



Les Matériaux de l'Énergie du Futur

Les besoins actuels et à venir de la mobilité électrique

11 octobre 2023

Didier Bloch, CEA-LITEN, Grenoble

DÉCARBONATION DE L'ÉCONOMIE (FRANCE) : QUELLES PRIORITÉS ?



Emissions Totales CO₂eq France (2022) : ~ 415 Mt

https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/CP-Citepa_Secten_Emissions_5juin2023.pdf

https://www.citepa.org/wp-content/uploads/publications/secten/2023/Citepa_Secten_ed2023_v1.pdf

Emissions CO₂ du transport de personnes et de marchandises France : ~ 128 Mt
(~ 31% des émissions totales)
(~ 25% des émissions totales dans le monde)



Véhicules particuliers (VP) : ~ 68 Mt (~ 53%)



Utilitaires légers (VUL) : ~ 19 Mt (~ 15%)



Poids Lourds (PL) : ~ 35 Mt (~ 27%)



} **Véhicules « légers » : ~ 68 %**



Maritime : ~ 1,7 Mt (0,42%) (hors trafic international)

Aérien : ~ 4 Mt (~ 3%) (hors trafic international)



Autres (Deux Roues...) : ~ 2,6 Mt (~ 2%)

1) La décarbonation des activités liées au transport est critique pour respecter les accords de Paris sur le climat

2) La décarbonation du **transport routier** constitue une priorité

3) Il faut d'abord électrifier les **VP et les VUL** (87 Mt CO₂), ensuite les **PL** (35 Mt CO₂)

(sous réserve de disposer d'un parc de production d'électricité décarbonée)

Est-ce envisageable avec des batteries Li-Ion ? Quels besoins ? Quelles contraintes ?



Les besoins réels en batteries (et en matériaux) dépendent de **multiples paramètres** qui, chacun, modifient significativement la donne

LES PARAMÈTRES DE TRAVAIL

- La **croissance réelle** du marché du **véhicule électrifié léger** (Véhicules Particuliers et Utilitaires Légers)
- Le **type** de véhicule léger (VP & VUL)
 - **Tout électrique** « BEV » : **50 ou 100 kWh** embarqués ?
 - **Hybride rechargeable** « PHEV » **10-20 kWh** embarqués ?
- La croissance **réelle** du marché du **transport terrestre lourd (encore difficilement estimable)**
 - **Camions/Trains** alimentés uniquement par batterie ? Hybride ? Caténaire ? Swapping ?

<https://www.electrive.com/2023/06/13/catl-presents-battery-swapping-system-for-trucks/>
- La croissance **réelle** de **marchés initialement non pressentis**
- L'inexistence probable ou le déclin de **marchés initialement pressentis**
- La **Chimie** utilisée pour les matériaux (NMC; LFP; Na-Ion...)
- Les facteurs (géopolitiques etc...) susceptibles, entre autres, de réduire la disponibilité des matériaux
- Les politiques publiques en général, et les incitations à l'achat en particulier

Comment identifier les lignes directrices ?

Quelles sont les tendances lourdes ?





Quel marché ?



Petit retour en arrière, Autrans, septembre 2018



FIN 2018 : MISE EN SERVICE DE LA 1^{ÈRE} « GIGAFACTORY » PANASONIC/TESLA



Batterie 75-100 kWh
(6400 cellules)



La 2^{ème} plus grande usine du monde
par sa taille



Panasonic



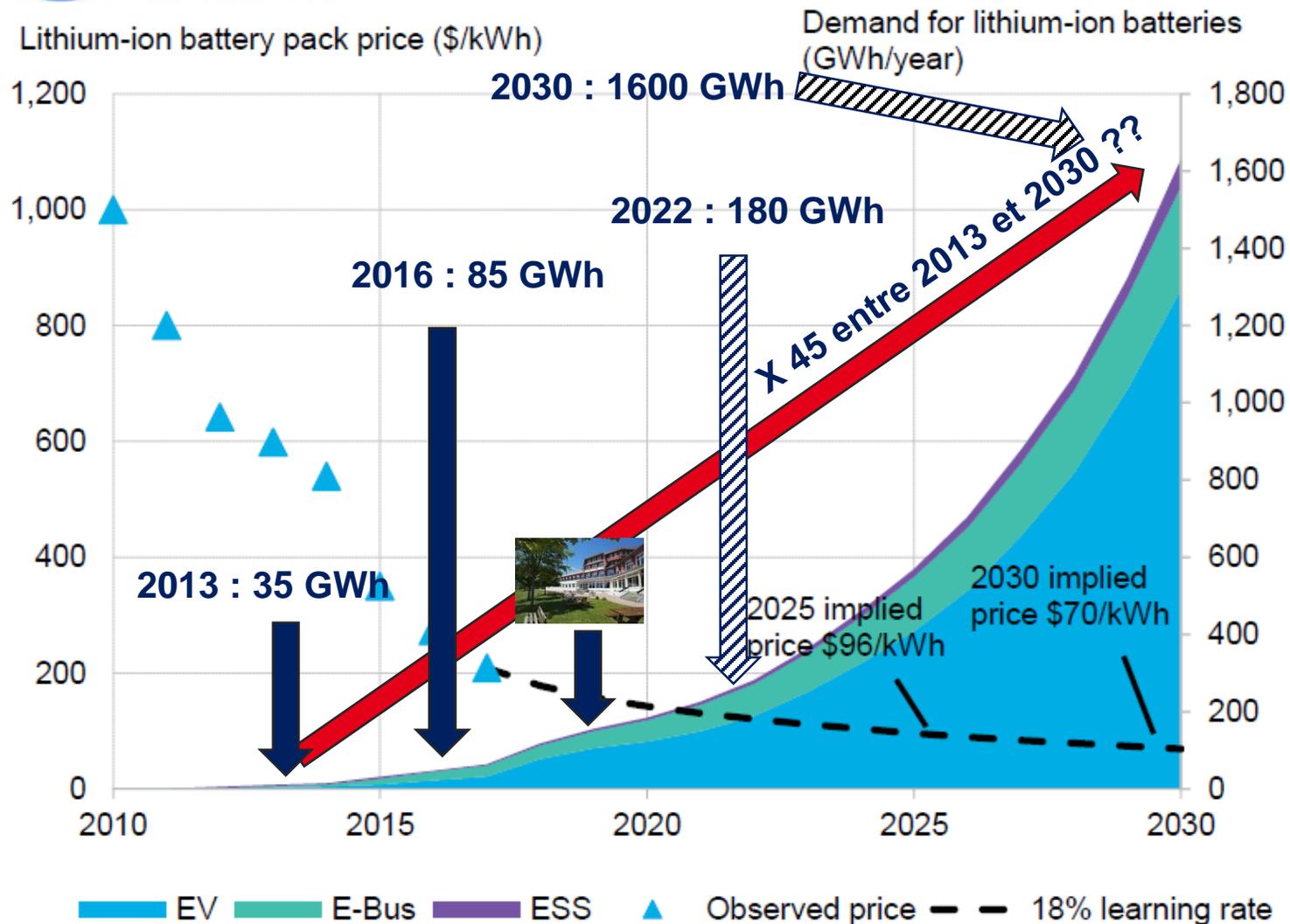
- ~ 5 milliards de dollars
- ~ 35 GWh batteries par an (500 000 vehicles)
- ~ 90 accus/seconde; 24h/24h; 365 jours/an

Mise en service **fin 2018**, la Gigafactory PANASONIC/TESLA (35 GWh) produit autant de batteries en 2020 que la totalité du marché mondial en 2013

<https://www.automobile-propre.com/tesla-panasonic-un-partenariat-fragilisant/>

L'unité de compte devient la Gigafactory...

Que disent, alors, les projections (très volontaristes) de Bloomberg ?



~ 35 GWh relevés en 2013...

~ 85 GWh relevés en 2016...

~ 180 GWh estimés en 2022...

...1600 GWh estimés en 2030...

