Paris 1860 : traction animale

1855, les différentes compagnies de transport parisiennes sont regroupées dans la Compagnie Générale des Omnibus CGO qui obtient un monopole.
1860 6700 chevaux tirent 503 omnibus.
1867 10200 chevaux, 125 millions de passagers

aucune bicyclette !

Paris 1870 : traction animale

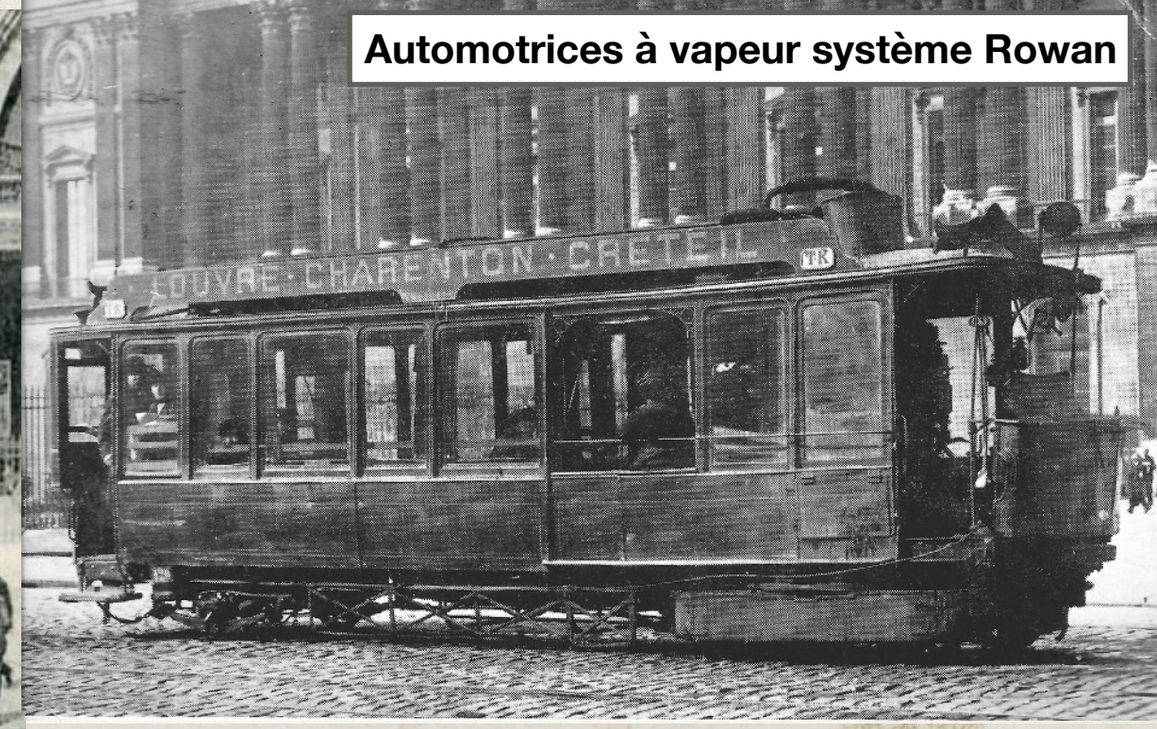
CGO : 17496 chevaux, (au total 80 000 dans Paris)
Logistique très lourde, (fourrage 170 t/jour, coût, travail 4h/jour, 18 km)
Nombreux accidents, maladies :
les épidémie de morve, de farcin provoquent la perte de milliers de chevaux.
Les **mauvais traitements** infligés aux chevaux suscitent la création de la SPA.

Electrocutions des chevaux avec les tramways à plots

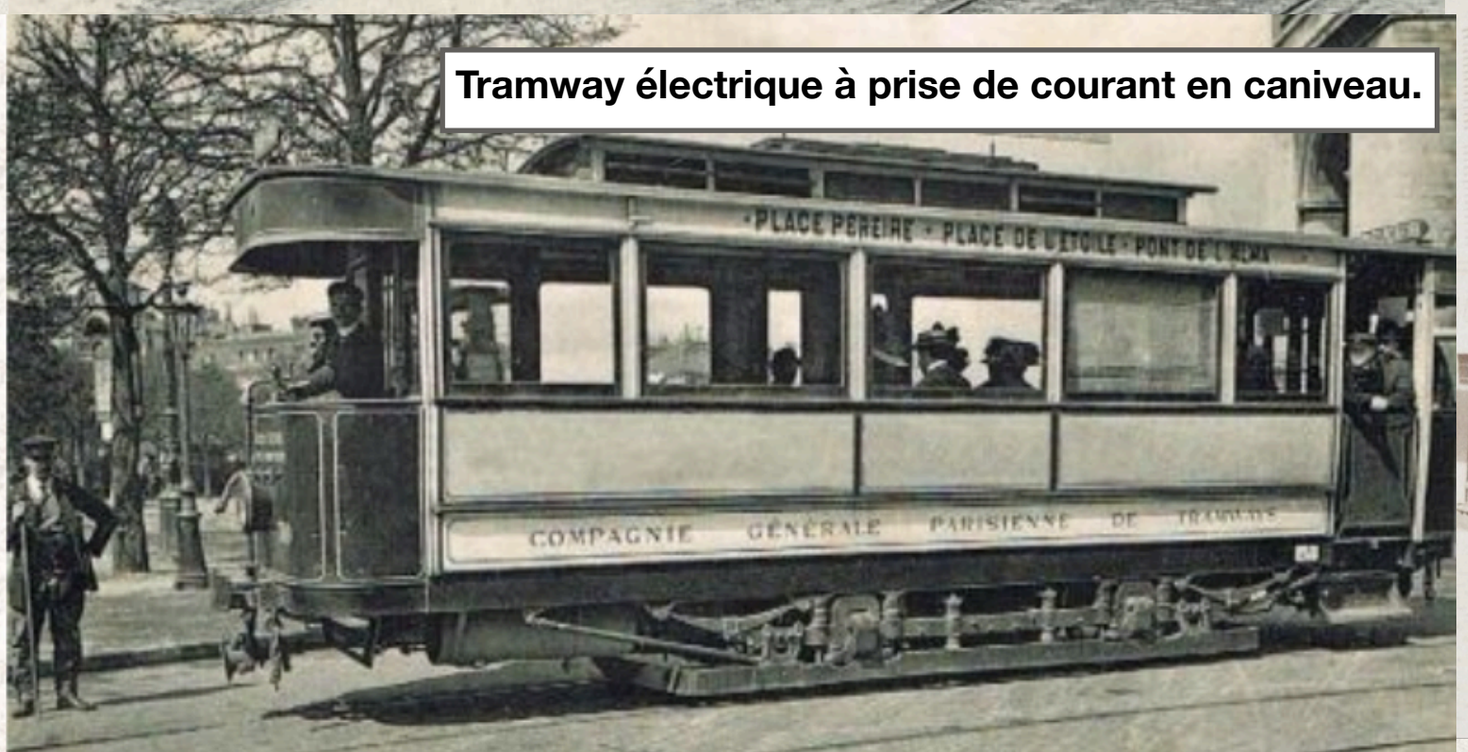
aucune bicyclette !

Paris 1890 : on cherche la solution

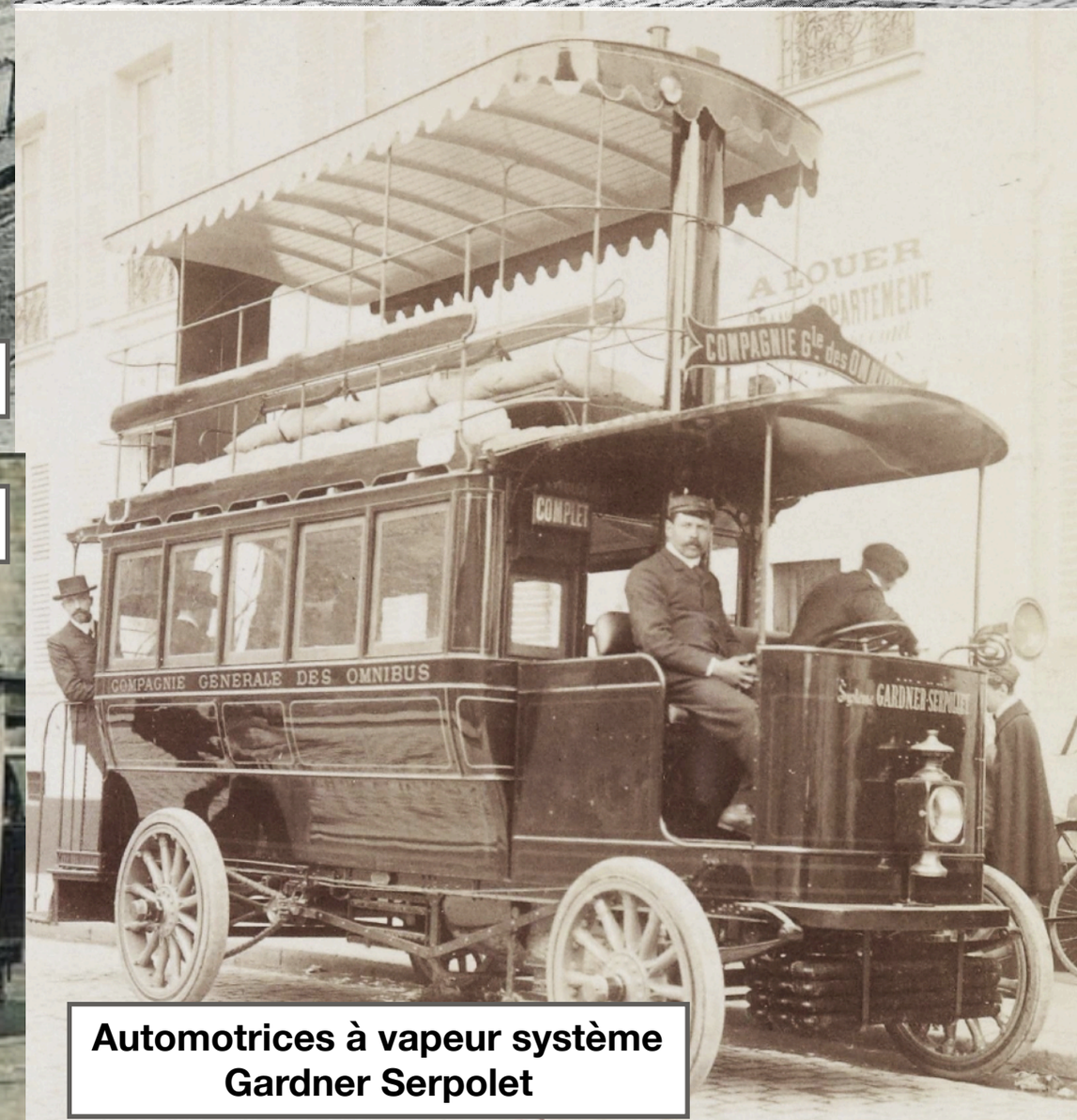
Tramways Mékarski à air comprimé



Automotrices à vapeur système Rowan



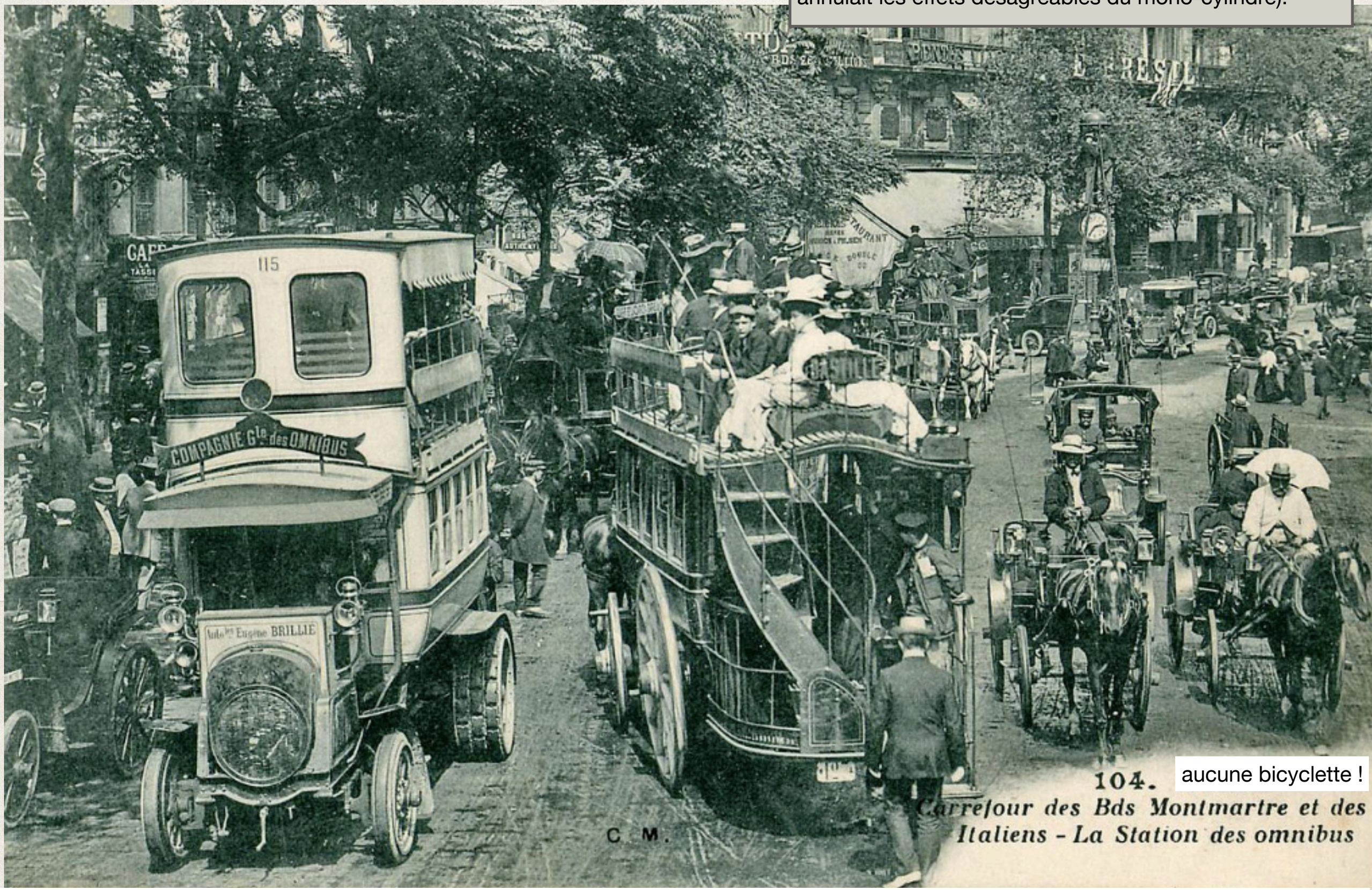
Tramway électrique à prise de courant en caniveau.



Automotrices à vapeur système Gardner Serpolet

Paris 1900 : la cohabitation

Cohabitation traction animale et mécanique
bus Gordon Brillé (moteur à deux pistons opposés qui annulait les effets désagréables du mono-cylindre).



aucune bicyclette !

