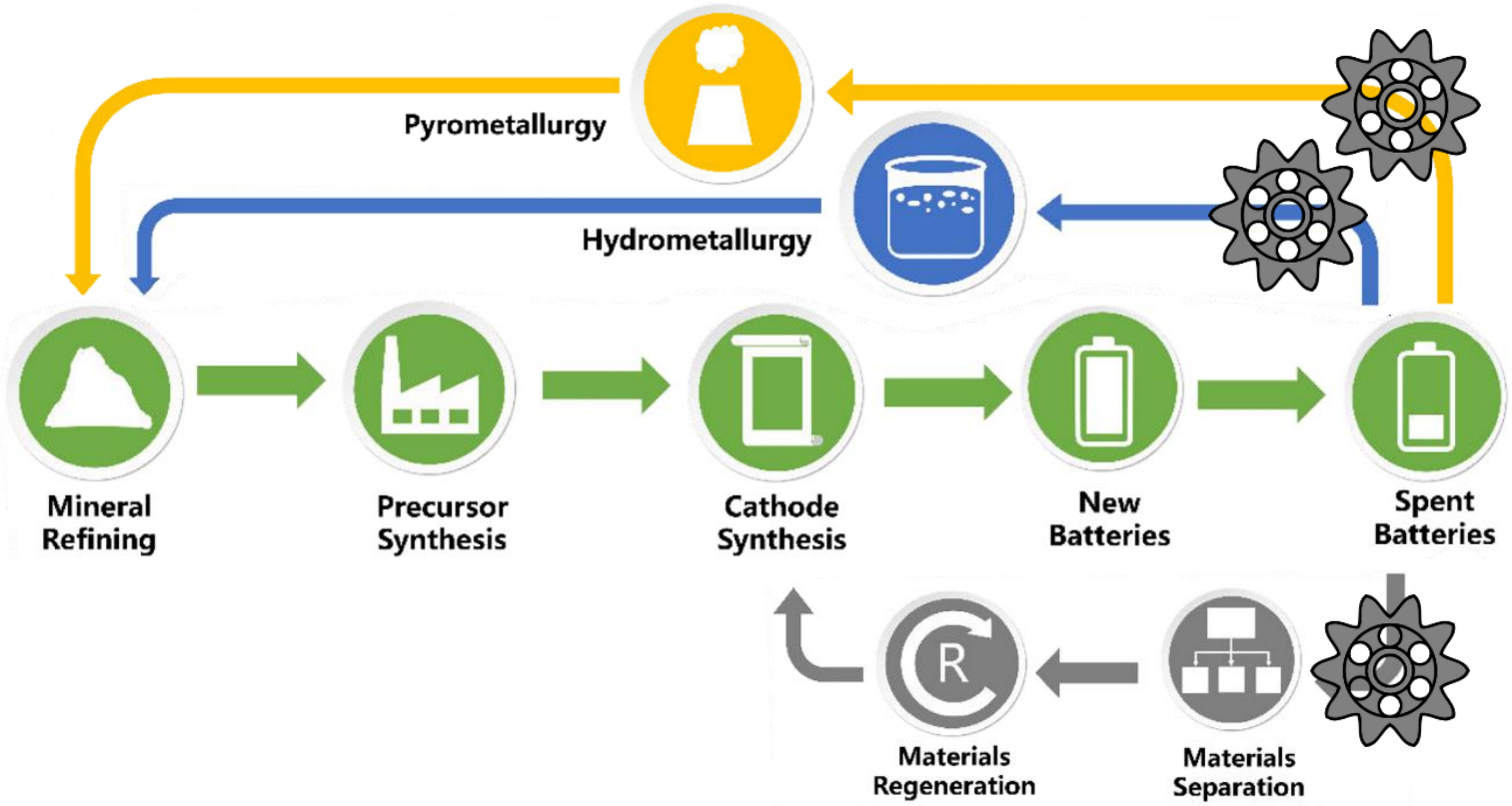


Schlasza, IEEE, 2014

Fins de vie des batteries

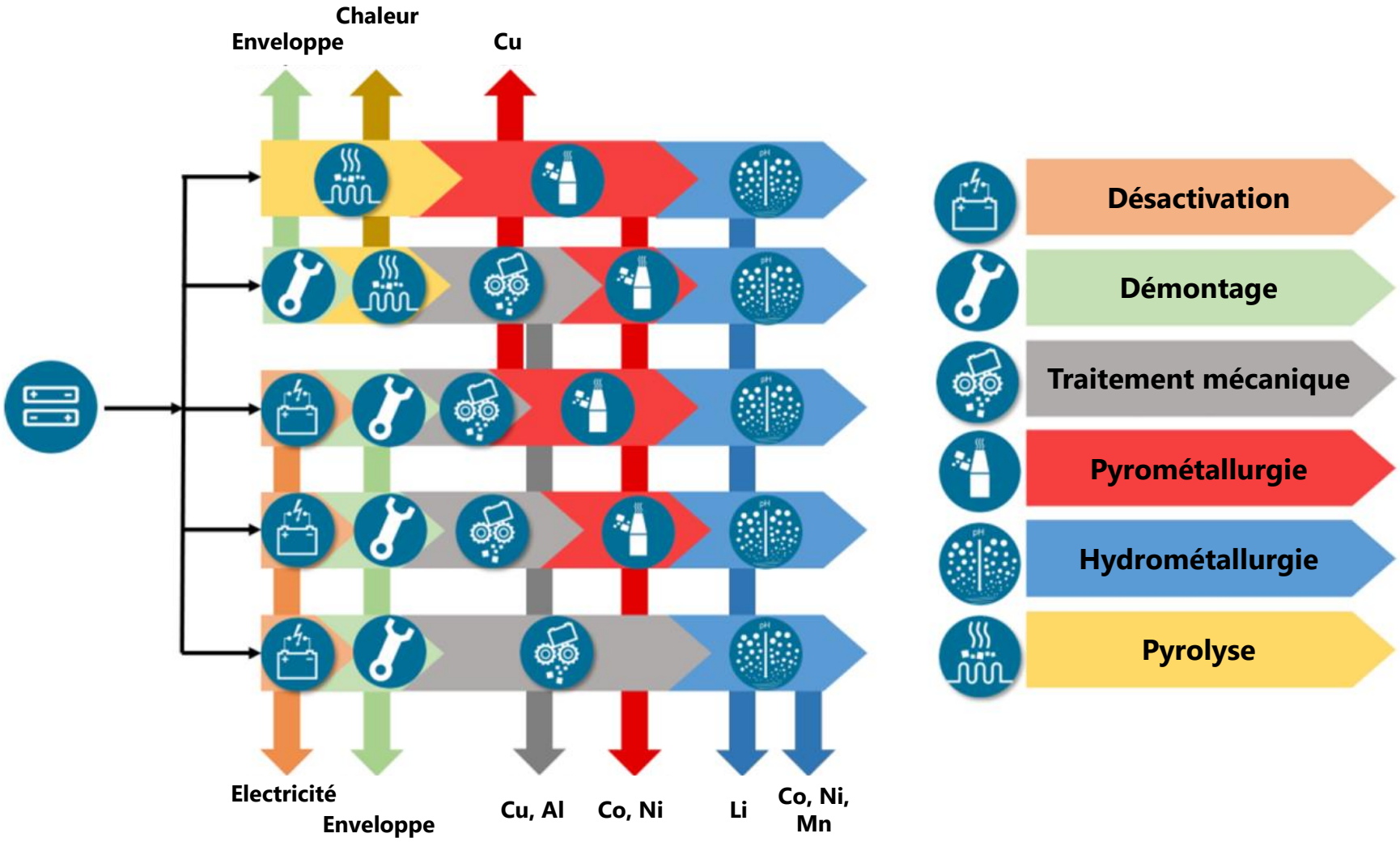


Recyclage des batteries



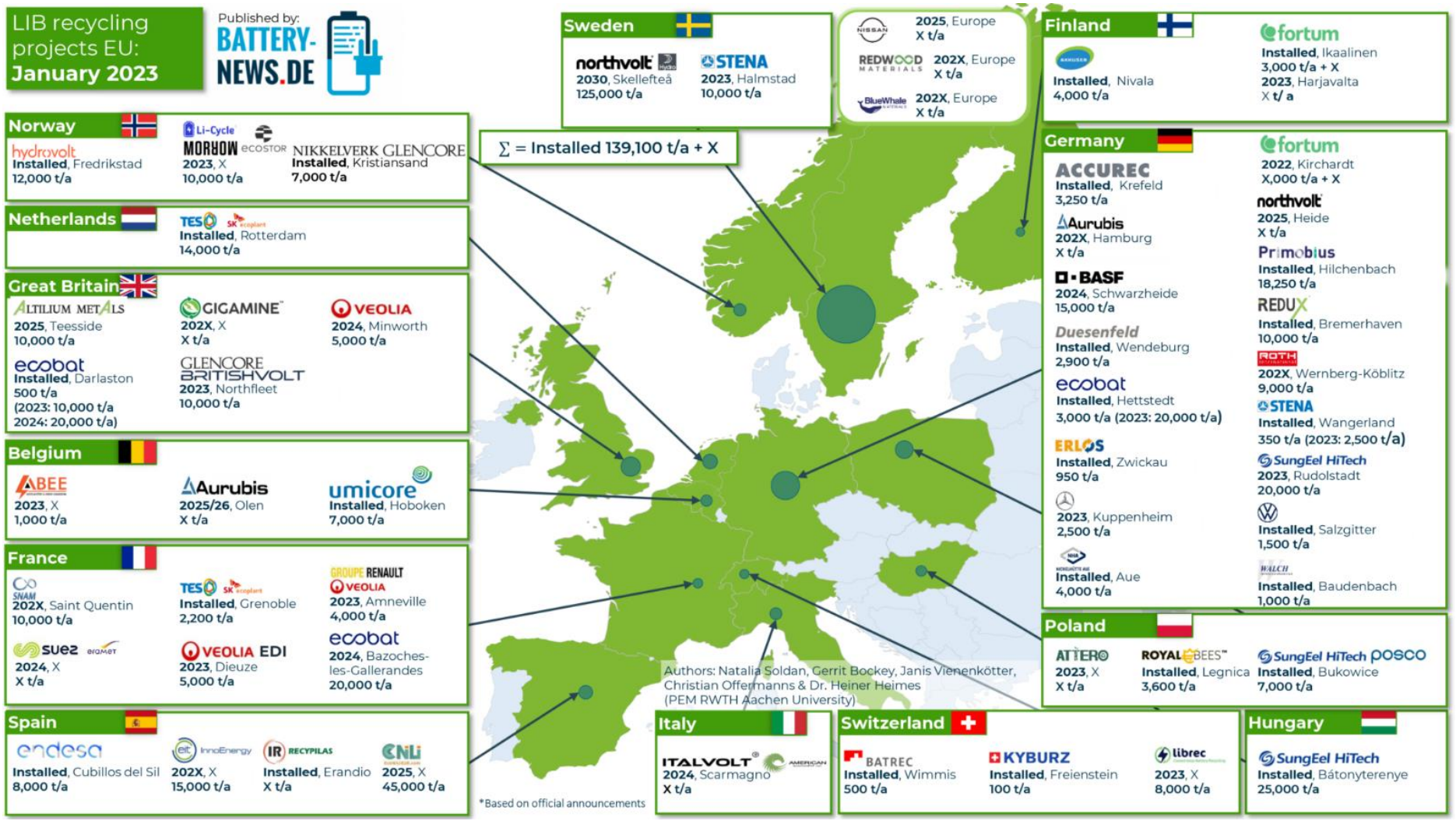
J. Wu; Direct recovery: a sustainable recycling technology for spent Lithium-ion batteries; Jan. 2023

Recyclage des batteries



Ch. Neef; Recycling von LIB: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagebau; Nov. 2021

Recyclage des batteries



https://battery-news.de/index.php/2023/01/27/batterie-recycling-in-europa-stand-01-2023/