« ...soit une production multipliée par 45 entre 2013 et 2030... »

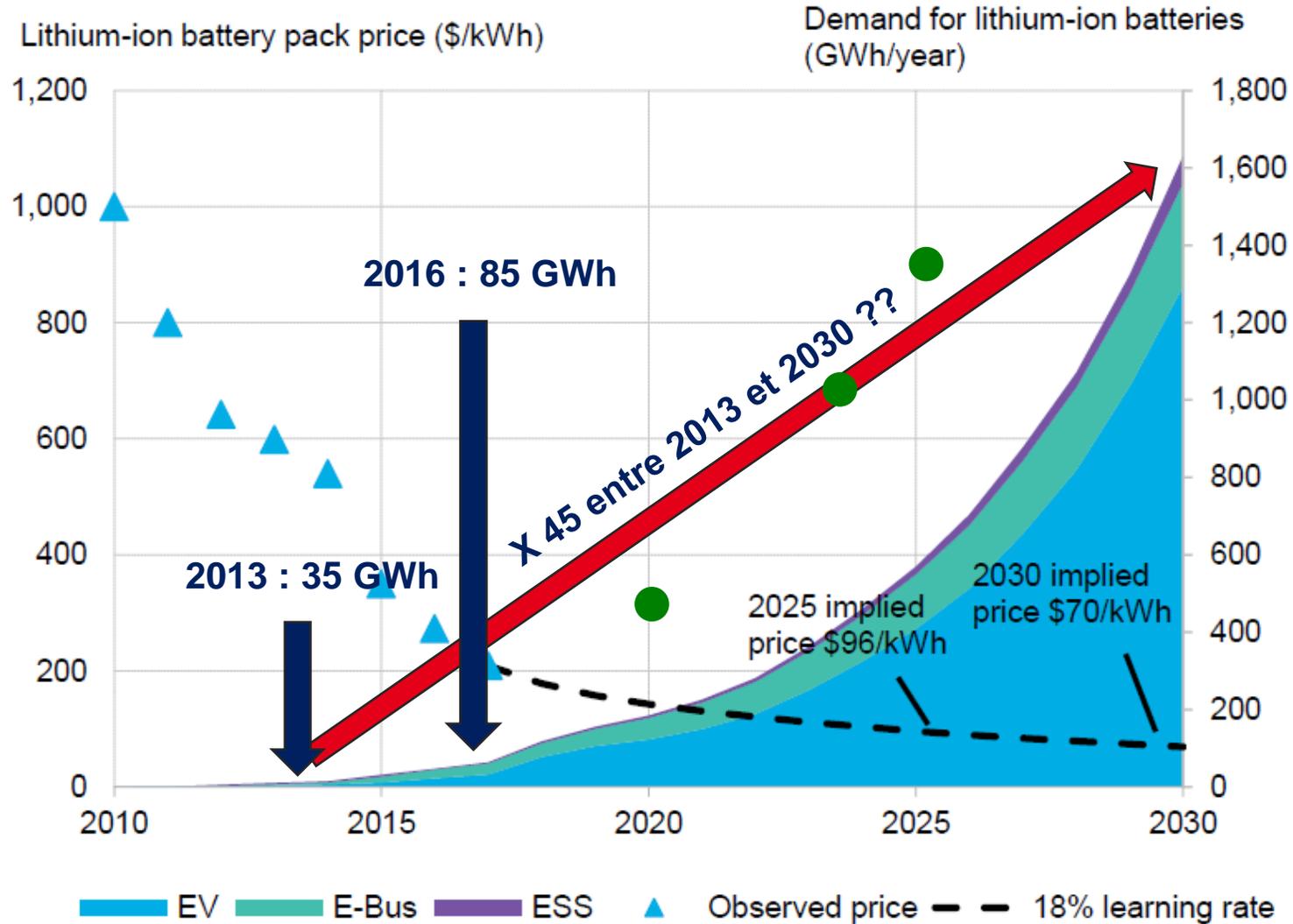
>> 90% pour la mobilité électrique

Il faudrait donc construire 45 Gigactories pour répondre au besoin 2030 (?)

Quel état des lieux 5 ans plus tard ?

Source: Bloomberg New Energy Finance. Note: ESS is stationary energy storage applications.

REPRÉVISION 2023



> 3100 GWh en 2030...

Il faudrait donc construire non plus **45** mais **100 Gigactories** pour répondre au besoin en **2030**...

Comment expliquer ?

Source: Bloomberg New Energy Finance. Note: ESS is stationary energy storage applications.

L'ÉTAT DES LIEUX EN 2023 (MONDE)



<https://www.virta.global/fr/marche-francais-vehicules-electriques-statistiques-predictions>

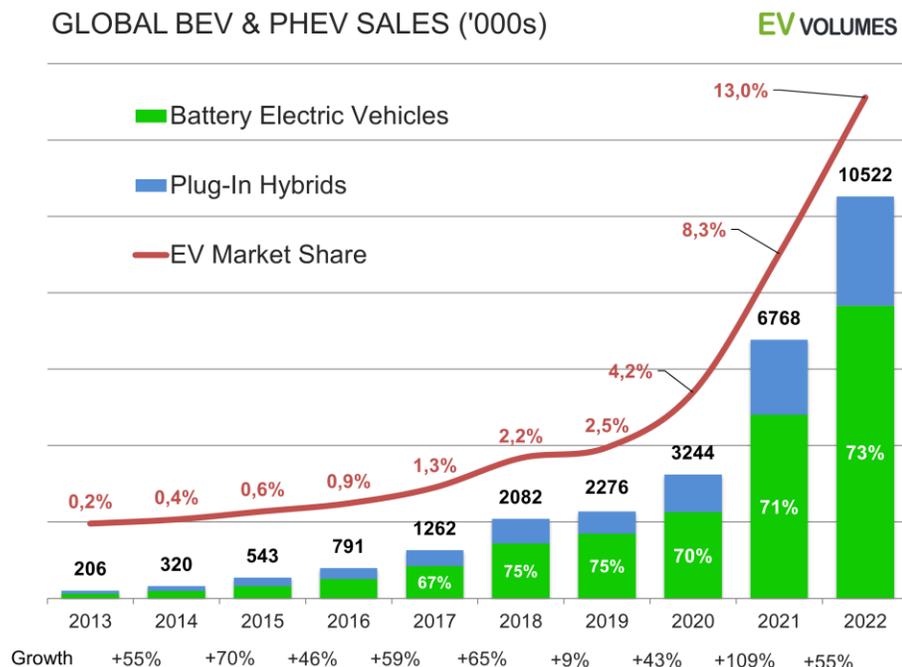
<https://www.ev-volumes.com/>

<https://cdn.eurelectric.org/media/6414/six-essentials-for-mainstream-ev-adoption-2023-eyeurelectric-study-h-46318726.pdf>

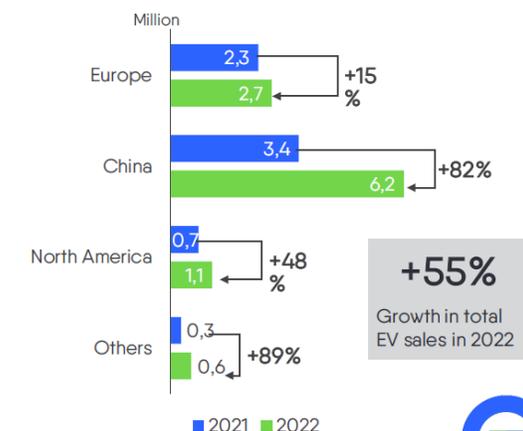


« Le marché du Véhicule Electrique prend le chemin d'une **croissance exponentielle aux quatre coins de la planète.** ».

« Au cours de l'année 2022, les **hybrides rechargeables et les véhicules électriques** se sont écoulés à **10,5 millions d'exemplaires dans le monde, soit un bond de 55 % en un an**».



BEV and PHEV sales and % growth for 2022 vs. 2021 (million)



En **2022**, les véhicules électrifiés représentent **13% des ventes de véhicules neufs dans le monde (< 1% en 2016)**.

Cette part devrait s'élever à **17,7% en 2023 et à 50% en 2030 (70% en Europe)**

La quasi-totalité du parc mondial de véhicules particuliers devrait être électrifié avant 2050



...ET EN FRANCE ?

1^{er} octobre 2023

La Tribune

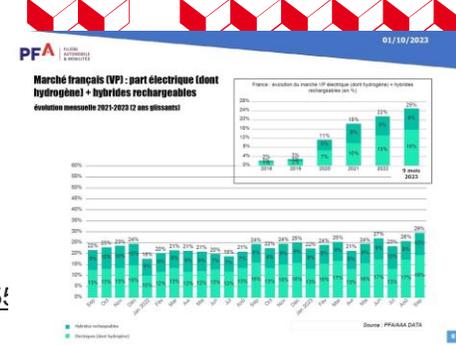
« Les modèles 100% électriques ont capté 19% des ventes totales de voitures particulières en septembre 2023 (+3% vs septembre 2022) »

« 29% si on ajoute les hybrides rechargeables » (monde: 17,7%)

<https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/les-ventes-de-tesla-ont-progresse-de-60-en-septembre-en-france-97825>

<https://www.lefigaro.fr/conjoncture/automobile-les-ventes-d-electriques-ont-explose-en-europe-au-mois-de-mai-20230621>

<https://cdn.eurelectric.org/media/6414/six-essentials-for-mainstream-ev-adoption-2023-eyeurelectric-study-h-46318726.pdf>



2 octobre 2023

Automobile Propre

<https://www.automobile-propre.com/marche-automobile-record-en-france-pour-les-ventes-de-voitures-electriques-en-septembre-2023/#:~:text=La%20MG4%20talonne%20aussi%20la,%C3%A0%20la%20querre%20des%20prix.>