En 1900, sur 4 192 véhicules fabriqués aux États-Unis, 1 575 sont électriques, 936 à essence, et 1 681 à vapeur
L'essence est introuvable et très chère

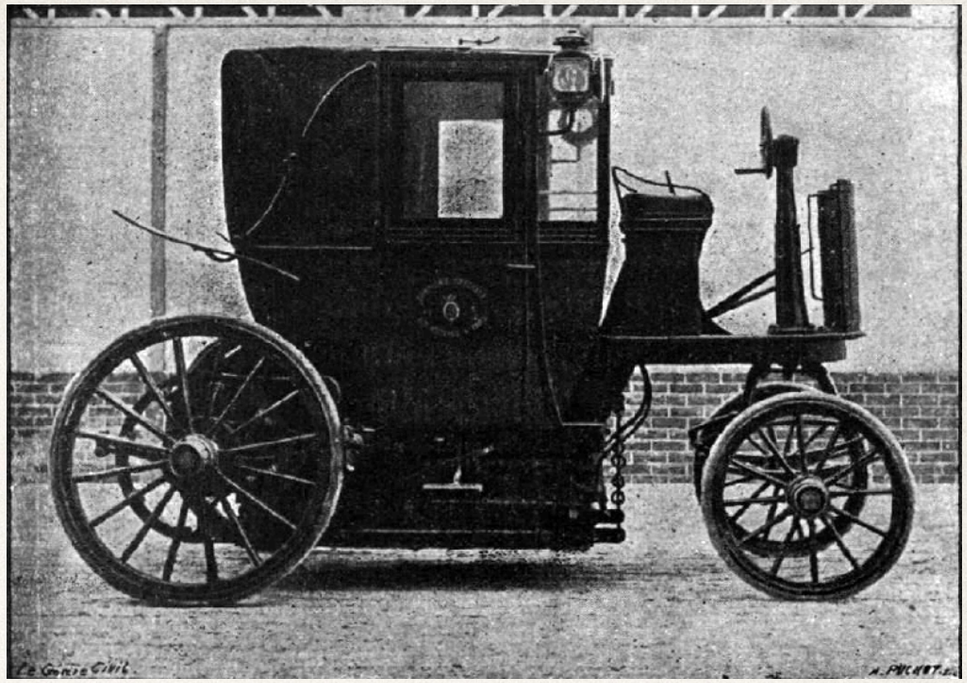
1898 Tramway Thomson Houston

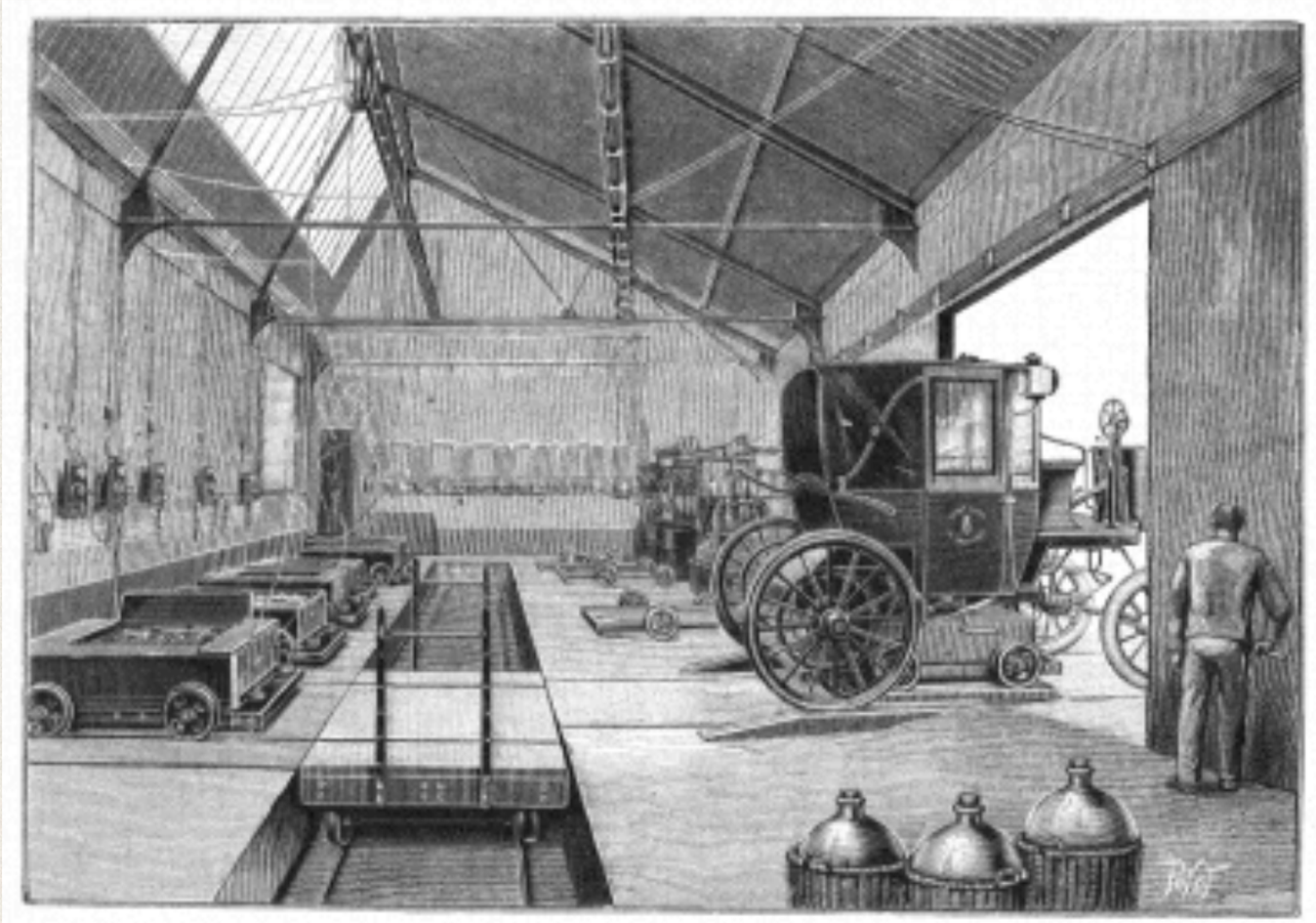
Poids des batteries : **2,5 t**
Autonomie : **55 km**

Apparition des solutions électriques mixtes à accumulateurs et trolley

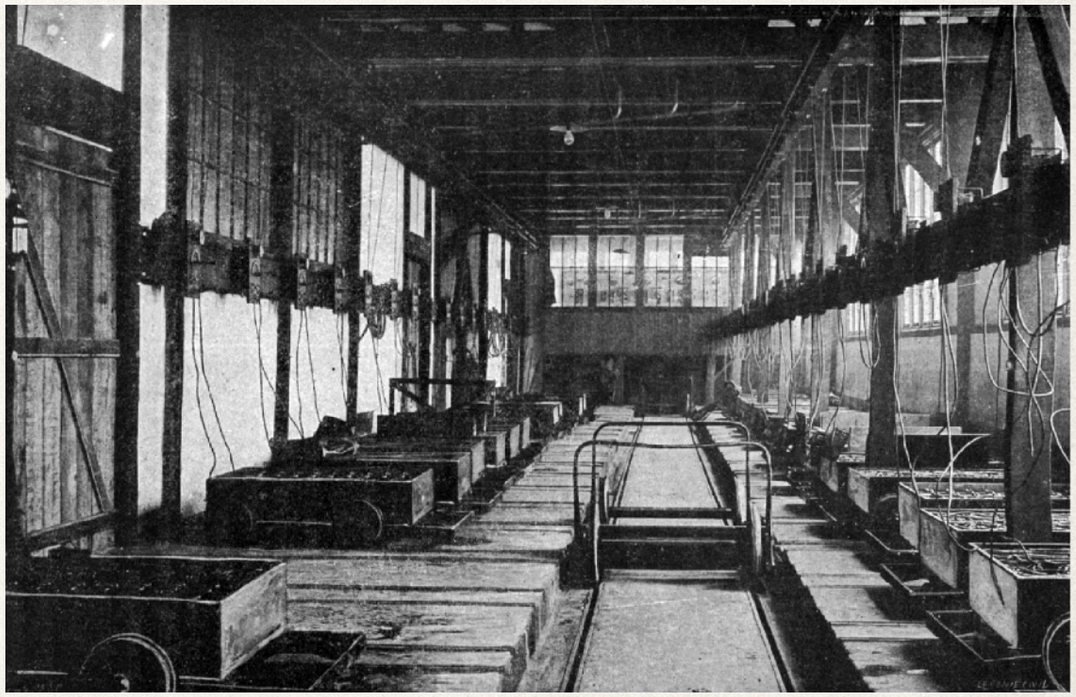
1898 Sociétés de fiacres électriques

Masse totale : 3000 kg
Batterie 135 Ah 750 kg
Moteur : 1400 kg
Autonomie 60 km





La salle de charge de la Compagnie générale des voitures
Seules des grandes sociétés ont la capacité d'investir dans des salles de charge indispensables à la mise en circulation de voitures électriques.



Energie embarquée : **11 kWh**

Energie gravimétrique : **0,015 kWh/kg**

En 1900, Krieger parcours 152 km avec un véhicule électrique

1899 Record de Jenatzy «La jamais contente »

Premier véhicule automobile à avoir franchi le cap des 100 km/h, la « Jamais contente » est un véhicule électrique.

Le 29 avril 1899, sur la route centrale du parc agricole d'Achères, la vitesse atteinte fut de 105,88 km/h

deux moteurs électriques de marque Postel-Vinay, d'une **puissance** maximale totale de **50 kW** placés à l'arrière entre les roues.

Pas de freins, mais une inversion de l'alimentation des moteurs pour s'arrêter…

batteries d'accumulateurs Fulmen (**100 éléments 13Ah de 2 V**), qui représentaient près de la moitié du poids total de 1,5 t.

Energie embarquée : **13,824 kWh**

Energie gravimétrique : **0,029 kWh/kg**

La petite histoire raconte qu'il a choisi comme nom pour la voiture le sobriquet qu'il donnait à sa femme

1946 CGE TUDOR

Record d'autonomie 225 km, longtemps inégalé !

Jean-Albert Grégoire, un ingénieur français, a réalisé une voiture électrique en partenariat avec la Compagnie Générale d'Électricité *(CGE)* et la société de production d'accumulateurs Tudor. Paul Rapin pour le moteur.

58 km/h, 970 kg,
Batterie 144 Ah 96V 45A 470 kg
Moteur 96 V 3kW,
Système de récupération d'énergie
Autonomie 250 km
Chassis Aluminum (alpax)
200 exemplaires

Energie embarquée : **13,8 kWh**

Energie gravimétrique : **0,029 kWh/kg**

Aucun progrès sur l'énergie gravimétrique en 50 ans !

XXe siècle : les voiture à pétrole

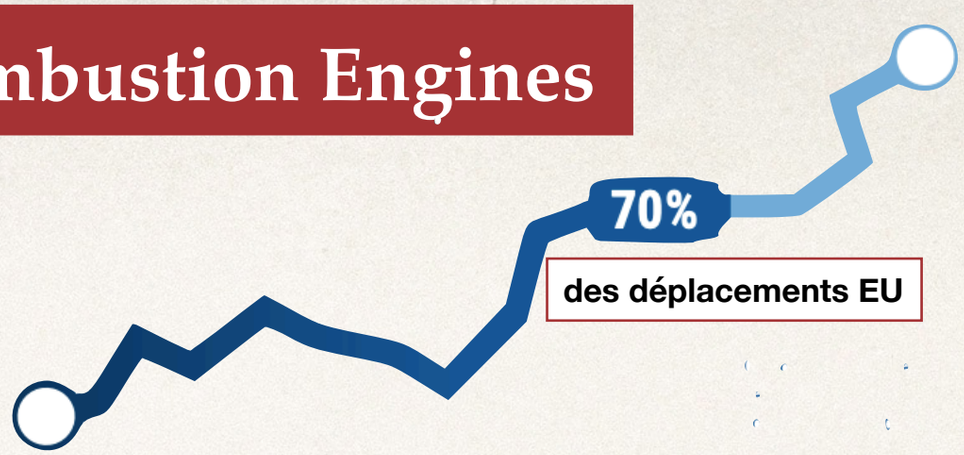
Energie gravimétrique
Pétrole : 41,868 MJ/kg = **11,63 kWh/kg**
Essence : 45 à 48 Mj/kg = **13,30 kWh/kg**

Golf 34 millions d'exemplaires
Énergie embarquée (40 l essence): 532 kWh
Energie gravimétrique : **13,3 kWh/kg**

Station Esso par Jean Prouvé, Vitra Design museum (Bâle)

2018 : ICE Internal Combustion Engines

(electric, natural gas, LPG) **5.6%** de la flotte totale EU, et 4.2% des ventes



des déplacements EU

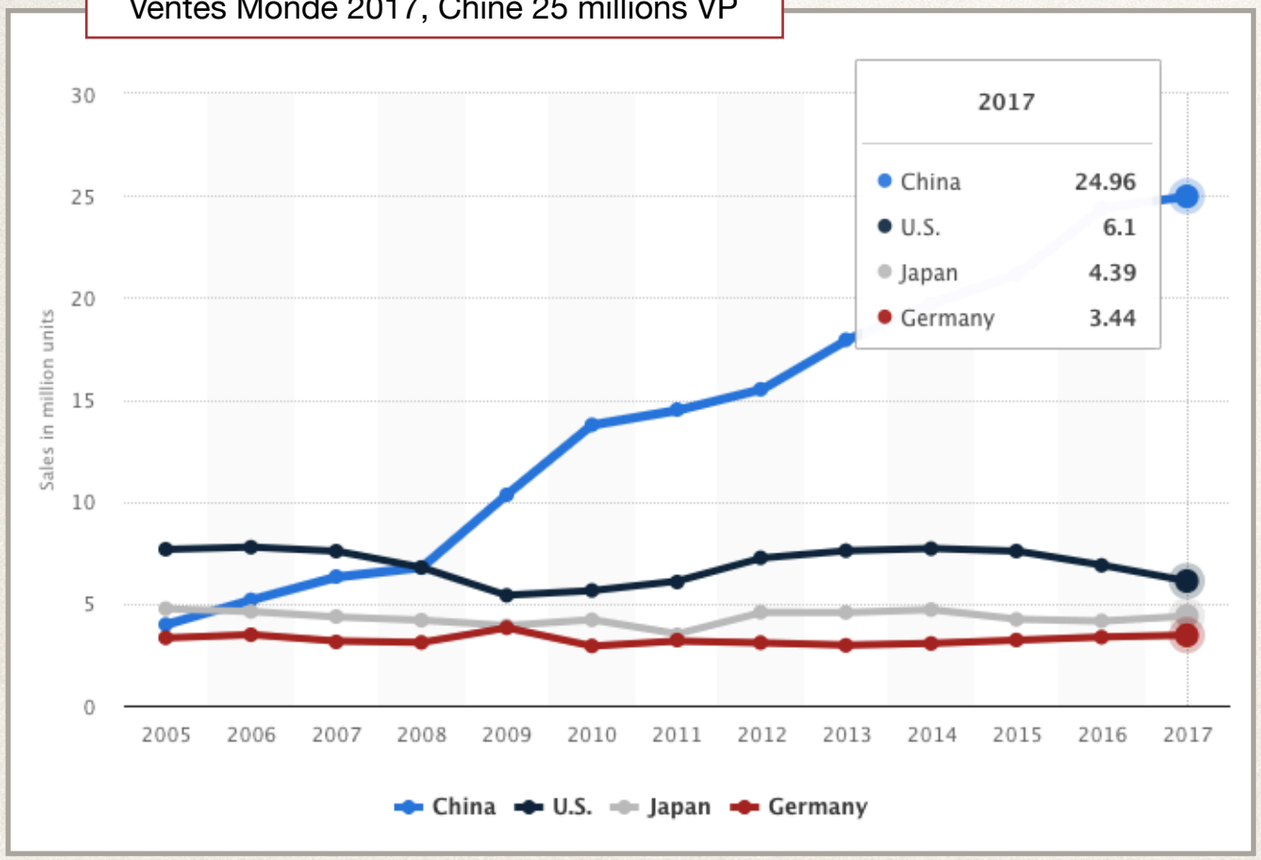
En moyenne par an EU

16,5 millions VP fabriquées 2016 EU
24% production Monde
5,5 millions VP export
12 millions employés EU

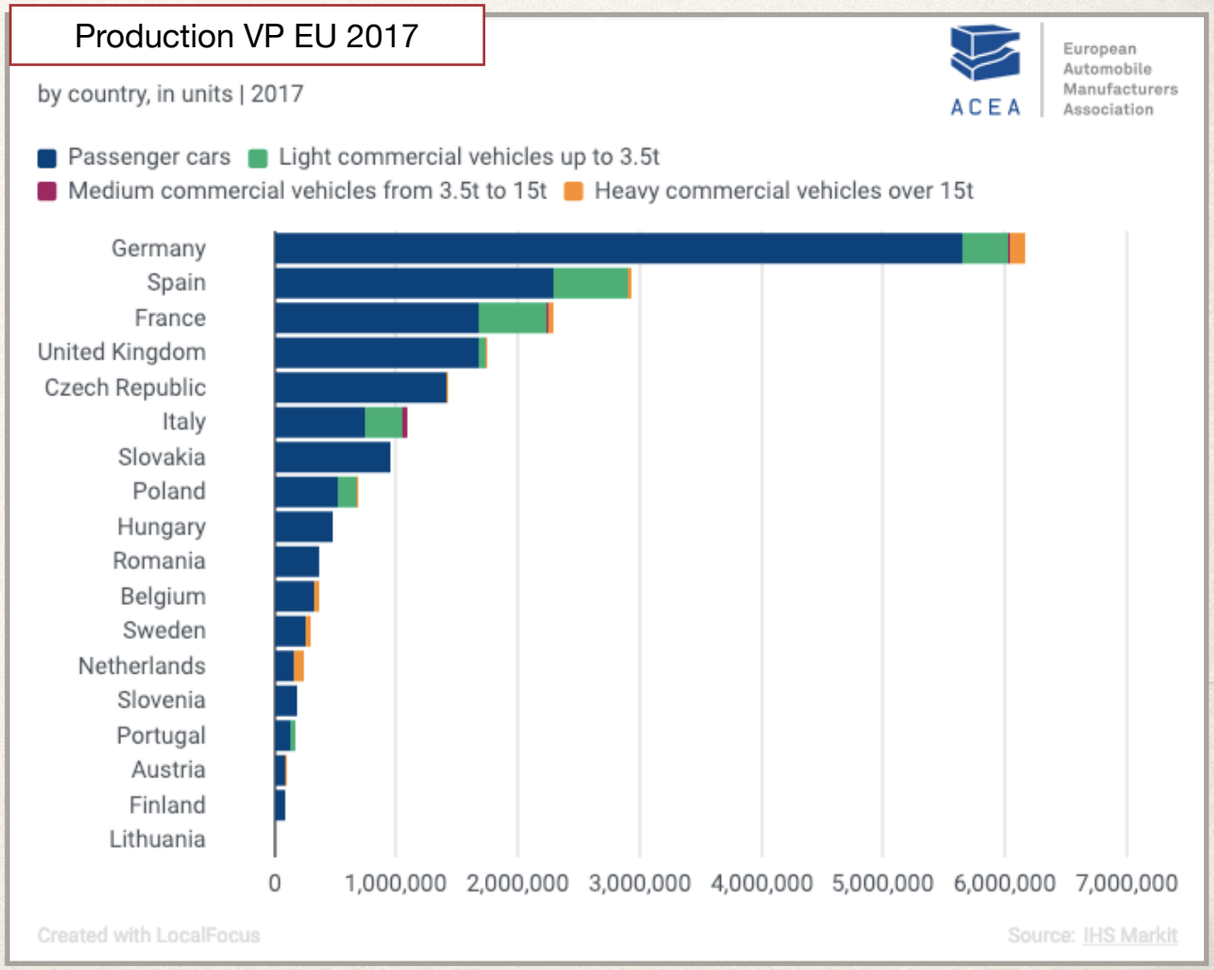
256 millions de voitures particulières EU