En bref

- En général: Thématique très dynamique!
- Ecobilan: l’électricité est meilleure que le pétrole
- Approvisionnement global, production en Chine
- Usage: Des batteries aussi grandes que nécessaire, aussi petites que possible
- Fin de vie: Seconde vie ou recyclage? Ça dépend!

Merci beaucoup!

Marie-Claude Bay

Chargée de projets
énergies renouvelables

marie-claude.bay@planair.ch

Charles Marmy

Empa
Materials Science and Technology

Chef de projet
Scientifique

charles.marmy@empa.ch

VOLUTIO
Your Circular Economy Partners

Fondateur
Expert économie
circulaire et mobilité

charles.marmy@volutio.ch

Merci pour votre attention

Charles Marmy

Chef de projet scientifique

charles.marmy@empa.ch

Marie-Claude Bay

Chargée de projets énergies renouvelables

marie-claude@planair.ch

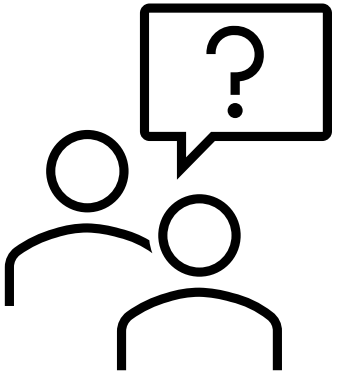
Geoffrey Orlando

Responsable Romandie

geoffrey.orlando@swiss-emobility.ch

Yannick Sauter

Responsable Romandie

sauter@swiss-emobility.ch

Questions ?