<https://www.caradisiac.com/les-voitures-electriques-progressent-encore-en-france-204701.htm>

« La Tesla Model Y domine le marché »

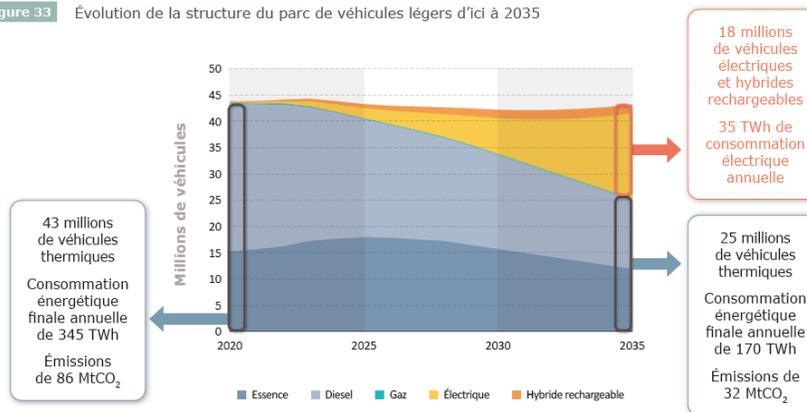


20 septembre 2023

Bilan Prévisionnel RTE 2023



Figure 33 Évolution de la structure du parc de véhicules légers d'ici à 2035



Perspective 2035 RTE
scénario de référence

42% du parc de véhicules particuliers + VUL devrait être électrifié en 2035 (BEV ou PHEV)

La quasi-totalité du parc français de véhicules légers (BEV + PHEV) devrait être électrifié avant 2045

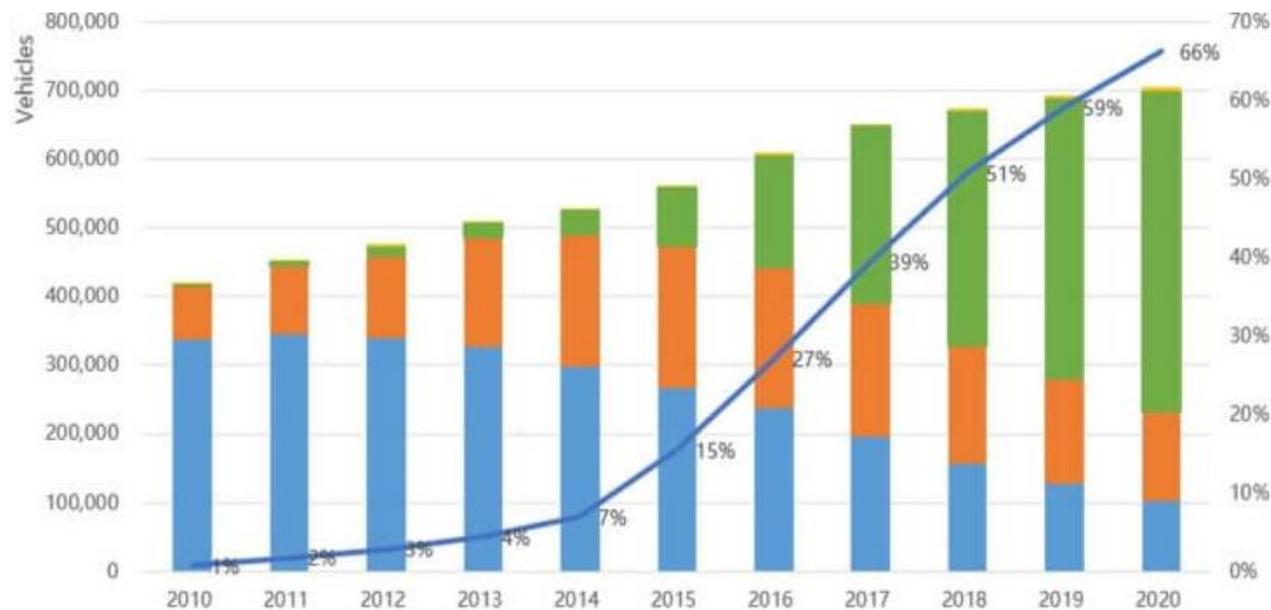
QUID DES TRANSPORTS EN COMMUN ?

<https://transition-china.org/mobilityposts/e-bus-development-in-china-from-fleet-electrification-to-refined-management/>

<https://www.frotcom.com/fr-FR/blog/2023/03/bus-electriques-la-reussite-de-la-chine>

<https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/china-electric-bus-market>

https://www.google.fr/search?q=urban+bus+electrification+in+china&rlz=1C1GCEA_enFR1039FR1039&oq=&aqs=chrome.1.69i59i450l2.3318j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8



Electrique

Gaz

Diesel



Evolution des motorisations de bus urbains en Chine

« En 2018, Shenzhen devient la première ville au monde à disposer d'une flotte de bus publics entièrement électriques »

“En 2020, 40% des bus en Chine sont électriques, soit 420 000 bus, représentant 99% de la flotte mondiale”

“Plus de 80% d'entre eux sont alimentés par des batteries LiFePO₄ (LFP)”

Il faut s'attendre à un bouleversement équivalent dans le reste du monde

Pour calculer les besoins en batteries (et en matériaux) il faut aussi rajouter les transports en commun...

QUID DES POIDS LOURDS ?

Mise en production industrielle au Texas du Tesla Semi : Octobre 2022

<https://www.electrive.com/2023/08/02/tesla-plans-semi-charging-corridor-from-texas-to-california/>

“Avril 2023 : Tesla livre une flotte de semi-remorques à l’usine Pepsi en Californie”

<https://www.freightwaves.com/news/tesla-delivers-fleet-of-semi-trucks-to-pepsi-facility-in-california>



La batterie embarquée est de l’ordre de 600 kWh

“Le semi tout électrique « Class 8 » offre une autonomie d’environ 400 miles”

20 septembre 2023



RTE: Perspectives 2035



Électrification des transports

• Part des véhicules légers électrifiés (dont VHR)

1 %

42 %

• Part des camions électrifiés

-

23 %

« La nouveauté du Bilan prévisionnel 2023 porte sur le **rehaussement des perspectives d’électrification des véhicules lourds (bus, camions)** »

« En **2035**, plus de 100 000 véhicules lourds électriques pourraient être immatriculés en France, soit près **d’un quart du parc total de camions** »

Pour calculer les besoins en batteries (et en matériaux) il faut désormais intégrer les poids lourds...

ET QUID DU TRANSPORT MARITIME ??

Juillet 2022

Nature Energy <https://www.nature.com/articles/s41560-022-01065-y>

Lawrence Berkeley National Laboratory

ARTICLES

<https://doi.org/10.1038/s41560-022-01065-y>

nature
energy

Check for updates

OPEN

Rapid battery cost declines accelerate the prospects of all-electric interregional container shipping

Jessica Kersey¹, Natalie D. Popovich² and Amol A. Phadke^{2,3}✉



« La baisse rapide du coût des batteries accélère la perspective d'électrification du transport maritime des conteneurs interrégionaux »

“Le transport maritime représente 2,5% des émissions mondiales de CO₂ en 2018”

“Nous montrons qu'avec des batteries à 100 \$/kWh, l'électrification des routes commerciales de moins de 1500 km est économique, avec un impact minimal sur la capacité de transport des navires”.

“L'inclusion des coûts environnementaux augmente la distance à 5000 km”.

“Une batterie LFP de ~ 5 GWh (~ 30 000 tonnes ??) permettrait de d'offrir cette autonomie de 5000 km”.

“Nous décrivons une voie qui permettrait, d'ici la fin de la décennie, d'électrifier avec des batteries plus de 40% du trafic mondial des porte-conteneurs”

Pour calculer les besoins en batteries (et en matériaux) va-t-il aussi falloir rajouter le transport maritime ??