118,1 g CO2/km
(-36,5% 1995)

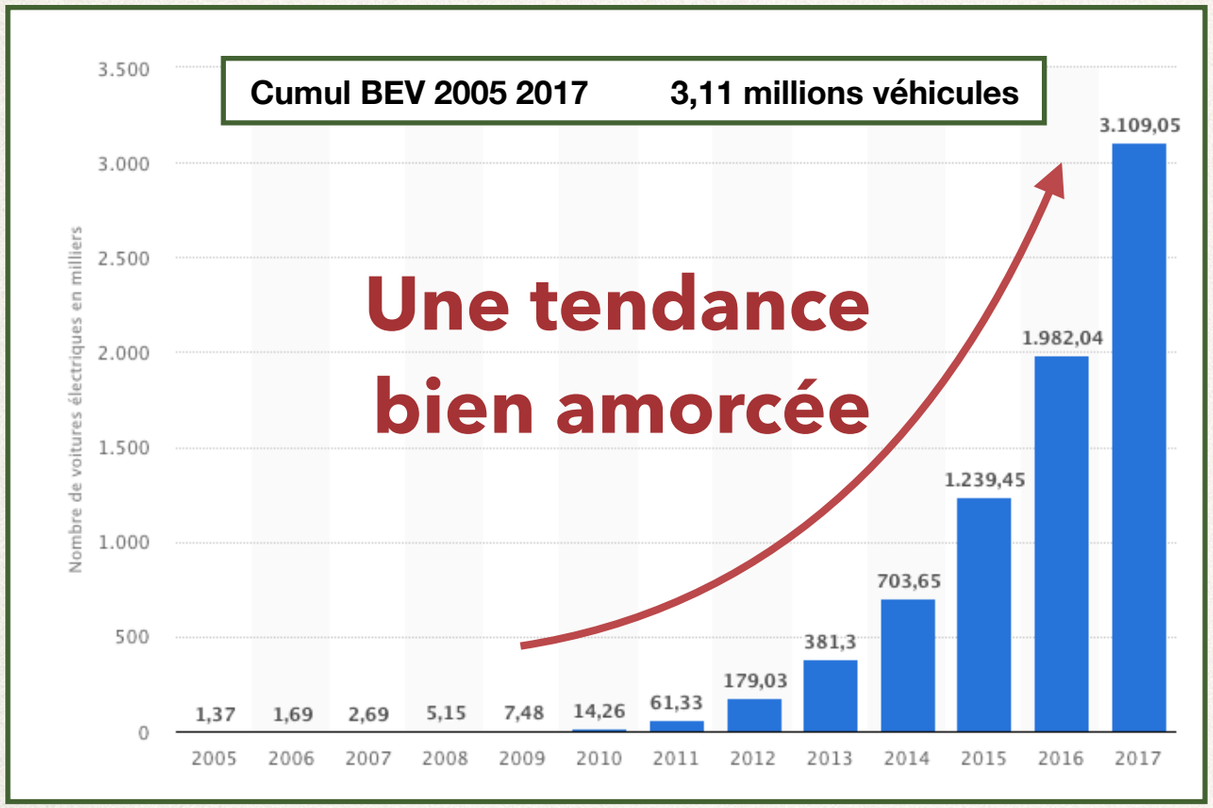
Ventes Monde 2017, Chine 25 millions VP



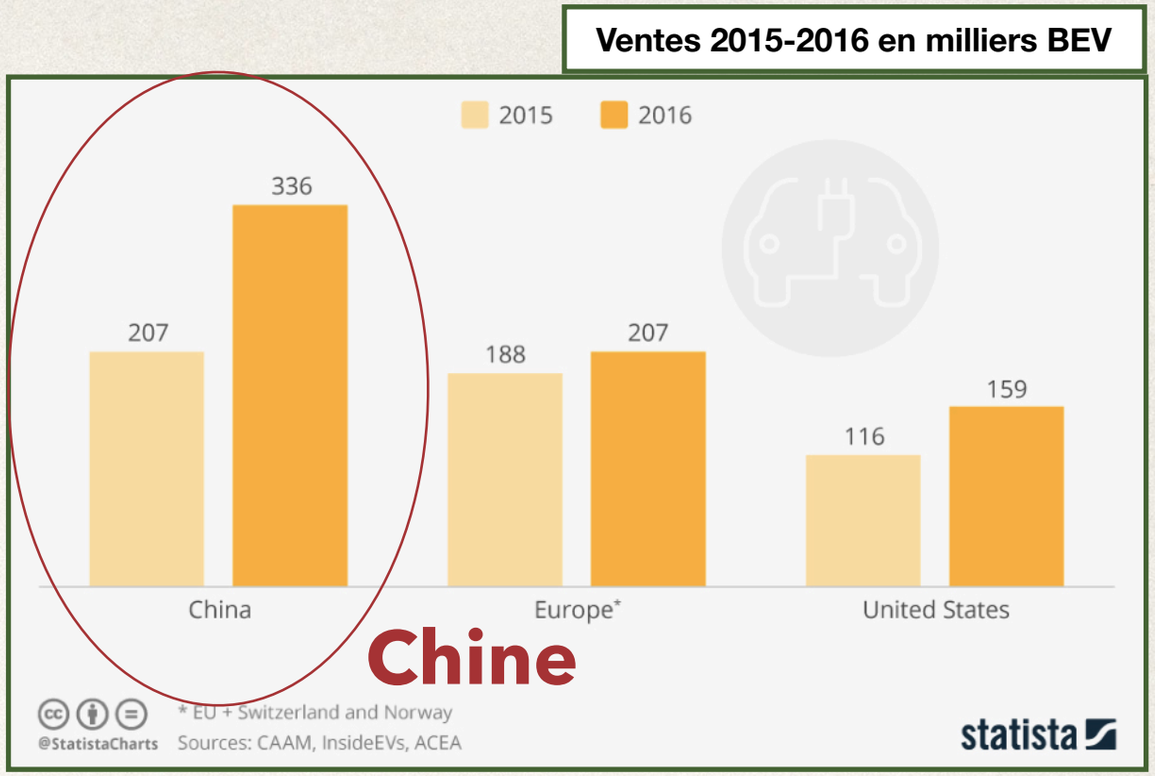
Production VP EU 2017



XXIe siècle : BEV le retour ?



Source : statista



Meilleures ventes 2018 Monde. 145 846 Tesla Model 3
Energie embarquée : **50 à 75 kWh** selon le modèle
Energie gravimétrique Cellules : **0,243 kWh/kg**

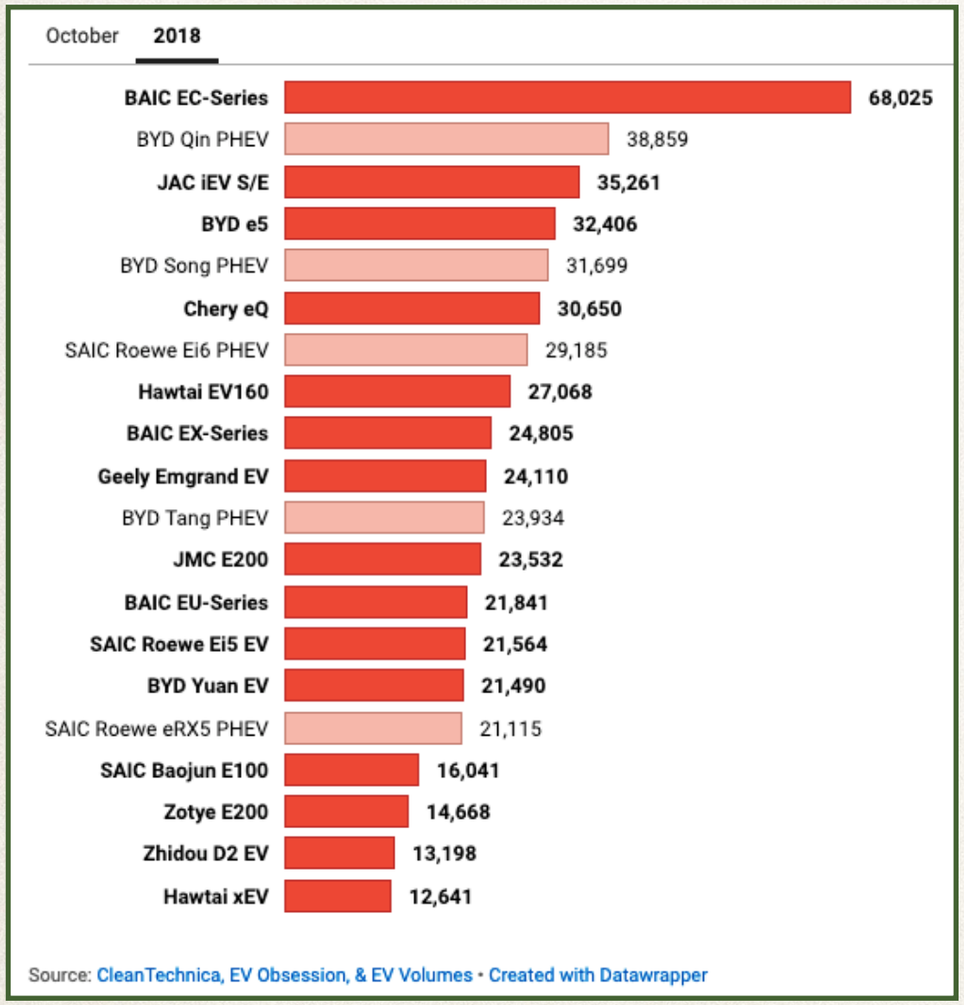
L'énergie spécifique a été multiplié par 100 en 50 ans

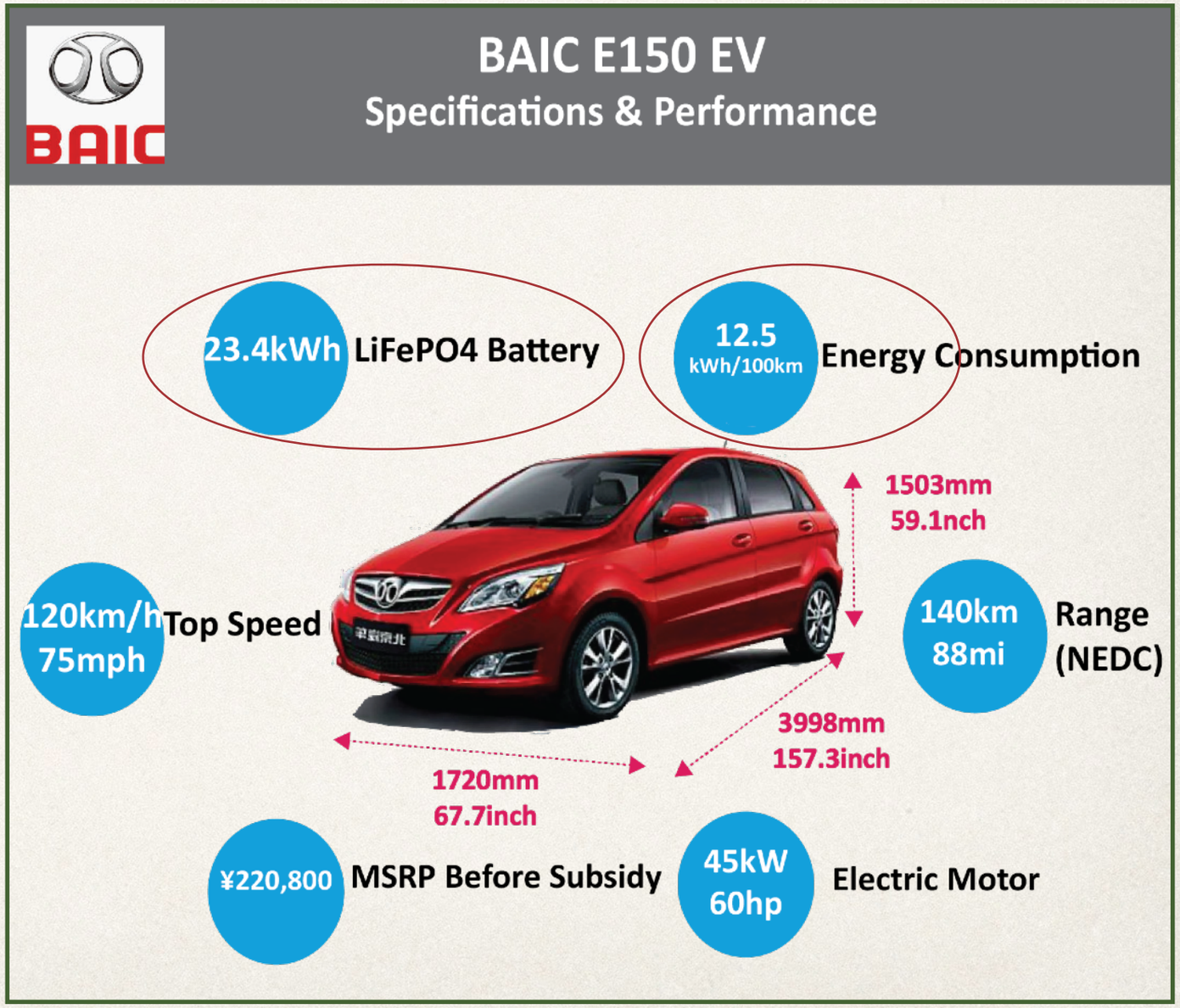
BEV ou EV	**(battery) Electric Vehicle**
HEV OU FHEV	**(Full) Hybrid Electric Vehicle**
PHEV	**Plug in Hybrid Electric Vehicle**
MHEV	**Mild Hybrid Electric Vehicle**
EREV	**Extended Range Electric Vehicle**

La tendance est à l'accélération des ventes de BEV
C'est en Chine qu'il se vend le plus de BEV

BEV CHINE

La BEV la plus vendue en Chine a une autonomie de 140 km normalisée NEDC… soit 120 km en conditions réelles

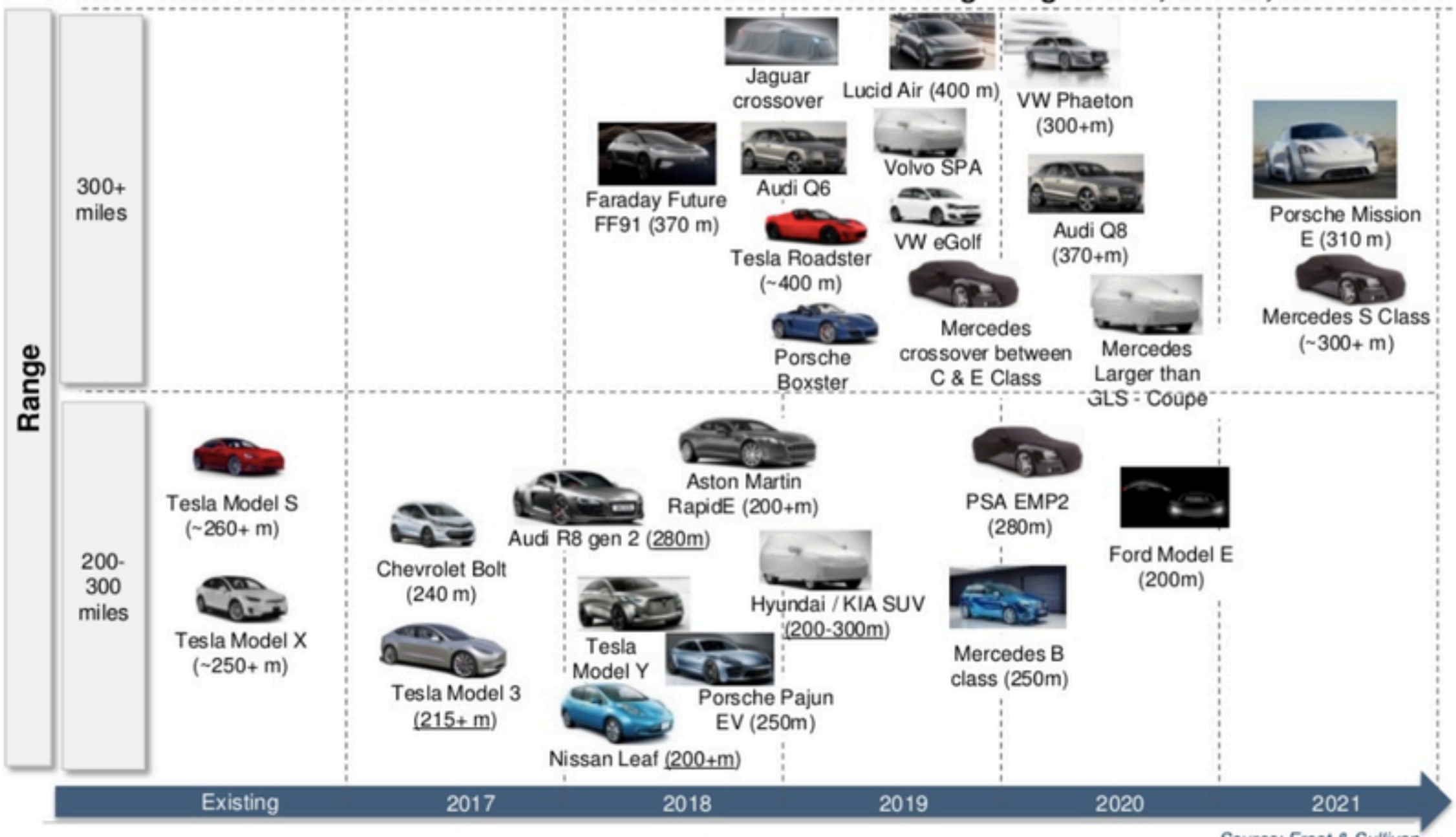




Panorama EV

More than 25 models for almost every OEM are expected to have a 200+ mile range in the next 5 years. OEMs have a 300 mile range benchmark to match the performance of the EV to an ICE.

Total EV Market: Announced and Probable Future Launches of Long Range BEVs, Global, 2016-2021



Source: Frost & Sullivan

BEV – Battery Electric Vehicle

Haute tension 350 - 400 Volts

Nissan Leaf,
Tesla Model S,
Smart EV,
Mercedes B-Class Electric Drive,
BMW i3
and more.

Tesla Model S
85 à 100 kWh
À partir de 90 800 €

Nissan Leaf
40 à 62 kWh
350 V Li ion
À partir de 35 600 €

Tesla Model 3
50 à 75 kWh
À partir de 59 550 €

Zoé Renault 51 kWh

Tesla Roadster
200 kWh
215 000 €

FHEV (Full) Hybrid Electric Vehicle

Haute tension 350 - 400 Volts

LEXUS *HYBRIDE* FHEV
1 million exemplaires

PHEV Plug in Hybrid Electric Vehicle

Haute tension 350 - 400 Volts

2018 de nombreux constructeurs automobiles enropéens retirent les PHEV de leur catalogue non conformes au nouveau protocole de tests d'homologation WLTP Audi A3 e-tron, de la BMW 740e, des Porsche Panamera et Cayenne hybrides rechargeables (dont la commercialisation est suspendue), ou de la Volvo XC60 Plug-In (toujours en vente), la Volkswagen Passat GTE a vu son niveau d'émission bondir **au-dessus de la barre des 50 g/km de CO2** du fait du seul changement des règles de calcul.

Toyota Prius,
Ford Fusion Hybrid,
Toyota Camry Hybrid,
Lexus RX-400h Hybrid,
Lexus CT-200 Hybrid,
Hyundai Sonata Hybrid,
Chevrolet Malibu Hybrid

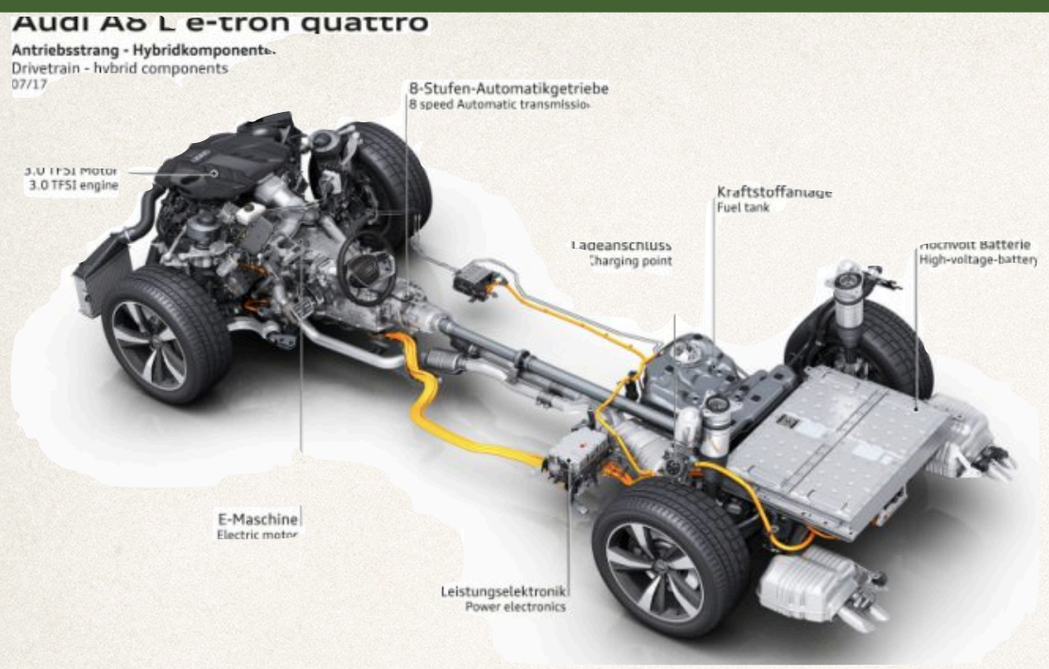
Toyota : 12 millions d'HEV + PHEV

Toyota Prius 1997
1,8 kWh
350 V Nimh puis Li ion

Toyota Prius IV 2018
0,7 kWh
207 Volts Li ion

MHEV Mild Hybrid Electric Vehicle

Basse tension 48 Volts



Audi A8 `L 14.1 kWh

© izmocars

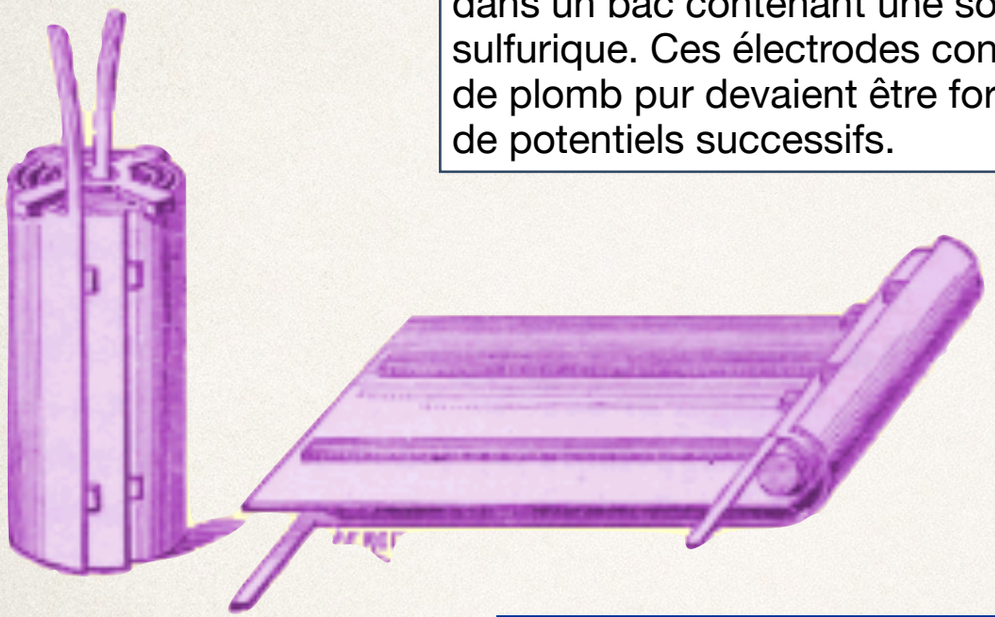
EREV Extended Range Electric Vehicle

Haute tension 350 Volts

Chevrolet Volt
Batterie lithium-ion de 18,4 kWh
Electrique+Essence.

BATTERIE Invention

Comporte deux feuilles de plomb roulées en spirale séparées par une toile de lin et plongées dans un bac contenant une solution d'acide sulfurique. Ces électrodes constituées initialement de plomb pur devaient être formées par balayages de potentiels successifs.



1859 premier accumulateur rechargeable par Gaston Planté

Vocabulaire :
Pile : empilement de générateurs élémentaires non rechargeables
Accumulateur : générateur élémentaire non rechargeable
Batterie : ensemble de piles ou ensemble d'accumulateurs

En français, **le mot Batterie est réservé aux batteries d'accumulateurs**

Energie gravimétrique : **0,00347 kWh/kg**

Facteur 8 en 1899 (Jamais contente Jenatzy)

BATTERIE Histoire

1859 Plomb

1899 Plomb

1946 Plomb

Pour produire un véhicule électrique, trois solutions s'offrent aux constructeurs :

Concevoir cellules + batteries

Acheter les cellules et Concevoir la batterie

Acheter la batterie

1990 Lithium ion

1946 Plomb

BATTERIE LMP BLUESOLUTION

Cellule : accumulateur électrochimique
Batterie : Ensemble de cellules, assemblées pour former un générateur dont on choisit la tension et la capacité (Ah)

Concevoir cellules + batteries

La Bluecar de **Bluesolution** (autonomie 250 km urbain, 150 km extra urbain) , groupe Bolloré
Historiquement usine de papier à cigarette, puis de film condensateur, après 20 ans de R&D (environ 300 millions € / an d'investissement), Bolloré propose une **batterie LMP** (Lithium Métal Polymère) : 30 kWh pour 300 kg,
soit une **énergie spécifique de 100 Wh/kg**.

Intérêt : utilise peu de ressources rares, pas de cobalt ; Pas de risque d'incendie.

Limite de la Bluecar : **la batterie LMP fonctionne typiquement à 80°C** et nécessite un préchauffage. Pour assurer une disponibilité, la **consommation** d'une Bluecar **à l'arrêt est estimée à 10 kWh/jour** et une batterie non chauffée s'autodécharge en trois jours pour maintenir une température > 60°C.
Après le fiasco des Autolibs parisiennes, Bluesolution (19 m€ de pertes pour un CA de 80 m€) cherche un débouché avec ses bus (48 livrés à la RATP) : premier marché de 800 bus RATP (33%) et le groupe Daimler contracte pour des batteries LMP pour ses bus électriques.

Bluebus 12m
(production : 270 fin 2018)
272 kWh
200-250 km

Bluebus 6m
90 kWh
130 km

BATTERIE TESLA

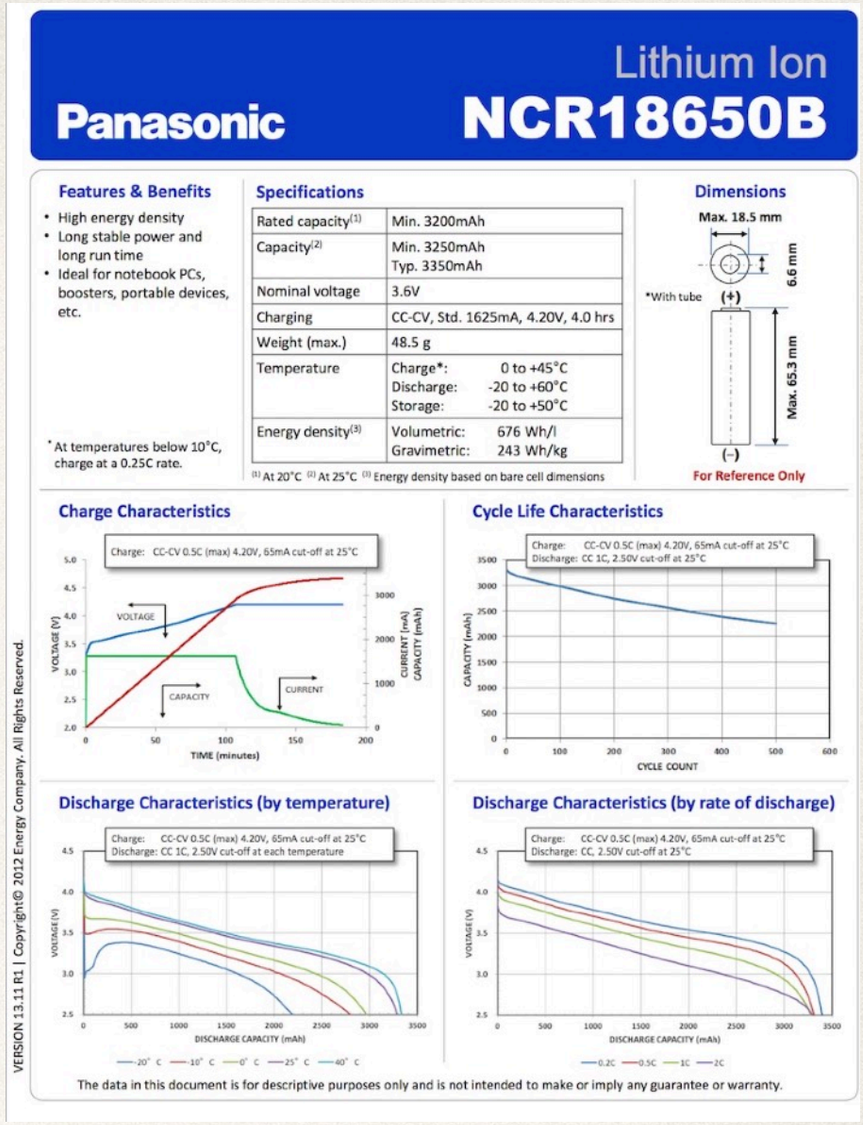
Acheter des Cellules et concevoir la batterie

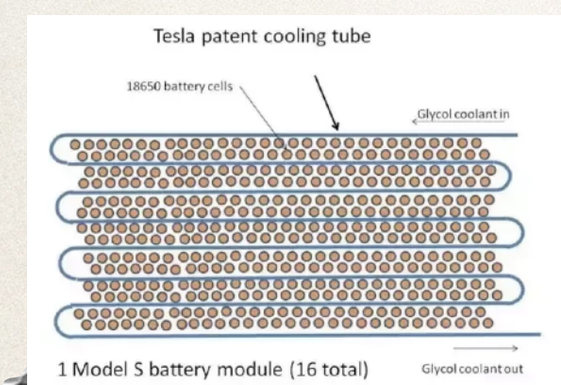
Vision TESLA

Martin Eberhard et Marc Tarpenning, fondateur de Tesla Motors ont l'idée en 2003 d'utiliser des cellules du commerce, en les sélectionnant, et de développer une batterie de plusieurs milliers de cellules en soignant le design des enveloppes pour assurer la régulation de température. Depuis, tesla Motor s'appelle Tesla et est managée par Elon Musk (Paypal, SpaceX, Boring compagny, etc..)