1 Gigafactory = 35 GWh/an (7 navires)...

AU BILAN : LA RÉALITÉ (PROBABLEMENT ENCORE SOUS-ESTIMÉE) FAIT VOLER TOUTES LES PRÉVISIONS EN ÉCLATS

25 avril 2022 “La demande mondiale de batteries Lithium-Ion sera **supérieure à 3,1 TWh en 2030**”

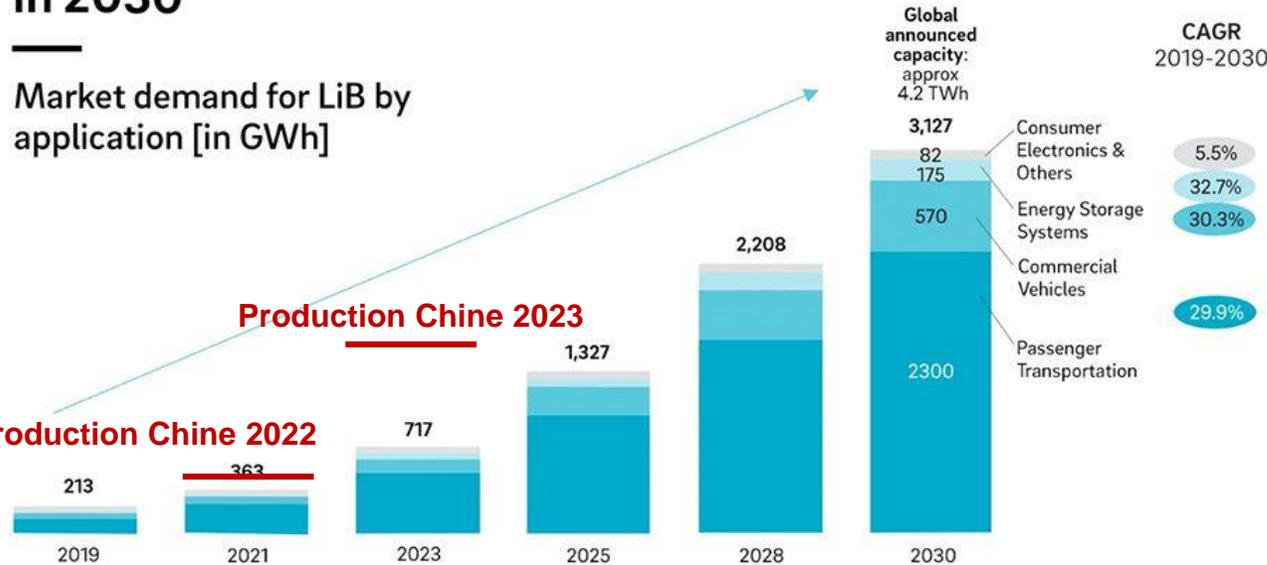
<https://www.geo.fr/geopolitique/1500-gigawatheures-chine-produit-beaucoup-plus-batteries-besoins-inonder-marche-europe-etats-unis-concurrence-automobile-216482>

<https://www.consultancy.uk/news/31072/global-demand-for-lithium-ion-batteries-to-quadruple-by-2030>

<https://pro.largus.fr/actualites/electrique-vers-une-penurie-de-matieres-premieres-pour-batterie-10914394.html>

Global demand for lithium-ion batteries will be over 3,100 GWh in 2030

Market demand for LiB by application [in GWh]



Sources: Avicenne, Fraunhofer, IHS Markit, Interviews with market participants, Roland Berger

~ 35 GWh en 2013

~ 717 GWh en 2023 (~ 20 Gigafactories)

Plus de 3 TWh en 2030 (~ 100 Gigafactories)

L'électrification du transport léger (VP + VUL) est la priorité pour réduire les émissions de GES

Simultanément...

La production en Chine a été de 550 GWh en 2022 (16 GF)... ...et sera de 1500 GWh en 2023 (43 GF)...

Soit le double de la demande mondiale 2023

La Chine est en train d'assommer le marché

...D'AUTANT PLUS QUE L'INFLATION GALOPE QUANT À LA TAILLE DES BATTERIES...

18 février 2023 https://www.frandroid.com/marques/hyundai/1611765_essai-hyundai-ioniq-6-enfin-une-veritable-concurrente-a-la-tesla-model-3

« Hyundai frappe fort lors du lancement de sa Ioniq 6, dont la batterie de **77 kWh** permet une **autonomie de 614 km** »



19 avril 2023 <https://www.automobile-propre.com/voitures/polestar-2/>

« La Polestar 2 cumule **300 kW** de puissance. Elle est associée à une batterie **78 kWh** offrant près de **500 km d'autonomie** »

13 août 2023

<https://www.01net.com/actualites/la-voiture-electrique-aux-1-000-km-dautonomie-arrive-en-europe.ht>

Le modèle **Zeekr 001** de Geely arrivera d'ici la fin de l'année en Suède et aux Pays-Bas. La marque chinoise prévoit, par la suite, d'étendre sa commercialisation à la Norvège, et au Danemark, avant de s'attaquer à l'Allemagne et à la France.

Son constructeur communique depuis l'officialisation de ce modèle dont la batterie de **140 kWh** permet une **autonomie record de 1032 km**

<https://www.caradisiac.com/mercedes-vision-eqxx-1-000-km-d-autonomie-avec-une-petite-batterie-191220.htm>

La Mercedes EQS embarque une batterie de **107,8 kWh** et permet jusqu'à **780 km d'autonomie WLTP**

Une batterie > 700 kg sur roulettes ?

Est-ce bien raisonnable...

...alors que le conducteur moyen parcourt environ 30 km/jour (soit ~ 5 kWh) ?



30 janvier 2023



...LA FIÈVRE NE CONCERNE PAS QUE LES MODÈLES HAUT DE GAMME...

4 septembre 2023

<https://www.largus.fr/actualite-automobile/renault-devoile-le-nouveau-scenic-electrique-nos-premieres-impressions-en-video-30029068.html>



Le **Scenic E-Tech** qui sera commercialisé en **février/mars 2024** laisse le choix entre deux motorisations électriques de 170 ch et 220 ch. La première est alimentée par une batterie de 60 kWh offrant une autonomie WLTP supérieure à 420 km. La seconde dispose d'une **batterie de 87 kWh** pour une **autonomie annoncée à plus de 620 km**

Les deux versions utilisent des **cellules lithium-ion NMC** (nickel-manganèse-cobalt) du coréen **LG Chem** produites en Pologne



12 septembre 2023

Peugeot e-3008 : voici la voiture électrique française avec la plus grande autonomie

https://www.frandroid.com/marques/peugeot/1788943_peugeot-e-3008-voici-la-voiture-electrique-francaise-avec-la-plus-grande-autonomie



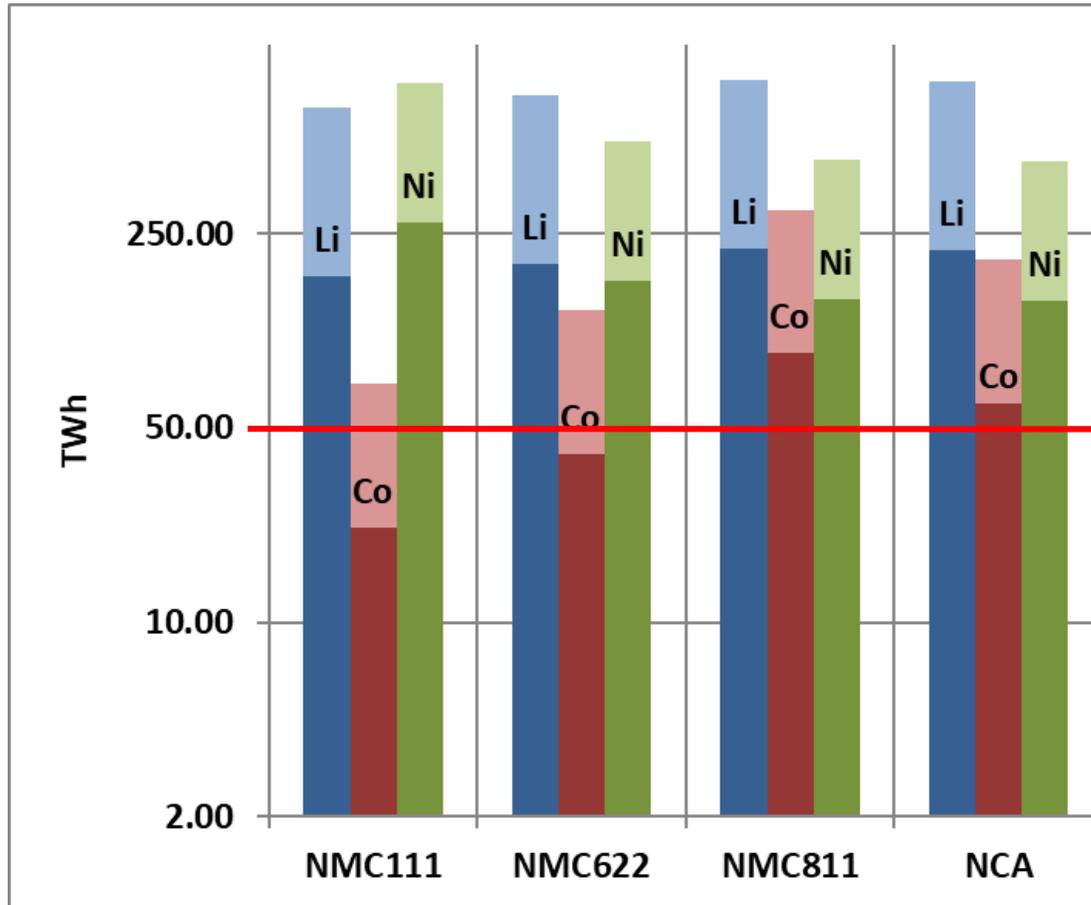
Comme pour la DS 3 E-Tense, le moteur est fabriqué en France. Celui-ci est associé à une **batterie NMC** (nickel – manganèse – cobalt) de 73 et 93 kWh, offrant une **autonomie** comprise entre 525 et 700 kilomètres selon le cycle WLTP

Le SUV est équipé de la **charge bidirectionnelle V2G et V2L**

Le véhicule produit dans l'usine de Sochaux débutera sa commercialisation à partir de **février 2024**.