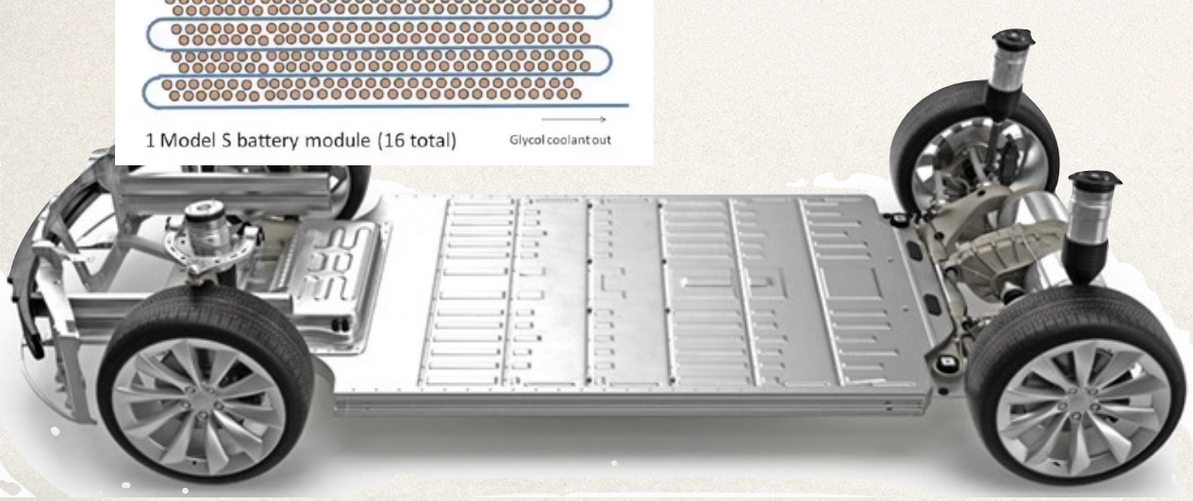
Actuellement, Panasonic assure la fabrication des cellules **NCR 18650 3,35Ah** à l'intérieur de la Gigafactory, et Tesla automatise l'assemblage de la batterie. Les cellules NCR Factor Form 18650 (18x65 mm) sont plutôt performantes du point de vue de l'**énergie gravimétrique (243Wh/kg)**.

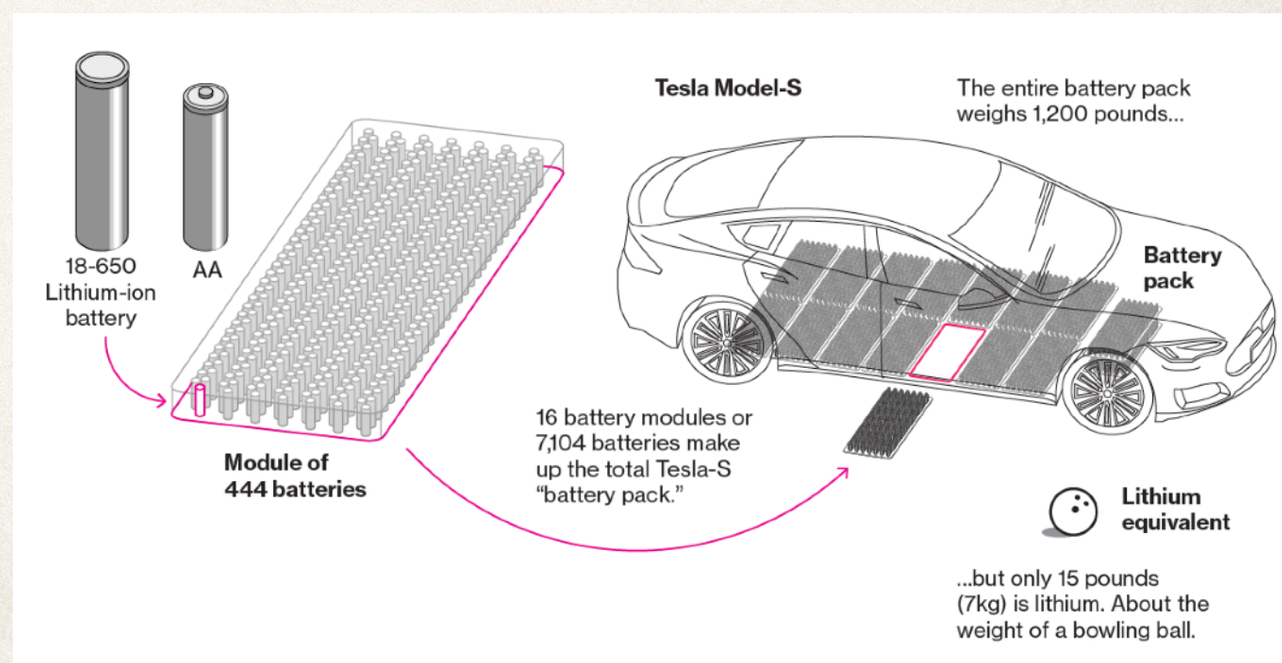
Le développement est secret, mais la modèle 3 de Tesla est équipée de cellule **NCR 2070** (20x700 mm), de meilleure capacité **5,75 Ah** et qui utilise 65% de cobalt en moins**.** Tous les observateurs attendent un crash de modèle 3 pour récupérer et démonter une batterie… c'est fait 01/2019… **247 Wh/kg mesuré.**





Modèle S
8256 Cellules
en 16 modules
total 102.4 kWh.





BATTERIE perspectives

le bloc-batterie **Model S** de 85 kWh a une **énergie spécifique** de **126,7 Wh/kg**, avec convertisseur DC-DC, chargeur et boîtes de connexion assorties non inclus dans le bloc, mais logés ailleurs dans le véhicule. **!**)

Discussion sur les batteries :

On plafonne à 300 Wh/kg avec une grosse bagarre pour les atteindre entre les trois constructeurs de cellules, mais l'énergie gravimétrique n'est pas le seul critère.

Si on privilégie l'énergie gravimétrique, la puissance gravimétrique baisse et le temps de recharge augmente (Pb de température de la cellule).

Enfin, il faut être prudent sur ce critère et comparer ce qui est comparable ; o**n observe l'énergie gravimétrique des cellules mais il faut prendre en compte le bloc complet** (convertisseur, chargeur, boites de connexions, thermorégulation, etc..) et des progrès sensibles sont faits dans ce domaine. Dans la tesla model3, le système de chauffage des cellules a été supprimé du pack batterie, c**e sont les moteurs de tractions qui chauffent les cellules (même à l'arrêt).**

Évolution des batterie lithium : à électrolyte solide…. Prochaine révolution ? **Aucune visibilité d'une solution qui remplace le lithium comme électrolyte.**

Coût des batteries : actuellement autour des 200 $/kWh et tendance vers 100 $/kWh

Janvier 2019 l'Europe décide l'Airbus de la batterie : filière solide ?

01/2019 Tesla achète la société américaine Maxwell (stockage condensateur) et évoque la prochaine rupture technologique en stockage électrochimique (un produit Maxwell 3500 Farads affiche une énergie spécifique de 0,007 kWh/kg ?).

BATTERIE ZOE

Acheter des Cellules et concevoir la batterie

Les observateurs sont assez critiques sur les c**hoix de Tesla, à savoir une cellule de petite taille qui impose un grand nombre de soudures** et complexifie la régulation de température et le monitoring général de la batterie.
L'ensemble des autres constructeurs automobiles assembleurs de batteries portent leur choix sur des cellules prismatiques de plus forte capacité.
Plusieurs acteurs sur le marché mais **LG Chem (Corée)** est bien placé avec sa cellule **NMC 622 60Ah** (24 millions /an). Aucune publication sur cette cellule, mais différents sources citent une énergie gravimétrique de **222 Wh/kg**

Cellule NMC 622
26 $
(trouvée sur Alibaba)
65 Ah 3,6 V nominal
965 g
énergie gravimétrique de **243 Wh/kg**

Une nouvelle cellule **NMC 712** en préparation pour le marché des BEV

LG Chem et d'autres chimistes prépare la mise en production de la la cellule **NMC 811** (en particulier en Pologne pour le marché européen -ce qui est une catastrophe environnementale vu le mix énergétique-) et visent une énergie gravimétrique de **300 Wh/kg**.

Impact Carbone BEV

Etude ADEME 2012

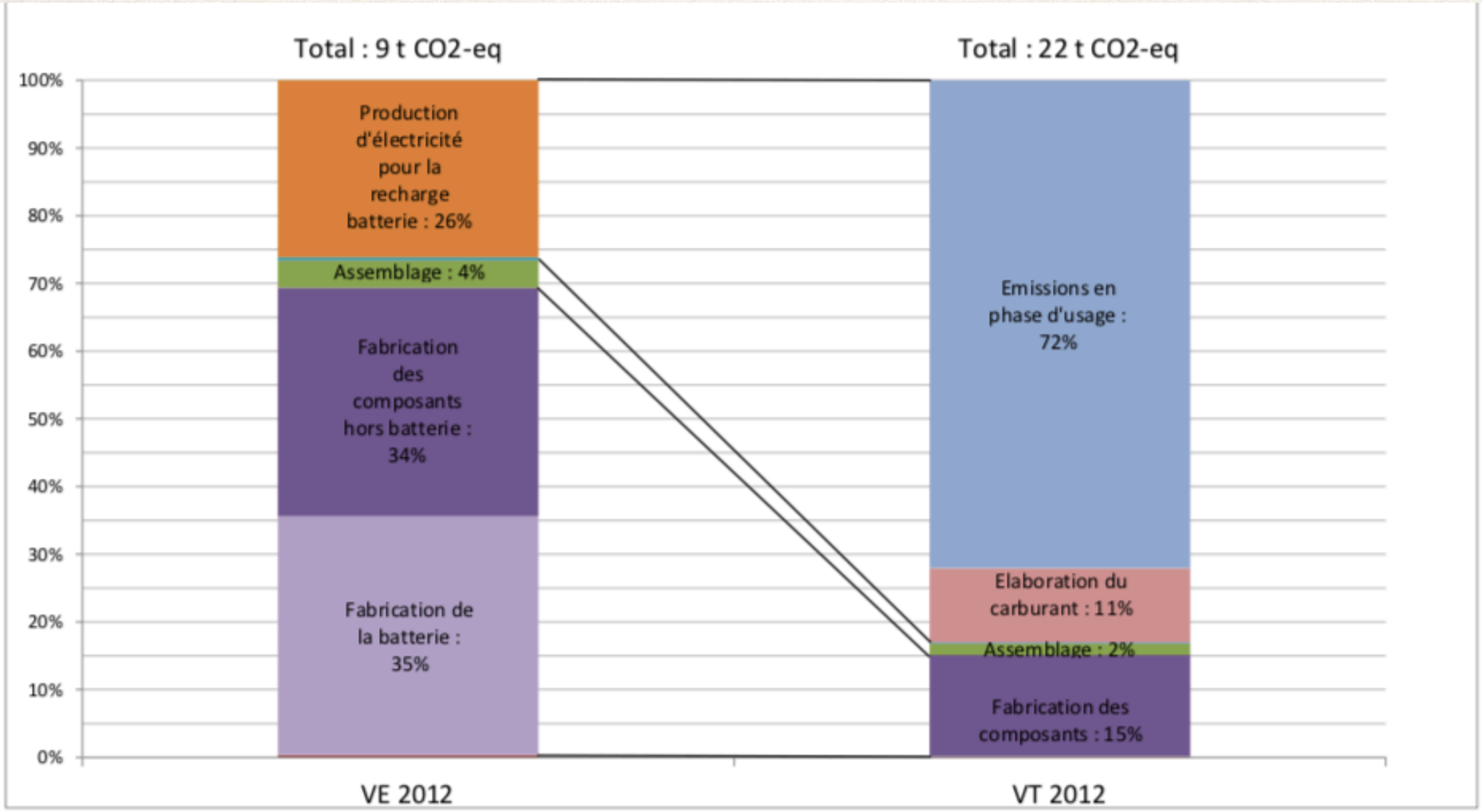


Figure 1-4 : Contributions au potentiel de changement climatique du Véhicule Electrique français et du Véhicule Thermique en 2012

Sur la durée de vie
10 ans
150 000 km

Batterie 24 kW

Source : ADEME 2011
ELABORATION SELON LES PRINCIPES DES ACV DES BILANS ENERGETIQUES, DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE ET DES AUTRES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX INDUITS PAR L'ENSEMBLE DES FILIERES DE VEHICULES ELECTRIQUES ET DE VEHICULES THERMIQUES, VP DE SEGMENT B (CITADINE POLYVALENTE) ET VUL A L'HORIZON 2012 ET 2020

LES BEV ont un impact 2,5 plus faible que les ICE
BEV 60 gCO2/km versus ICE 147 gCO2/km

2 tiers des émissions BEV à la fabrication

Impact Carbone BATTERIE

Etude Ellingsen 2014

Une ACV qui fait référence

[**Ellingsen 2014 : Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack**] donne **172 kg $CO2_{eq}$ / kWh_{bat}**

(62% d'impact CO2 par l'énergie électrique consommée dans la phase de fabrication, référence du mix : 107 gr $CO2_{eq}$ / kWh_e, Ce qui est un mix très vertueux comme le mix Français). Ce résultat dépend du mix énergétique du pays où est localisée la production de batterie.

L'**Etude IVL** (Swedish Environmental Research Institute) mai 2017 : **The life cycle energy consumption and CO2 emissions from lithium ion batteries**] s'appuie sur les résultats de [Ellingsen]

L'impact varie ainsi de **72 kg $CO2_{eq}$ / kWh_{bat}** en Suède,
à **224 kg $CO2_{eq}$ / kWh_{bat}** en Chine,
jusqu'à **292 kg $CO2_{eq}$ / kWh_{bat}** en Inde.

Ainsi, il faut 130 000 km à une Tesla modèle S P100D avec sa batterie 100 kWh pour retrouver une émission inférieure à une berline thermique De même gabarit

Electricity mix	g CO_2-eq/ kWh el	kg CO_2-eq/kWh battery from electricity	% of Ellingsen manufacturing	% of Ellingsen total*
Sweden	50	7	7%	42%
Brazil	300	46	43%	65%
Ellingsen ref		107	100%	100%
USA	700	112	105%	103%
China	1000	159	149%	130%
Poland	1050	169	159%	136%
India	1400	226	212%	170%

L'étude Elligsen met en évidence un fort impact de la fabrication de la batterie, et invite à privilégier des batterie de petite taille donc les Hybridations. (MHEV, FHEV, PHEV).

les BVE ne sont une solution aux problèmes d'émission CO2 que si ils sont partagés.

Impact Carbone BEV

Etude Maarten Messagie 2018

Les résultats [Ellingsen 2014] sont contestée en 2018 par [Maarten Messagie : **Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles**]

Les raisons évoquées : [Ellingsen 2014]
l'ACV est calculé pour 150 000 km, alors que 200 000 km semble plus probable
[Ellingsen 2014] ne prend pas en compte la deuxième vie de la batterie, puis le recyclage,
Les émissions des ICE sont minorées car les cycles d'utilisation normalisés sont éloignés de la réalité

L'étude [Maarten Messagie] ramène à **55 kg $CO2_{eq}$ / kWh_{bat}** l'impact d'une batterie lithium.

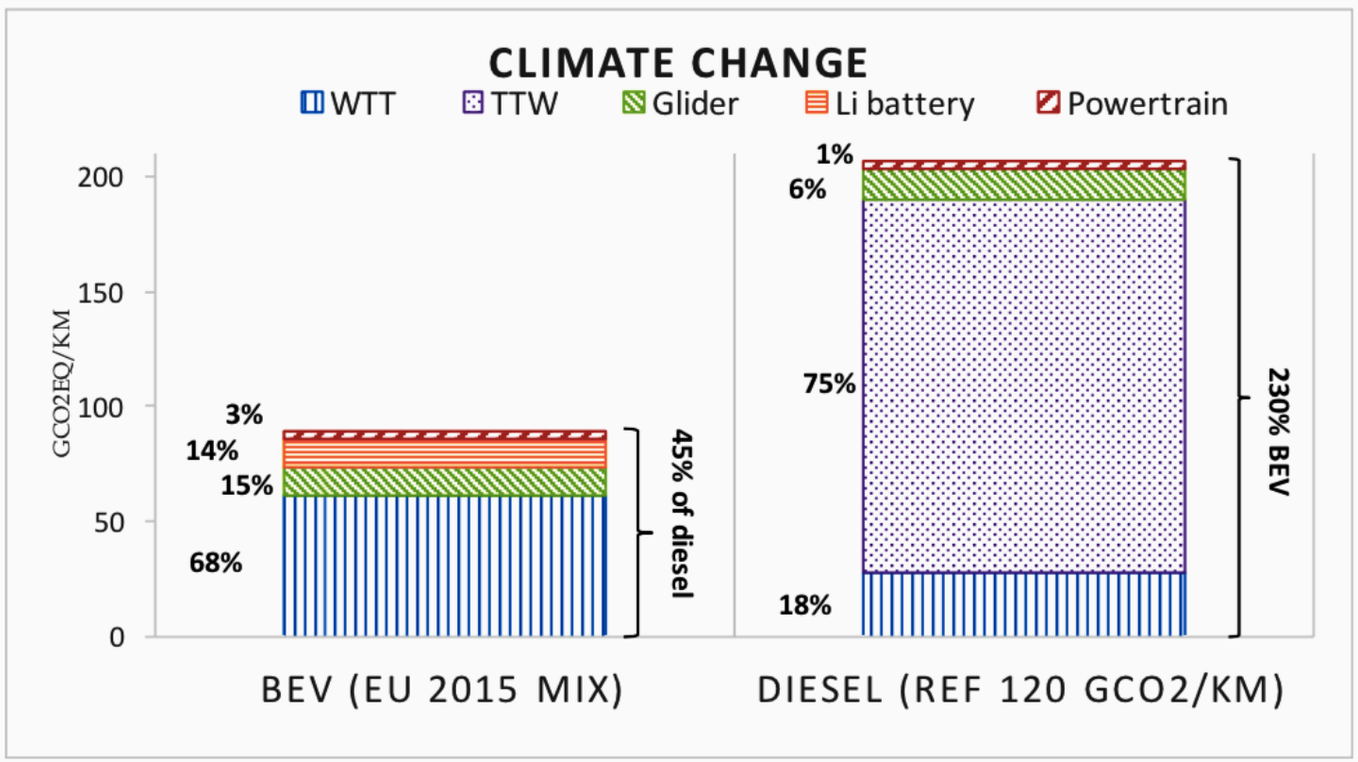


Figure 5: Significance of the various life cycle stage
The basic assumptions are: a life time driven distance of 200.000km and a weight of the glider of 1200kg. For the battery electric vehicle following assumption are considered: a real-life electricity consumption of 0,2 kWh/km [19] and a 30kWh LMO battery (average of 55 $kgCO_2$/kWh [12]); 1,5 battery replacement is needed over the life time of the vehicle [20, 17]. The reference diesel vehicle emits 120 gCO_2/km on NEDC, which is augmented with 35% to reflect real life driving conditions [5]. The EU 28 mix of 2015 emits 300gCO_2/kWh [21].

L'étude Maarten Messagie aménage l'étude Elligsen en reconsidérant les hypothèses et démontre une utilisation vertueuse de toutes les solutions électriques.

WTT Well To Tank (du puits au réservoir)
TTW Tank to Whell (du réservoir à la roue)

Impact Carbone BATTERIE

Etude Maarten Messagie 2018

Etude [Maarten Messagie]

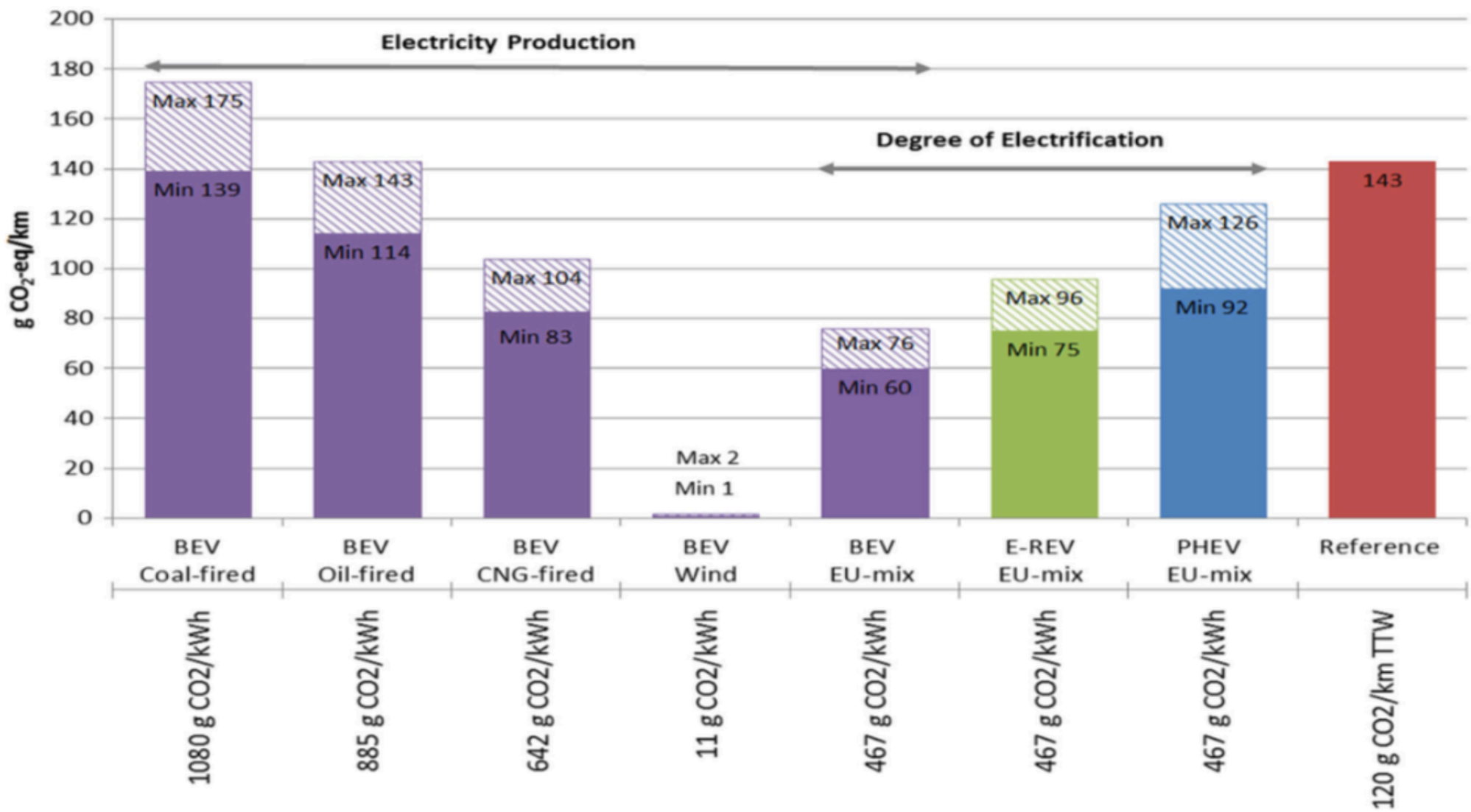
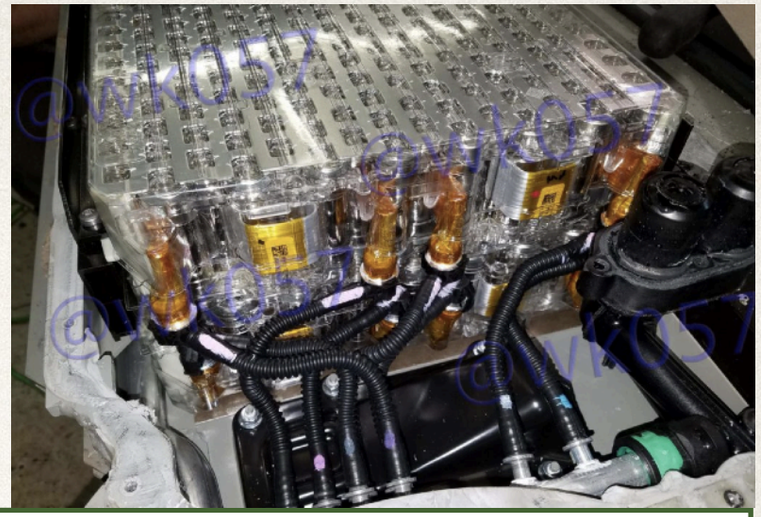


Figure 1 WTW GHG emissions for different electricity production and degrees of electrification [1]

Impact Carbone TESLA P100D



Tesla construit ses batteries autour de la **cellule 18650 3,35Ah** (18 x 65 mm) **Lithium ion Panasonic**
Pour chaque batterie, 8256 Cellules sont réparties en 16 modules et forment au total 102.4 kWh.
La batterie comporte un système de thermorégulation chaud froid car sa température doit être maintenue dans la plage 0-45°.

Selon l'étude [Ellingsen 2014] , **172 kg $CO2_{eq}$ / kWh_{bat}**

pour une batterie de **Tesla modèle P100D**, fabriquée aux USA, 100 kWh, on trouve **17,7 t $CO2_{eq}$** mix USA

Il faut ajouter les impacts de la fabrication de la voiture, et de la consommation d'énergie électrique sur la durée de vie

Fabrication Hors batterie + assemblage estimé : **10t $tCO2_{eq}$**

l'achat de la voiture provoque un pic de CO2 de 27,7 t $CO2_{eq}$ à 0 km au compteur

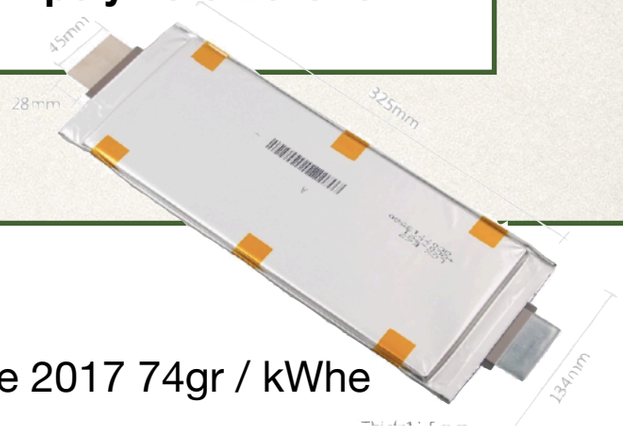
Consommation 13 kWh/100km (d'autres sources donnent 18 kWh/100 km).
Sur une durée de vie standard 10 ans 150 000 km, mix USA : **19,5 t $CO2_{eq}$**

Total : 47 t $CO2_{eq}$ ou 313 g $CO2_{eq}$/km. À diviser par 3 selon Marteen

Autres sources :
Ademe / Impact fabrication batterie Zoé (41 kWh) : 10t $CO2_{eq}$

Impact Carbone ZOE 41 kWh

Renault construit ses batteries à Flins autour de la **cellule NMC 622 67Ah** (134x325x11,5 mm) **Lithium polymère LG Chem**
Pour chaque batterie, 192 Cellules sont réparties en 12 modules et forment au total 45,61 kWh.



Selon l'étude [Maarten Messagie 2018] , **55 kg $CO2_{eq}$ / kWh_{bat}**

pour une batterie de **Zoé**, fabriquée en France, 41 kWh, on trouve **2,255 t $CO2_{eq}$** mix électrique 2017 74gr / kWhe

Il faut ajouter les impacts de la fabrication de la voiture, et de la consommation d'énergie électrique sur la durée de vie

Fabrication Hors batterie + assemblage estimé : **5 $tCO2_{eq}$**

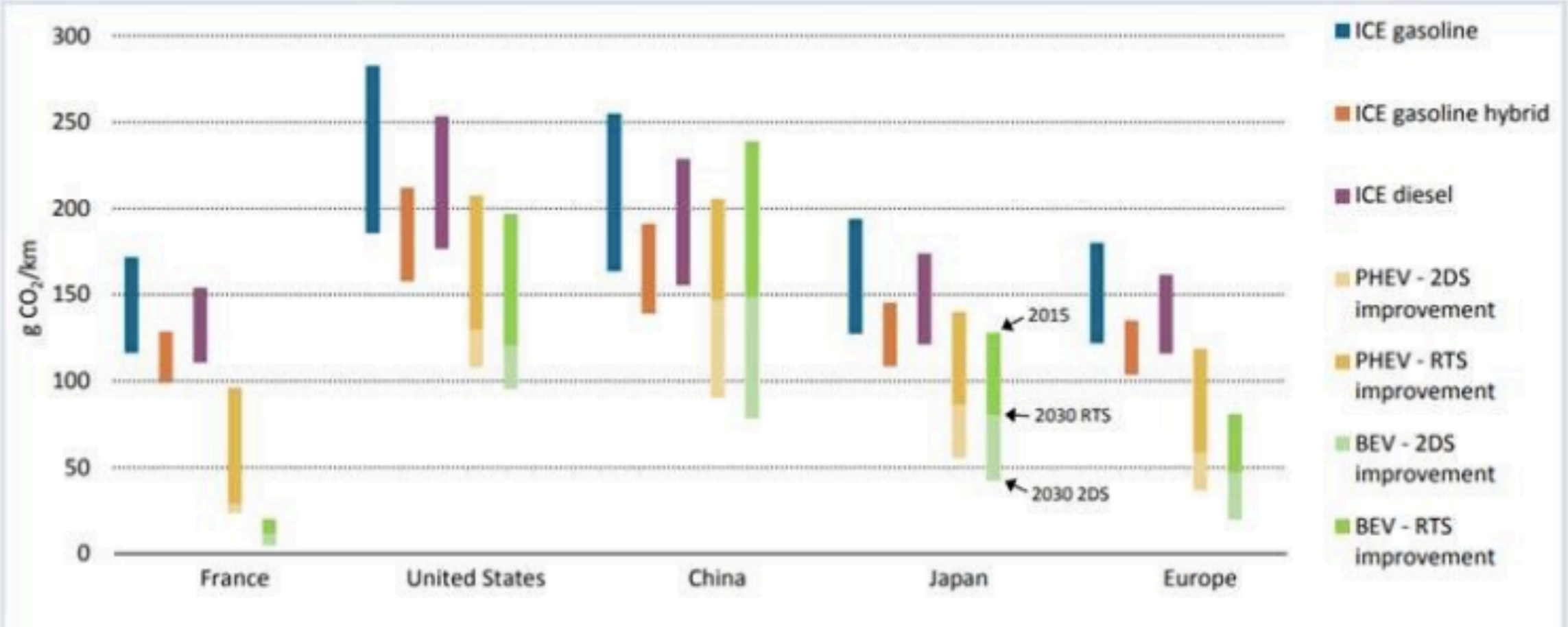
l'achat de la voiture provoque un pic de CO2 de 7 t $CO2_{eq}$ à 0 km au compteur

Consommation 18 kWh/100km
Sur une durée de vie standard 10 ans 150 000 km, mix France : **1,2 t $CO2_{eq}$**

Total : 8,2 t $CO2_{eq}$ ou 55 g $CO2_{eq}$/km

Autres sources :
Ademe / Impact fabrication batterie Zoé (41 kWh) : 10t $CO2_{eq}$

Impact Carbone

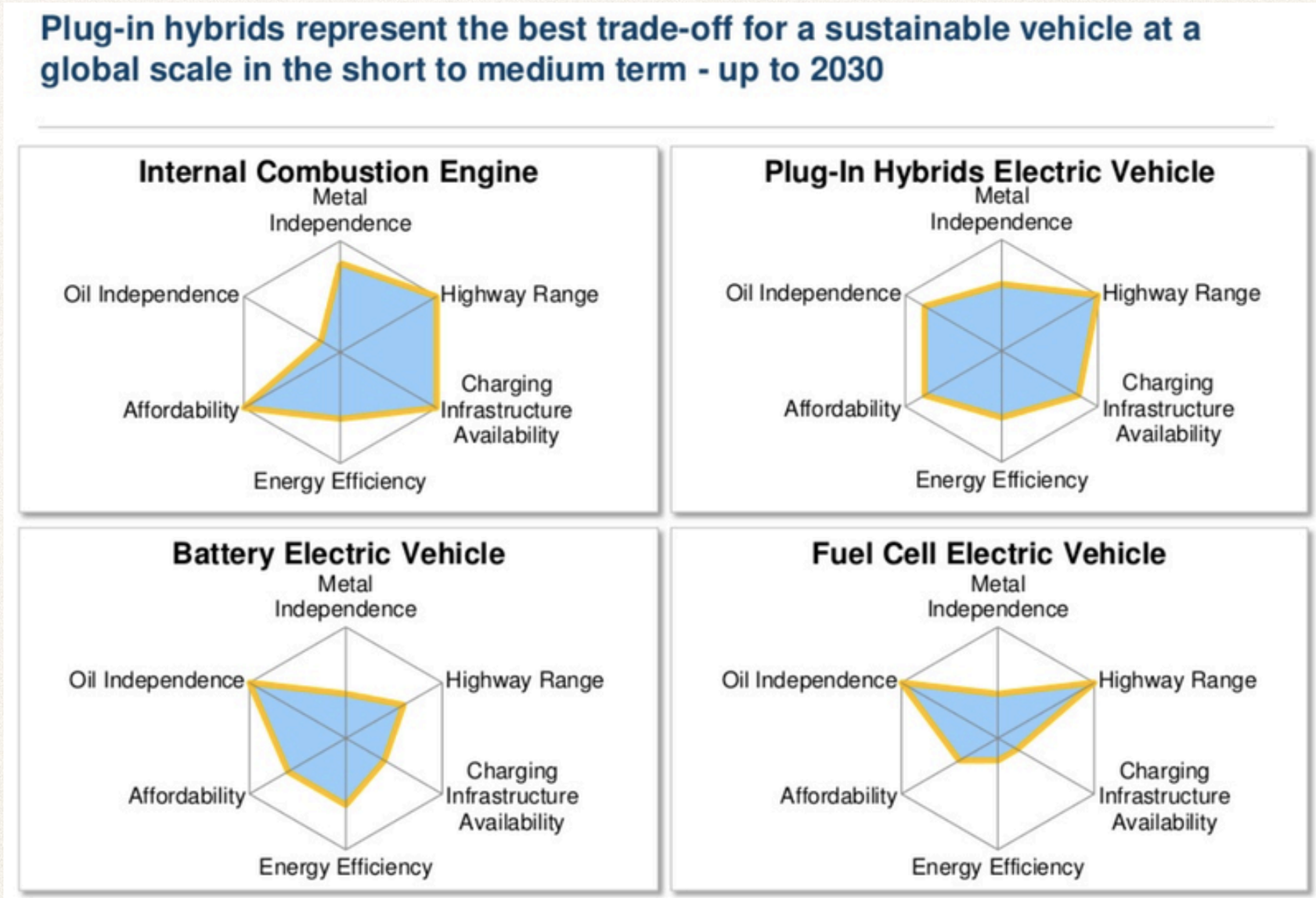


Notes: The upper limit of each bar shows the well-to-wheel (WTW) CO_2 emissions estimated for each powertrain technology in 2015. The lower limit of the dark shading in each bar shows the WTW CO_2 emissions from the technology in 2030, assuming technology and grid decarbonisation improvements aligned with the RTS. The bottom of the light-shaded part of the bars shows the WTW CO_2 emissions in 2030, assuming technology and grid decarbonisation improvements aligned with the 2DS. Vehicle powertrain characteristics reflect the regional assumptions of IEA (2017a). PHEV CO_2 emissions are calculated on the basis of an electric driving rate of 30% of the total mileage in 2015 and an electric driving rate of 80% of the total mileage in 2030.