Si bien que des inquiétudes (légitimes) se manifestent

(déjà évoquées à Autrans en 2018)



1 milliard de Zoe 50 kWh → 50 TWh

Problème de **stock** : les réserves ne sont pas très supérieures au besoin pour électrifier le parc mondial

Problème de **flux** : L'industrie de la batterie se développe plus vite que les mines ne peuvent ouvrir

13 avril 2022

<https://pro.largus.fr/actualites/electrique-vers-une-penurie-de-matieres-premieres-pour-batterie-10914394.html>

« Une étude publiée en avril 2022 par le cabinet Roland Berger montre que la demande supérieure à **3,1 TWh de batteries lithium-ion d'ici 2030** fait apparaître des risques de tensions sur l'approvisionnement en matières premières raffinées, plus particulièrement les sulfates de cobalt et de nickel, ainsi que le **lithium** »

CEA, F. Perdu & A. Marie, USGS 2022 Energie stockable en utilisant toutes les réserves (foncé) ou toutes les ressources (clair)

Nickel-Cobalt-Aluminum Cathode Nickel-Manganese-Cobalt Cathode Lithium-Iron-Phosphate Cathode

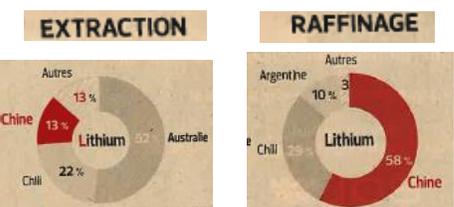
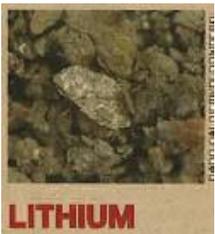


29 septembre 2023

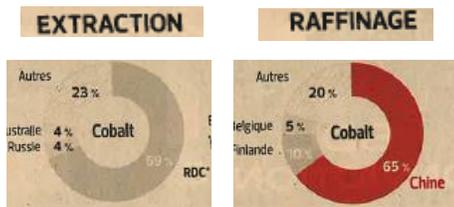
Le Figaro

Ces inquiétudes sont, en 2023, renforcées par la distribution géographique inégale de l'extraction et du raffinage des minerais

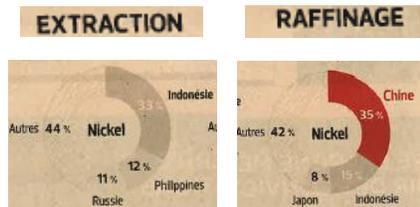
<https://www.lefigaro.fr/conjoncture/bataille-des-metaux-critiques-l-occident-veut-echapper-au-piege-chinois-20230928>



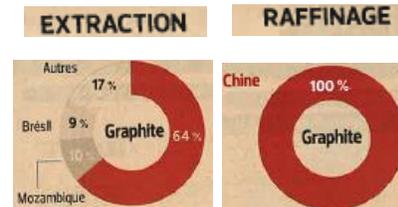
58 %



65 %



35 %



64% 100 %



40 %

« La Chine détient en 2022 le quasi-monopole de la transformation de nombreux minerais »

« Elle contrôle en partie les prix et les coûts de production des matériaux nécessaires pour les véhicules électriques »

Or, les besoins en 2040 vont croître

LITHIUM
x 8
+ 900 000 tonnes
Usage principal : véhicule électrique

X 8 Lithium

COBALT
x 2,5
+ 250 000 tonnes
Usage principal : véhicule électrique

X 2,5 Cobalt

NICKEL
x 9
+ 3,2 millions de tonnes
Usage principal : véhicule électrique

X 9 Nickel

GRAPHITE
x 6,5
+ 3,1 millions de tonnes
Usage principal : véhicule électrique

X 6,5 Graphite

CUIVRE
+ 35%
+ 10 millions de tonnes
Usages principaux : réseaux électriques, véhicules électriques

+ 35% Cuivre

« Il devient indispensable de reconstruire des capacités sur l'ensemble de la chaîne de la valeur, depuis l'extraction mais aussi la transformation et le recyclage »



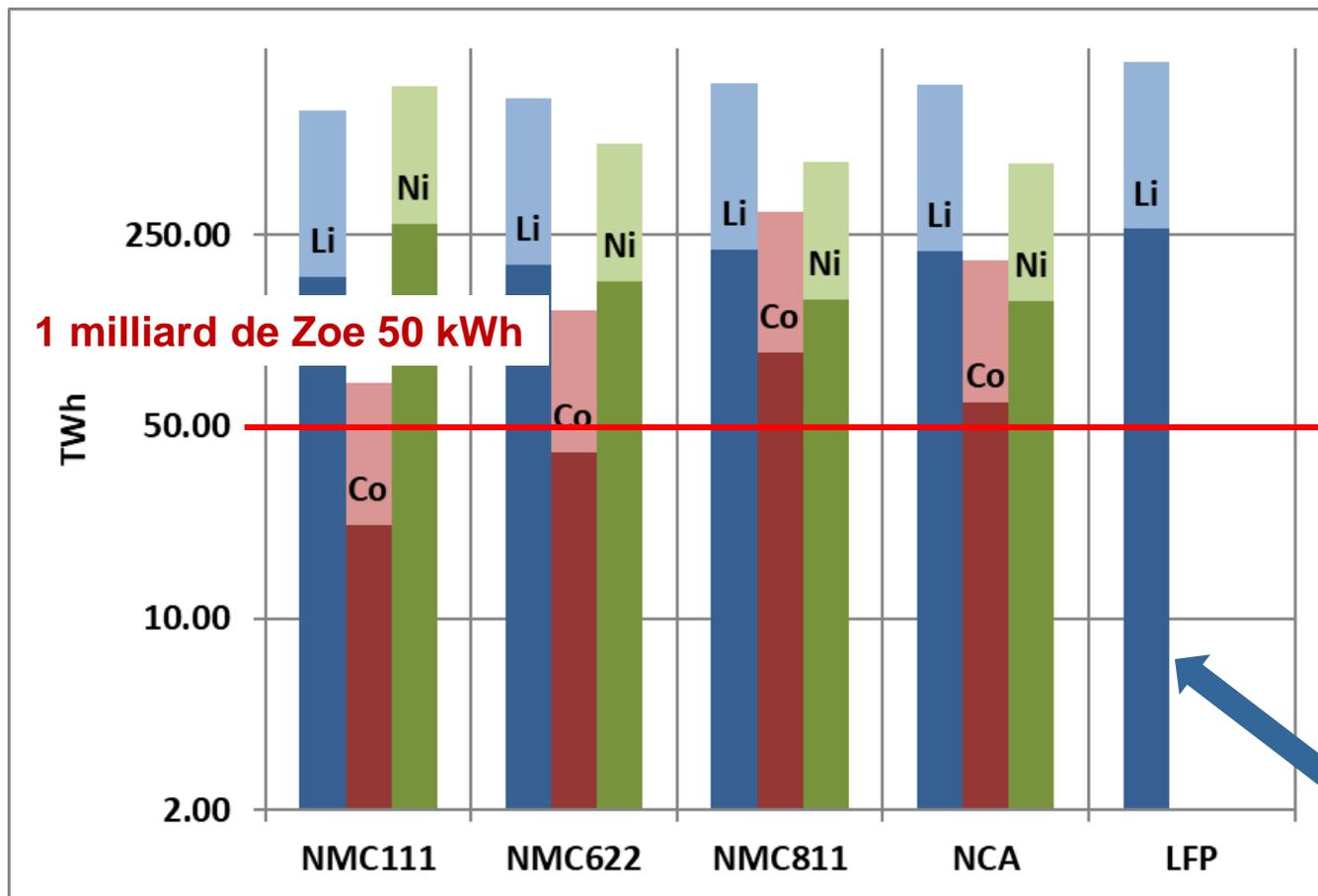
Les matériaux : l'impasse ?

La filière LiFePO₄ « LFP » ?



Délaissée jusqu'en 2018 du fait de performances moindres que celles de la chimie « NMC » (110 Wh/kg vs 240 Wh/kg)...

<https://pro.largus.fr/actualites/electrique-vers-une-penurie-de-matieres-premieres-pour-batterie-10914394.html>



1 milliard de Zoe 50 kWh



... BYD et CATL retravaillent la filière ...



...réussissent à la hisser de 110 Wh/kg à 160 Wh/kg...

...et la commercialisent rapidement...

...Ce qui permet de soulager les contraintes sur le Cobalt et le Nickel...

CEA, F. Perdu & A. Marie, using USGS 2022 reserves (dark colors) and resources (light colors)

...CE QUI PERMET À TESLA DE FAIRE FEU DE TOUT BOIS...

<https://www.numerama.com/vroom/1021022-catl-prevoit-une-batterie-encore-plus-efficace-que-la-future-4680-de-tesla.html>

<https://insideevs.fr/news/587748/tesla-batterie-model-3-4680/>

<https://insideevs.com/news/668659/tesla-model-y-batteries-byd-versus-catl/>

<https://www.youtube.com/watch?v=NZN2EGa2zuA>

Nickel-Cobalt-Aluminum Cathode



« **NCA** »

Nickel-Cobalt-Aluminium

Densité d'énergie 240 Wh/kg

cellules cylindriques **NCA 18650 et 2170**

Panasonic



Roadster, Model S, Model X



Lithium-Iron-Phosphate Cathode



« **NMC** »

Nickel-Manganèse-Cobalt

Densité d'énergie : 240 Wh/kg

cellules cylindriques **NMC 2170**



Model 3, Model Y

Nickel-Manganese-Cobalt Cathode



« **LFP** »

Phosphate de Fer lithié (LiFePO₄)

Densité d'énergie : 160 Wh/kg

Cellules Prismatiques

CATL



Cellules « Blade »

Model 3, Model Y d'entrée de gamme



En cours de production : cellules cylindriques **NMC 4680 (Panasonic)**

Panasonic



Rôle structurel probable



L'OBJECTIF DE TESLA : PRENDRE ET VERROUILLER LE MARCHÉ...

1^{er} octobre 2023

La Tribune



<https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/les-ventes-de-tesla-ont-progresse-de-60-en-septembre-en-france-9782>

« Les ventes de Tesla ont progressé de +60% en septembre en France ».



« Les ventes de véhicules particuliers neufs ont progressé en France de 10,7% par rapport à septembre 2022 ».

« Tesla a écoulé 5.557 voitures, soit un bond de 60,5% de ses ventes par rapport à septembre 2022 ».

...AVANT QUE LES CONSTRUCTEURS CHINOIS NE DÉFERLENT SUR L'EUROPE

octobre 2023



**MONSIEUR
LE PRÉSIDENT,
NOUS TENONS
VOS PROMESSES.**

MG4 100% électrique
À partir de 99 € TTC/mois⁽¹⁾
— SANS APPORT PERSONNEL

LLD 24 mois valable jusqu'au 31/08/2023
1^{er} loyer ramené à 0 €
Bonus écologique de 7 000 €⁽²⁾ (sous conditions) et
Prime à la conversion de 2 500 €⁽³⁾ déduits.

(1) (2) (3) Conditions sur [mgmotor.fr](https://www.mgmotor.fr)



SI BIEN QUE LES INDUSTRIELS EUROPÉENS SOUFFRENT FACE À L'ÉTAU QUI SE RESSERRE...

...Et certains se retrouvent dans le dur



2 octobre 2023

Auto Info

« Volkswagen contraint de **stopper pour 2 semaines la production de l'ID.3 et de la Cupra Born** ».

<https://www.auto-infos.fr/article/volkswagen-contraint-de-stopper-la-production-de-l-id-3-et-de-la-cupra-born.277952>

« En raison d'une faible demande et de la **concurrence de Tesla et des marques chinoises**, Volkswagen Group a des difficultés à écouler ses voitures électriques »

« Les volumes vendus en Europe sont bien loin des projections initiales du constructeur »

« Beaucoup **plus violente que prévue** initialement : la concurrence de **Tesla, MG, BYD** qui produisent les voitures électriques en Chine. Volkswagen a beaucoup de difficultés à s'aligner au niveau des prix »

« Le toit de la maison brûle »

« L'urgence est d'économiser 10 Mdrs€ »

Le prix à payer pour 15 ans d'anticipation insuffisante ?

La survie de l'industrie automobile européenne est en jeu

Et l'erreur n'est pas (plus) permise dans ce domaine

Il faut mettre les bouchées doubles



Mais la filière « LFP », si elle contribue à relâcher les contraintes sur le cobalt et le nickel, est également une filière « Li-Ion »...

Comment résoudre les tensions sur le Lithium ?

TENSION SUR LE LITHIUM ?

14 février 2023

La Tribune



« De 5.000 dollars en 2015, la tonne de lithium est passée à 48.000 dollars en 2023 »

<https://www.latribune.fr/economie/international/l-inde-va-devenir-un-poids-lourd-mondial-de-la-production-de-lithium-951856.html>

22 juin 2022

L'Usine Nouvelle



« Tous les projets de lithium en Europe posent des problèmes, souligne le géologue Christian Hocquard »

<https://www.usinenouvelle.com/article/tous-les-projets-de-lithium-en-europe-posent-des-problemes-souligne-le-geologue-christian-hocquard.N2014862>

« Le marché du lithium devrait rester en **déficit au moins jusqu'en 2024**, avec des **tensions sur les prix** »

« Celui-ci devrait **baiss**er ensuite, avec une offre excédentaire due aux augmentations de production prévues en Australie, au Chili et Argentine »

« L'UE a de nombreux projets d'extraction du lithium, mais ils sont tous difficiles, et à risques »

Le lithium : L'impasse ?

LE LITHIUM: EFFETS D'ANNONCE (?)



14 février 2023 **L'Inde va devenir un poids lourd mondial de la production de lithium**

La Tribune

<https://www.latribune.fr/economie/international/l-inde-va-devenir-un-poids-lourd-mondial-de-la-production-de-lithium-951856.html>

« La découverte d'un gisement de lithium évalué à **5,9 millions de tonnes** va placer l'Inde parmi les plus importants producteurs du monde »

22 juillet 2023 <https://www.rfi.fr/fr/am%C3%A9riques/20230722-en-bolivie-les-annonces-autour-des-ressources-en-lithium-ne-font-pas-taire-les-inqui%C3%A9tudes>

La Tribune

« Le président Bolivien Luis Arce vient d'annoncer la découverte d'un gisement de **deux millions de tonnes** de lithium »

« La Bolivie estime désormais à **23 millions de tonnes** les quantités de lithium disponible dans le **désert de sel d'Uyuni** et assure qu'il s'agit du **plus gros gisement au monde, soit 25 % des réserves mondiales** »

« **La Bolivie** renforce ainsi son statut de pays disposant des plus grandes ressources de lithium au monde »



13 septembre 2023 **Le plus grand gisement de lithium découvert aux USA**

20 minutes

<https://www.20minutes.fr/economie/auto/4052808-20230913-voiture-electrique-plus-grand-gisement-lithium-decouvert-usa>

« Une réserve de **120 millions de tonnes** de lithium aurait été découverte entre l'Oregon et le Nevada »

« Soit **12 fois plus** que ce qui était jusque-là considéré comme le plus grand gisement du monde, en Bolivie »

« La teneur en lithium du minerai de cet ancien site volcanique serait très élevée »

« Cela pourrait suffire à alimenter la demande du secteur de l'automobile électrique pour plusieurs décennies »

 « L'exploitation minière du site pourrait démarrer dès 2026 »

« Le projet EMILI : « Exploitation de Mica Lithinifère » »

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Emili_\(projet_minier\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Emili_(projet_minier))

Juillet 2023

https://emili-s3-prod-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/public/2023-07/Imerys-Newsletter-EMILI-Juillet%202023_1.pdf



IMERYS

« En 2021 et 2022, Imerys investit 30 millions d'euros pour financer une exploration et une analyse poussée du site de Beauvoir (Allier) »

« En octobre 2022, au bout de 18 mois de sondages et d'études, des spécialistes de l'extraction minière confirment l'intérêt économique de cette mine »

« Le gisement serait deux fois et demie plus important qu'attendu, avec **un million de tonnes d'oxyde de lithium** contre 320 000 tonnes estimés initialement, offrant au moins vingt-cinq ans d'exploitation »

« L'ouverture de l'usine est annoncée pour 2028 »



6 octobre 2023

Le Figaro

<https://www.lefigaro.fr/sciences/la-france-est-l-un-des-pays-europeens-qui-a-le-plus-de-chances-de-disposer-de-gisements-importants-de-lithium-20231006>

«La France est l'un des pays européens qui a le plus de chances de disposer de gisements importants de lithium»



« Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) est chargé de réaliser un nouvel inventaire des ressources minières »

D'autres éléments, qui permettent aussi de contribuer à relâcher les contraintes ?