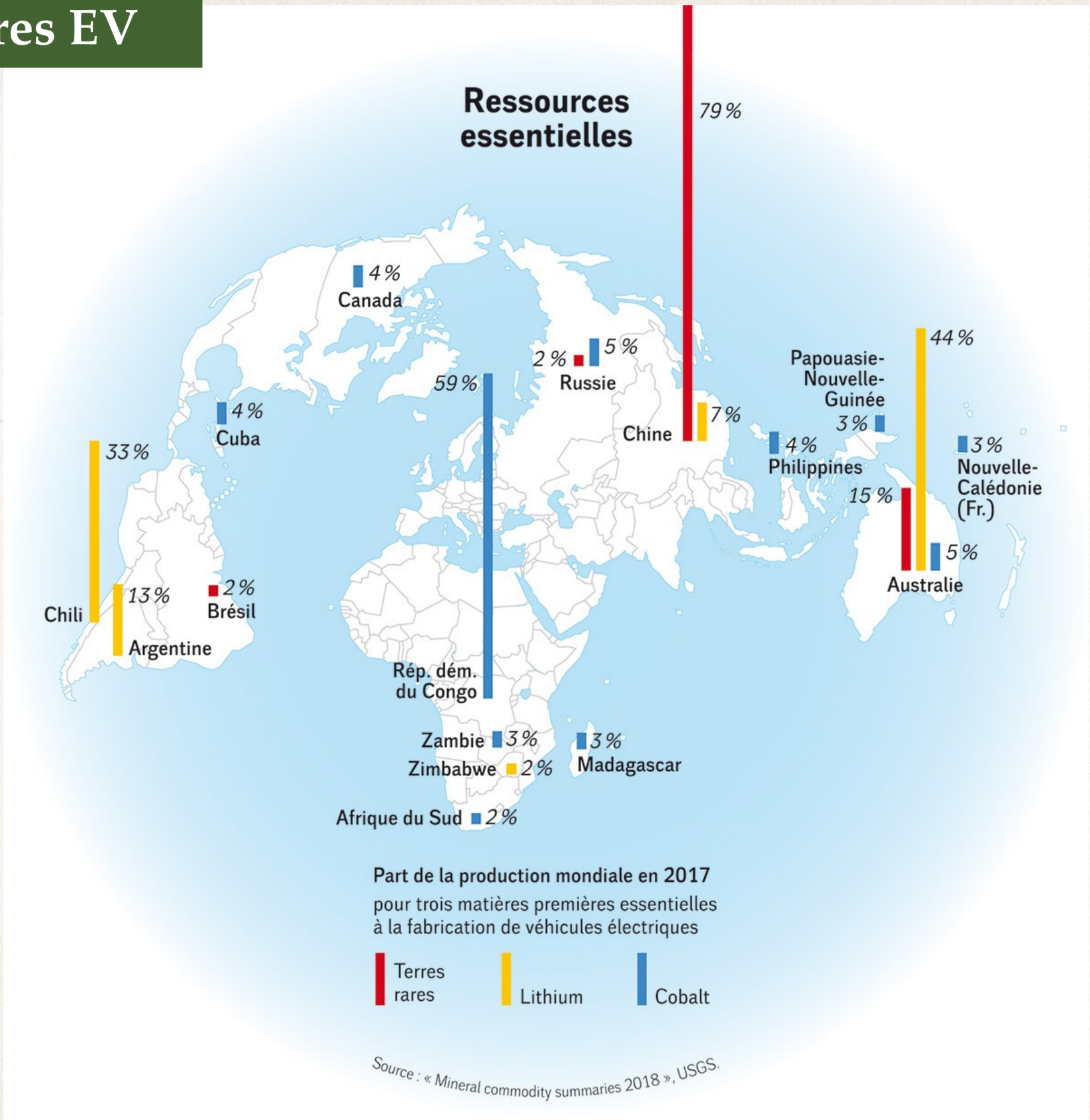
Source: IEA (2017a), IEA Mobility Model, March 2017 version.

Etude de l'AIE sur l'impact environnemental global des batteries pour véhicules électriques

Impacts


Plug-in hybrids represent the best trade-off for a sustainable vehicle at a global scale in the short to medium term - up to 2030
Internal Combustion Engine
Metal Independence
Highway Range
Charging Infrastructure Availability
Energy Efficiency
Affordability
Oil Independence
Plug-In Hybrids Electric Vehicle
Metal Independence
Highway Range
Charging Infrastructure Availability
Energy Efficiency
Affordability
Oil Independence
Battery Electric Vehicle
Metal Independence
Highway Range
Charging Infrastructure Availability
Energy Efficiency
Affordability
Oil Independence
Fuel Cell Electric Vehicle
Metal Independence
Highway Range
Charging Infrastructure Availability
Energy Efficiency
Affordability
Oil Independence

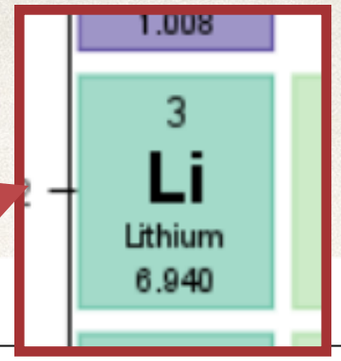
Matières premières EV

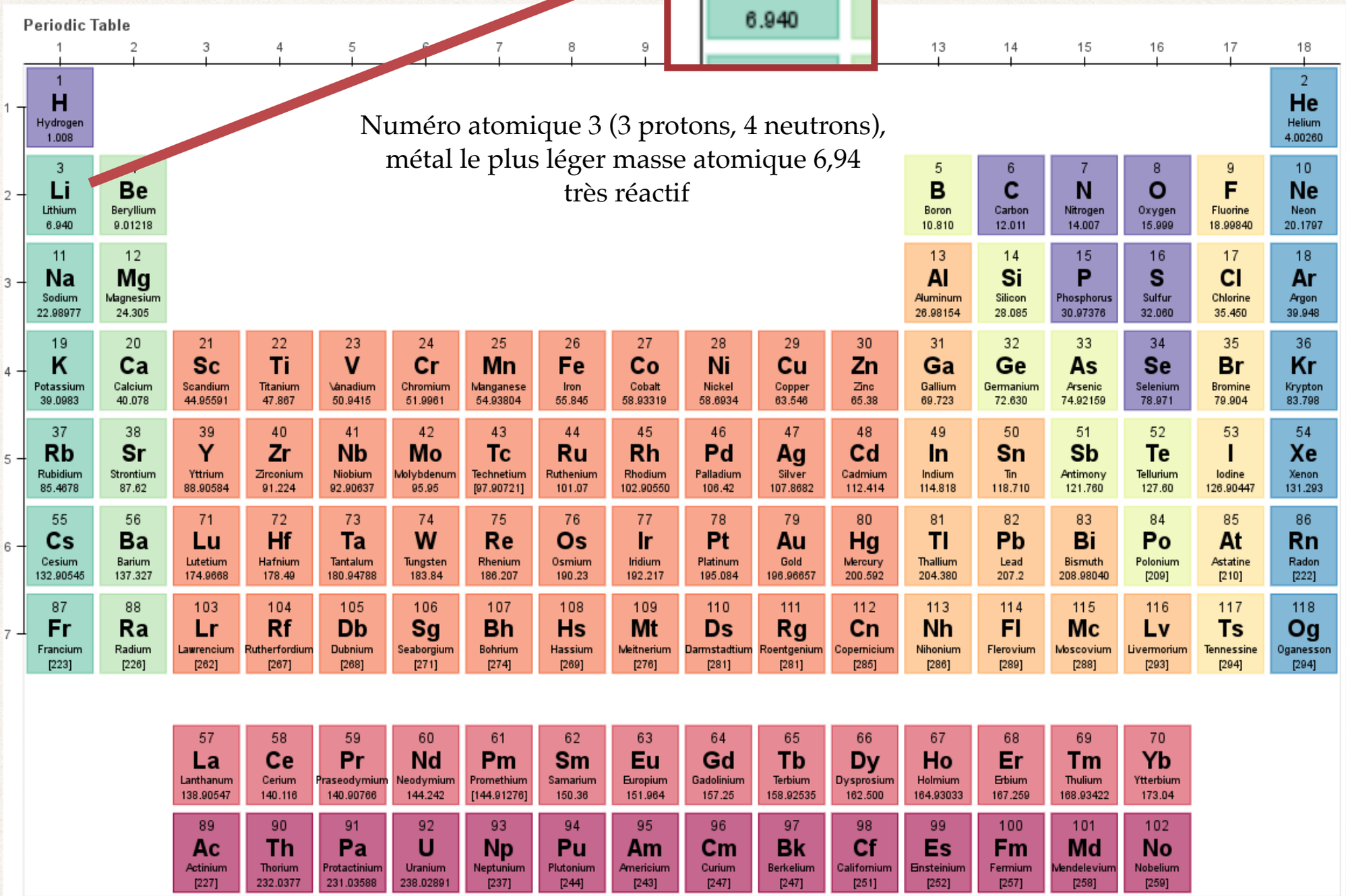


Lithium

réactivité du lithium

Ne pas mâcher son telephone





Numéro atomique 3 (3 protons, 4 neutrons),
métal le plus léger masse atomique 6,94
très réactif

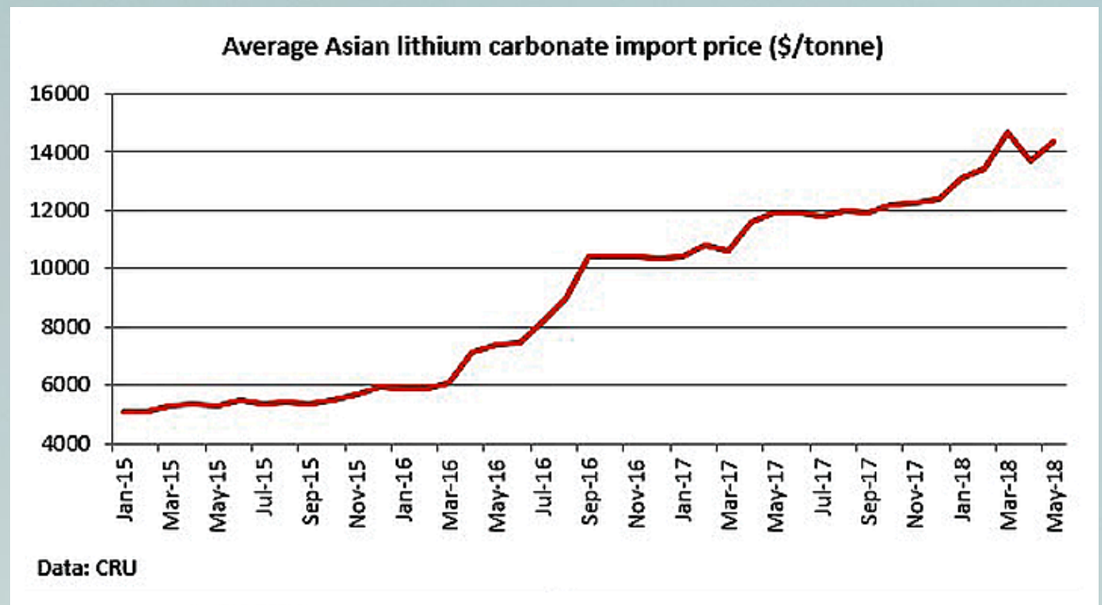
Uma unité de masse atomique
1.66e-27 kg

Lithium extraction

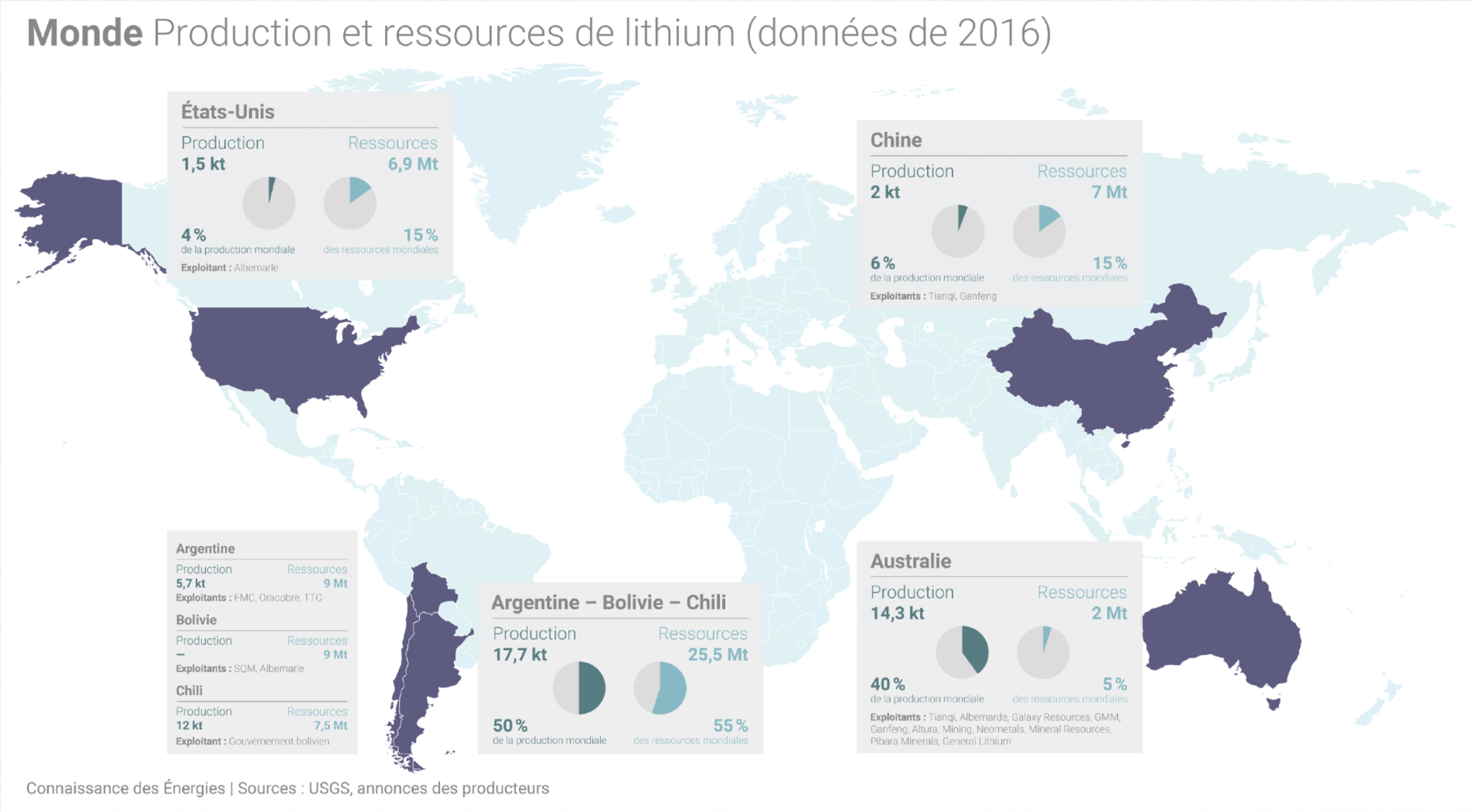
Besoins : **113 g / kWhbat**

Batterie Zoé **24 kWh** 160 km . **2,7 kg Li**

Batterie Tesla **100 kWh** 600 km . **10 kg Li**



Lithium extraction

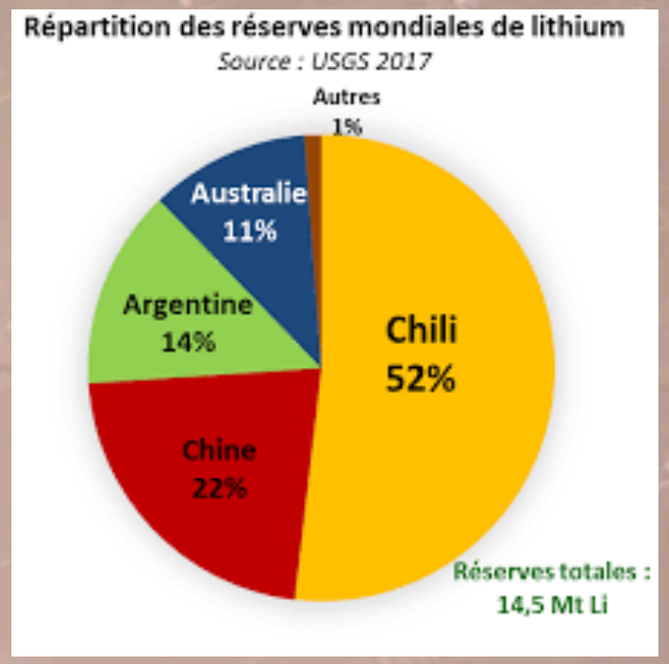


Carbonate de lithium,
Utilisé dans le traitement des trouble bipolaires

Exporté sous différentes formes :
spodumène de lithium,
hydroxyde de lithium,
Carbonate de lithium