REVENONS AUX BESOINS **TOTAUX** EN GWh



Limites de l'épuration (**uniquement VP et VUL**)

En 2040 le parc mondial de véhicules légers sera voisin de **1,5 Mrd de véhicules** (Bloomberg, 9 août 2022)

<https://www.largus.fr/pros/actualite-automobile/quel-parc-automobile-roulant-dans-le-monde-en-2039-11009391.html>

Supposons 50 kWh embarqués en moyenne/véhicule → 75 TWh de batteries

A compter du moment où le parc sera complètement électrifié (75 TWh)...

Il y aura le stock et il y aura le flux

Si durée de vie moyenne véhicule = 10 ans → 7,5 TWh de batteries à fabriquer chaque année

Si durée de vie moyenne véhicule = 20 ans → 3,75 TWh de batteries à fabriquer chaque année (~ 100 GF suffisent !)

On voit que le paramètre « durée de vie des batteries » change tout !!

(sauf si les batteries font 100 kWh en moyenne au lieu de 50...)

Dans tous les cas de figure : il faut des batteries qui offrent la plus grande durée de vie possible

Où en est-on aujourd'hui ?

LA DURÉE DE VIE DES BATTERIES

Il y a 6-7 ans, les experts (optimistes) tablaient sur une durée de vie des batteries dans les véhicules de l'ordre de 400 à 500 cycles (150 000 - 200 000 km)...

Résultats de terrain, véhicules TESLA

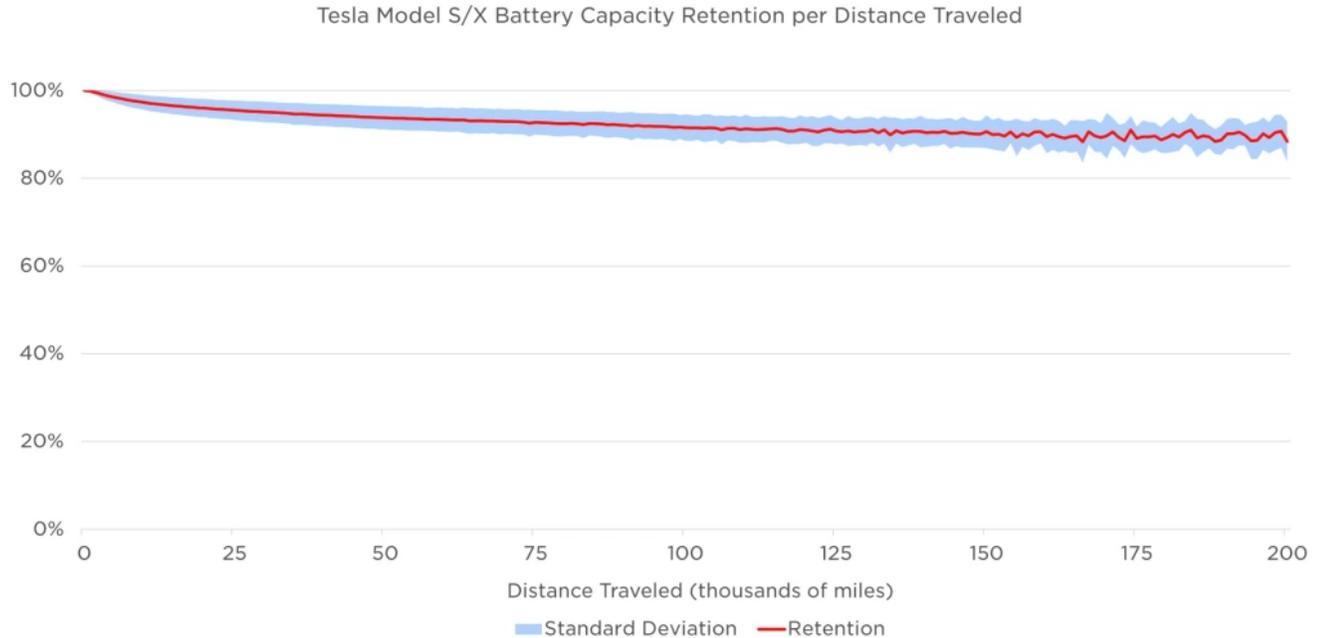


Figure 7 : Tesla Model S

Impact
Report

20
22

<https://www.tesla.com/impact>



31 août 2023

“ Dans son *Impact Report 2022*, Tesla confirme une **dégradation moyenne** de la capacité des batteries de ses voitures de **12 % après 320 000 km parcourus** ”

https://www.google.fr/search?q=dur%C3%A9e+de+vie+batteries+Tesla&rlz=1C1GCEA_enFR1039FR1039&oq=dur%C3%A9e+de+vie+batteries+Tesla&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdBCTU2NTFqMGoxNagCALACAA&sourceid=chrome&ie=UTF-8&bshn=rime/1

Il est raisonnable d'attendre que des batteries de bonne qualité, bien gérées thermiquement et électroniquement permettront avant 2030 d'atteindre les **2000 cycles** soit...

... 800 000 km ! (soit encore > 60 ans @13 000 km/an !!)

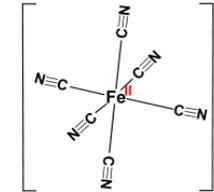
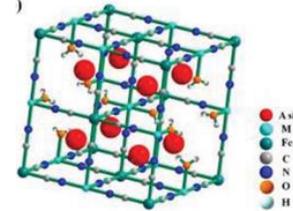


Et si cela ne suffit toujours pas ?

Sodium-Ion (Na-Ion) ou Potassium-Ion (K-Ion)



- Permet de s'affranchir du lithium
- Procédés de fabrication très voisins de ceux de la filière « Li-Ion »
- Des matériaux d'électrodes pas ou peu critiques
- Coût relativement plus faible



Formules analogues (PBAs)



T = Fe, Co, Ni, Mn, Cu...

A = Li, K, Na..

M = Fe, Mn, Co...



- Densité d'énergie (~ 120-130 Wh/kg ?) moindre que Li-Ion « LFP » (~ 160 Wh/kg)
- Synthèse complexe (se débarrasser H₂O et ciblage structure appropriée)

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sml.201900470>

26 avril 2023

« Les batteries Sodium-Ion (Na-Ion) arrivent en Chine avant la fin de l'année »

« Les constructeurs chinois s'apprêtent à sortir un nouvel as de leur manche. **Après la batterie LFP (Lithium Fer Phosphate), la batterie Sodium-Ion (Na-Ion) est en approche** »

« CATL confirme que son premier client, Chery, les utilisera dans les **véhicules d'entrée de gamme iCar** avant la fin de l'année 2023 »



Na-Ion

14 juillet 2023

<https://about.bnef.com/blog/top-10-energy-storage-trends-in-2023/#:~:text=In%202022%2C%20volume%2Dweighted%20price,to%20%24152%2FkWh%20in%202023.>
<https://www.idtechex.com/en/research-article/cheaper-and-safer-sodium-ion-batteries-on-the-horizon/29608?rsst2id=3&userid=91632>

IDTechEx “Les batteries au sodium-ion, encore à leurs débuts, commencent à être produites à grande échelle”.

« D’ici 2025, environ 10 GWh de batteries Na-ion seront installées »

« Le coût moyen pour les batteries Na-ion est de 87 \$US/kWh »

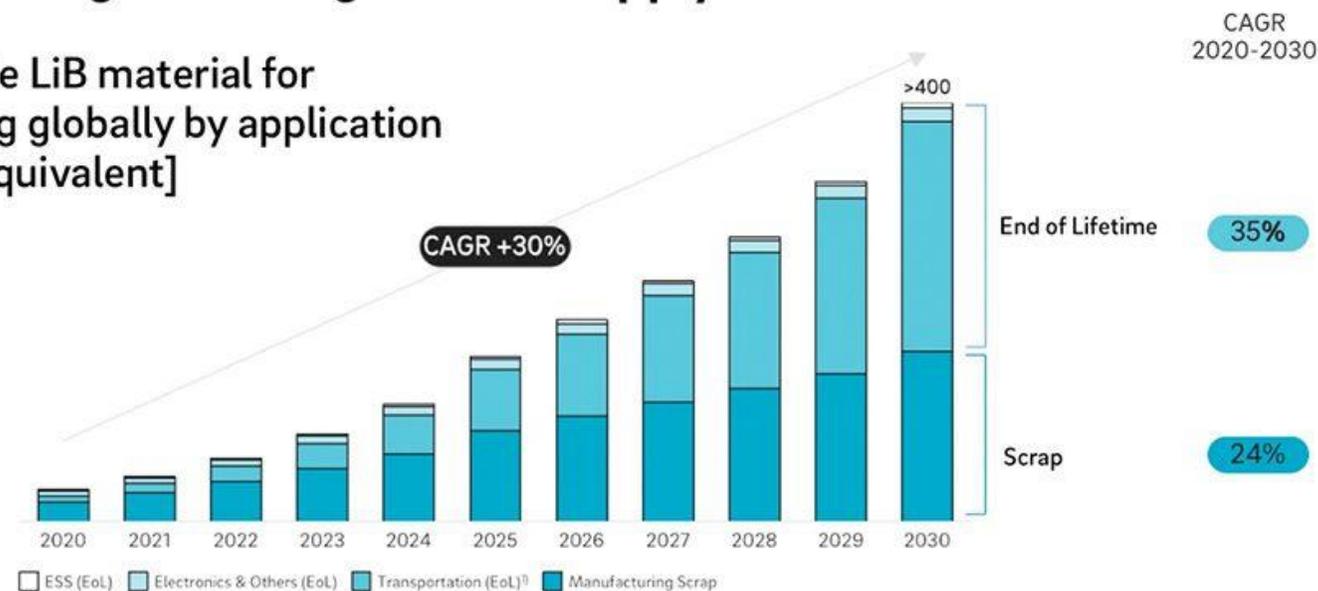
« D’ici 2030, le coût de production des cellules Na-ion atteindra probablement environ 40 \$US/kWh, soit environ 50 \$US/kWh au niveau pack »

La situation évolue de jour en jour il faut être capable de prendre le train en marche

ET QUELLES QUE SOIENT LES OPTIONS RETENUES : LE RECYCLAGE EST IMPÉRATIF !

Lithium-ion battery recycling can become a gamechanger in the supply of LiB material

Available LiB material for recycling globally by application [GWh equivalent]



Source: Roland Berger

<https://www.consultancy.uk/news/31072/global-demand-for-lithium-ion-batteries-to-quadruple-by-2030>

Les procédés sont en cours de mise au point, les volumes sont attendus à partir de 2026

Cf présentation E. Bouyer

INITIATIVES « RECYCLAGE » EN FRANCE ?

17 mai 2023

La Tribune

<https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/automobile/batteries-electriques-orano-et-xtc-confirment-la-creation-de-deux-usines-et-d-un-centre-de-recyclage-en-france-962646.html>



« Batteries électriques : Orano et XTC confirment la création de deux usines et d'un centre de recyclage en France »

« Le chinois XTC et le français Orano ont officialisé mardi leur association pour fabriquer dans le nord de la France des composants de batteries pour véhicules électriques. Ce projet représente un investissement de 1,5 milliard d'euros. Il comprend aussi une usine de recyclage de batteries »

22 septembre 2023

L'Usine Nouvelle

<https://www.usinenouvelle.com/article/eramet-et-suez-confirment-le-choix-de-dunkerque-pour-leur-future-usine-de-recyclage-de-batteries.N2172557>



« Eramet et Suez confirment le choix de Dunkerque pour leur future usine de recyclage de batteries Li-Ion de véhicules électriques »

« Elle pourrait voir le jour en 2025 dans la vallée de la batterie, et représenter en 2030 10% du marché européen »

« La technique mise en oeuvre dans la future usine est en passe d'être expérimentée dans le centre de recherches d'Eramet de Trappes, dans les Yvelines »



Conclusion

Sentiment **personnel**



Nous avons la chance de vivre une véritable révolution...

...(pour une fois) bénéfique à tous (si on s'y prend bien)...

...mais pas (du tout) anticipée en Europe

L'électrification du transport va en effet permettre de réduire considérablement :

- **La consommation d'énergie fossile**
 - **Les émissions de CO₂**
- **La consommation d'énergie finale**

La mobilité électrique va simultanément permettre (si on s'y prend bien) :

- **De contribuer à la réindustrialisation de la France**
- **De consolider sa souveraineté énergétique**



Se placer sur un marché en **croissance très rapide** constitue un défi majeur à relever

Les industriels asiatiques (Chine, Corée, Japon), visionnaires, ont pris 10-15 ans d'avance

L'Europe doit **impérativement rattraper son retard** dans le domaine, et se révéler capable de fabriquer des batteries à l'état de l'art

La **survie de son industrie automobile** est en jeu

L'accessibilité des **matériaux** constitue l'un des enjeux principaux

Les efforts de recherche de nouveaux gisements portent leurs fruits

La plupart des gisements se situent hors Europe, ce qui contraint à devoir continuer à **importer ces matériaux**

Un grand nombre de gisements sont préemptés par la Chine, devenu leader mondial

Des **solutions de repli crédibles** sont d'ores et déjà déployées pour relâcher les contraintes sur les matériaux les plus sensibles (NMC) : **LFP**, puis, peut-être, **Na-Ion** voire **K-Ion**

La **durée de vie des batteries**, bien plus importante qu'anticipé, va aussi permettre de contribuer à relâcher les contraintes ainsi que le déploiement du **V2G**

La France, grâce à son **mix électrique décarboné**, est l'un des pays les mieux placés dans le **monde** pour fabriquer les batteries et les véhicules qui vont autour. Elle doit produire des véhicules abordables pour résister au déferlement de véhicules fabriqués hors Europe.

Il reste également impératif de **conserver sur le sol français les batteries des véhicules en fin de vie** afin de les **recycler...dans 20 ans**

Les acteurs qui réussissent à prendre le marché aujourd'hui imposent leurs modèles pour 20 ans au moins.

C'est à la fois une bonne et une mauvaise nouvelle

C'est très bon pour la planète...

...Mais Tesla s'impose en Europe avec des véhicules fabriqués à Berlin, en Chine ou aux USA

Ses batteries sont fabriquées par Panasonic (USA), CATL (Chine) ou LG (Corée)

Tesla, BYD, MG... assèchent le marché pour tuer la concurrence

La commercialisation du prochain modèle Tesla, la Model 2, est prévue pour 2024



Tesla ne fabrique en France ni la batterie, ni le véhicule

ACC (TOTAL-Stellantis-Mercedes) doit impérativement produire rapidement en France des batteries au niveau de qualité mondial, à un coût compétitif

Renault s'appuie sur un fabricant chinois de batteries (fabrication des batteries en France ?)

Ceux qui ne parviennent pas à se placer d'ici 2 ans sont en grand danger de disparaître

> 4 Gigafactories en France en 2030 (> 12 en Allemagne ~ 435 GWh) ? (vs 50 prévues en Europe en 2030 et 100 dans le monde ?)



<https://www.leparisien.fr/automobile/bientot-une-usine-tesla-implantee-en-france-13-09-2023-DKTV3BEP6NFV5KGN0X465JORX4.php>



RENAULT



<https://cicenergigune.com/en/blog/gigafactories-europe-commitment-economic-recovery-battery-factories>

<https://battery-news.de/index.php/2022/01/14/batterie-projekte-in-europa-stand-januar-2022/>



1^{er} juin 2023

« ACC inaugure sa première gigafactory à Douvrin »

<https://www.avem.fr/2023/06/01/batteries-acc-inaugure-sa-premiere-gigafactory-a-douvrin/#>



12 mai 2023

« Le Taïwanais ProLogium choisit Dunkerque pour installer sa première gigafactory en Europe (5,2 Mrds €). Sa construction devrait démarrer en 2024 pour une production en 2027 »

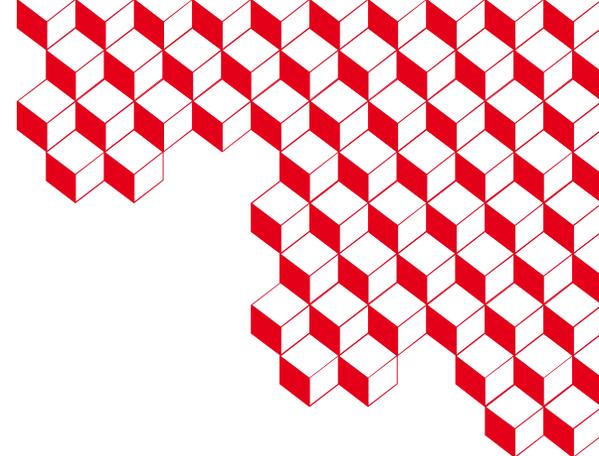
<https://www.communaute-urbaine-dunkerque.fr/actualite/toutes-les-actualites/vue-detaillee/le-taiwanais-prologium-choisit-le-dunkerquois-pour-son-usine-de-batteries>



14 septembre 2023

« La start-up grenobloise VERKOR, fondée en 2020, boucle un financement global de 2 Mrds€ pour construire sa gigafactory à Dunkerque, record absolu pour une start up ».

https://www.bfmtv.com/economie/entreprises/industries/la-start-up-francaise-verkor-leve-plus-de-2-milliards-d-euros-pour-ses-batteries-electriques_AN-202309140115.html



Merci

Didier Bloch

CEA-Grenoble

Didier Bloch

06 30 48 33 52