Lithium extraction

Salar d'Atacama (CHILI)

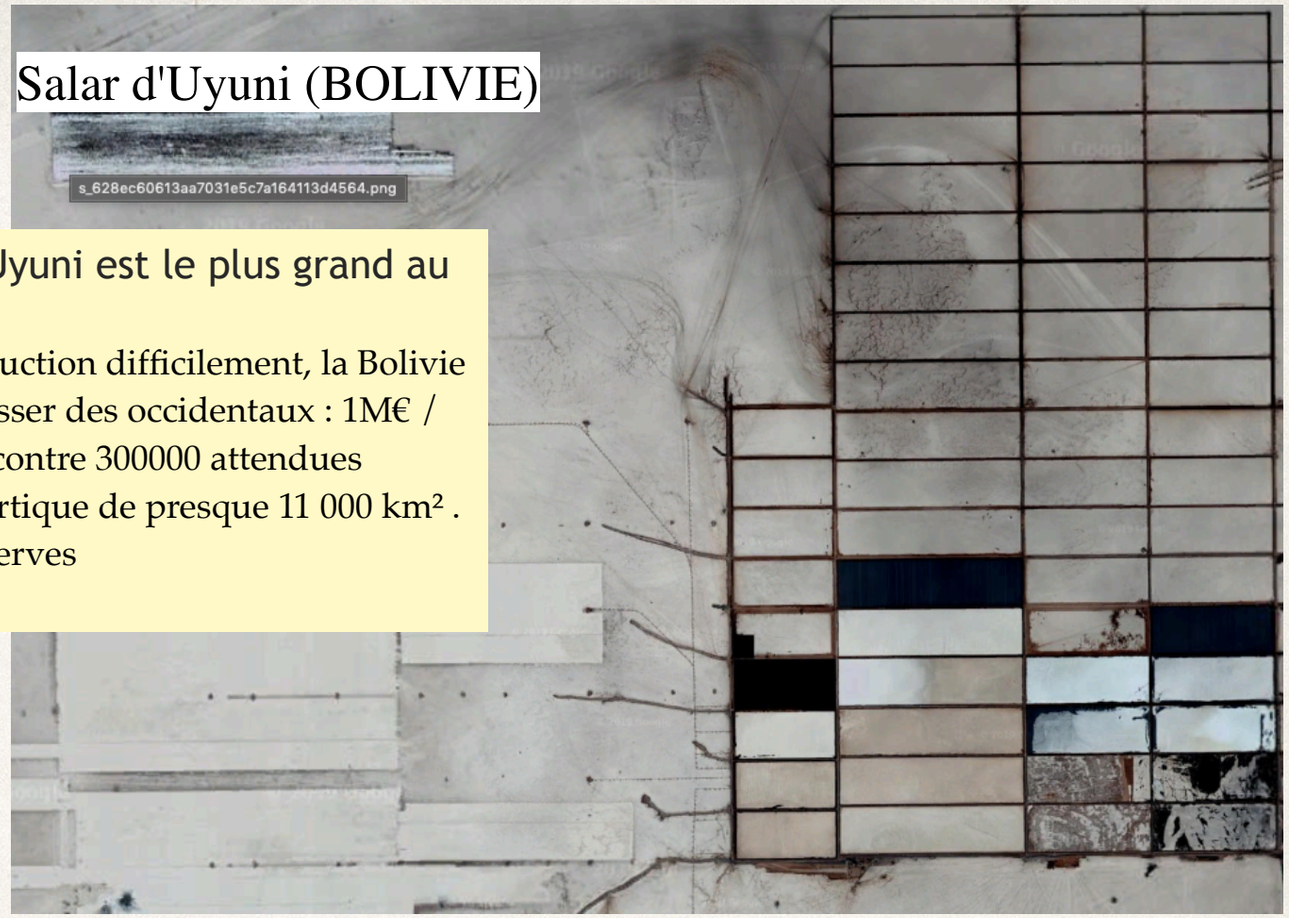


15,08 km

Un litre de saumure du salar contient 0,7 à 0,8 gramme de lithium
Transformation sur place sous forme de carbonate de lithium

Google FR

Lithium extraction

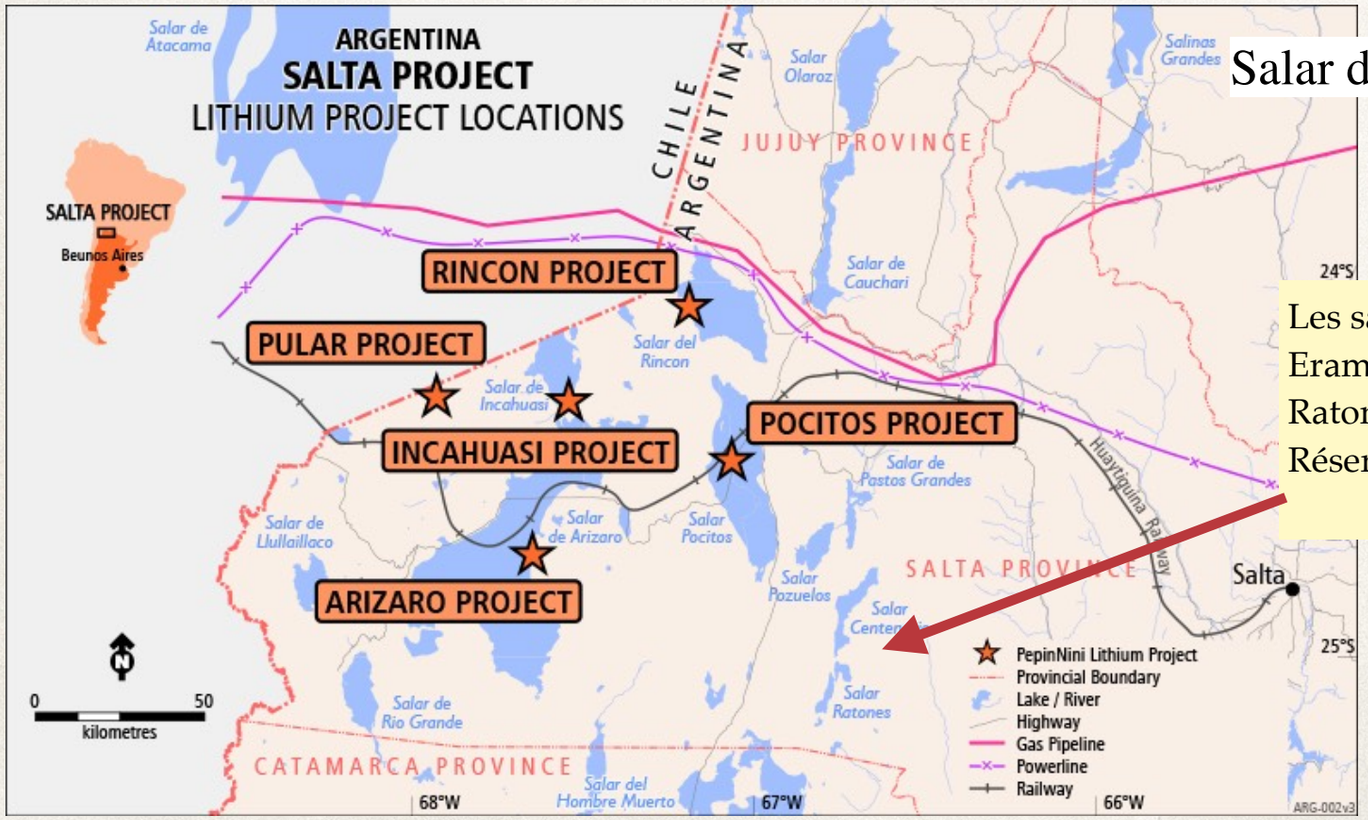


Le Salar d'Uyuni est le plus grand au monde

entre en production difficilement, la Bolivie a voulu se passer des occidentaux : 1M€ / 10 ans / 85 t contre 300000 attendues

Paysage désertique de presque 11 000 km² .

9 à 140Mt réserves



Salar de Centenario Ratones (ARGENTINE)

Les salar Argentins

Eramet (France) prospecte sur les salar Centenario et Ratones (altitude 3500 m)

Réserve 20 000 t carbonate de Li. (3,7 t Li)

Lithium extraction

Mines de Greenbushes. (AUSTRALIE)

Lithium

Fonctionnement des batteries au lithium :
La plage de température idéale de recharge se situe entre 0 et 45 °C, avec un optimum à 20°C. En dessous, le lithium se plaque contre les électrodes. Au-dessus, la chaleur produite par le courant de charge s'ajoute à la température de l'élément et augmente la pression interne.

Composé	Formule	Teneur en Li	Correspondances			en Li_2O	en LCE (Lithium Carbonate Equivalent)
Lithium métallique	Li	100%	1 kg	Li	=>	2.15 kg Li_2O	5.32 kg LCE
Carbonate de lithium	Li_2CO_3	18.79%	1 kg	Li_2CO_3	=>	0.40 kg Li_2O	1.00 kg LCE
Oxyde de lithium	Li_2O	46.46%	1 kg	Li_2O	=>	1.00 kg Li_2O	2.47 kg LCE
Hydroxyde de lithium	LiOH	28.98%	1 kg	LiOH	=>	0.62 kg Li_2O	1.54 kg LCE
Hydroxyde de lithium monohydraté	$LiOH.H_2O$	16.54%	1 kg	$LiOH.H_2O$	=>	0.36 kg Li_2O	0.88 kg LCE
Spodumène	$LiAlSi_2O_6$	3.73%	1 kg	spodumène	=>	0.08 kg Li_2O	0.20 kg LCE
Pétalite	$LiAlSi_4O_{10}$	2.27%	1 kg	pétalite	=>	0.05 kg Li_2O	0.12 kg LCE
Lépidolite	$KLi_2AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$	~1.92%	1 kg	lépidolite	=>	~0.04 kg Li_2O	~0.10 kg LCE
Chlorure de lithium	LiCl	16.37%	1 kg	LiCl	=>	0.35 kg Li_2O	0.87 kg LCE
Bromure de lithium	LiBr	7.99%	1 kg	LiBr	=>	0.17 kg Li_2O	0.43 kg LCE
Butyllithium	C_4H_9Li	10.84%	1 kg	C_4H_9Li	=>	0.23 kg Li_2O	0.58 kg LCE

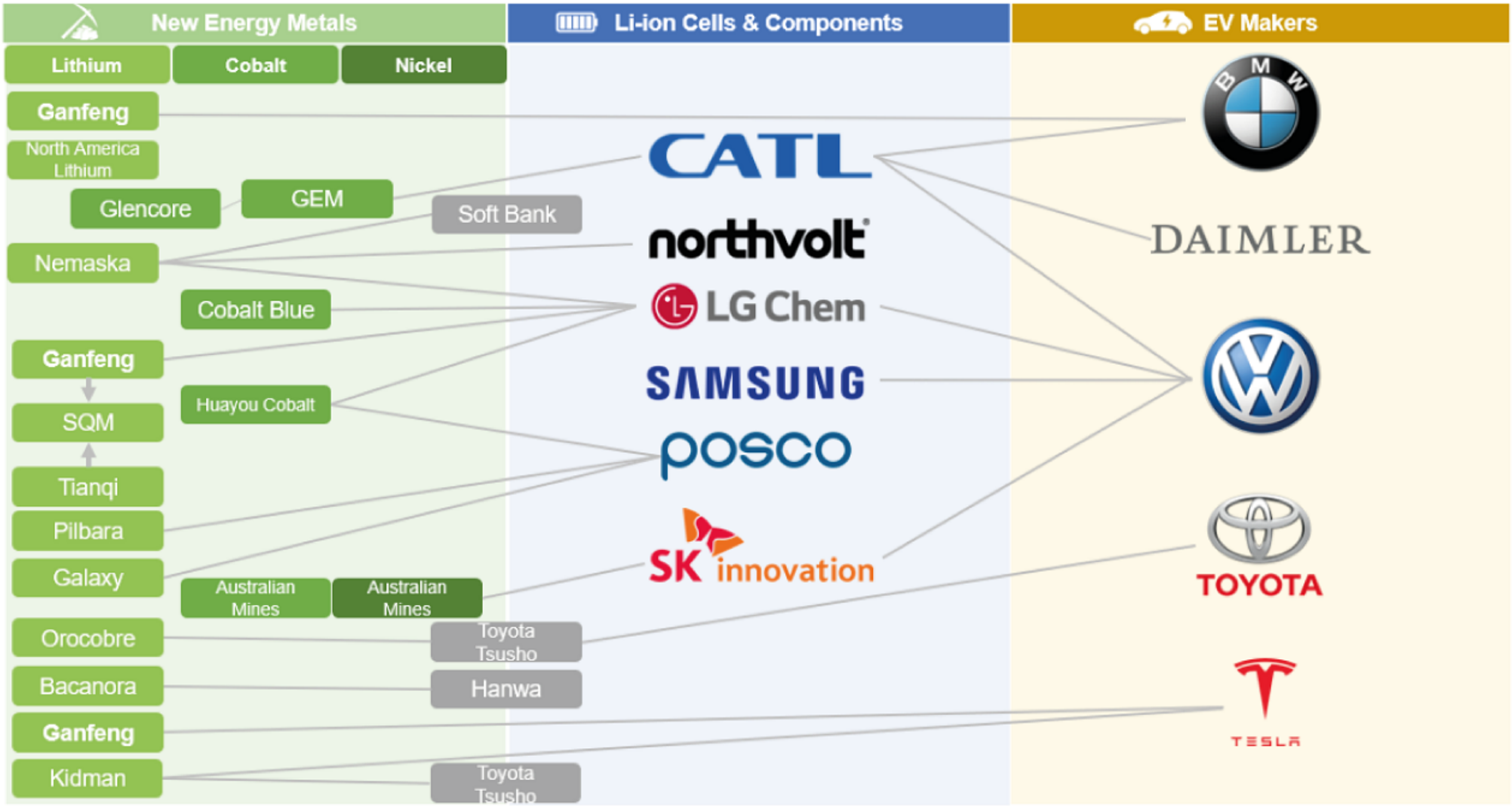
Tableau 4 - Teneur en lithium de certains de ces composés, et correspondances des tonnages en oxyde et en équivalent carbonate de lithium

Les batteries lithium-ion les plus courantes sont composées
d'une électrode positive composée de lithium et d'oxydes de cobalt (**LCO**)
d'une électrode négative constituée de graphite.

Les chercheurs utilisent différents « métaux de transition » ayant la faculté de s'oxyder à la charge et de se réduire à la décharge pour constituer de nouvelles électrodes positives.
Outre les « **LCO** », il en existe actuellement 4 autres grandes familles :
« **NMC** » (nickel-manganèse-cobalt),
« **LFP** » (phosphates de fer lithié),
« **LMO** » (oxydes de manganèse)
« **NCA** » (nickel-cobalt-aluminium), de multiples nuances existant entre ces différents matériaux.

Lithium

Annonces des principaux partenariats sur le marché des batteries lithium-ion en 2018



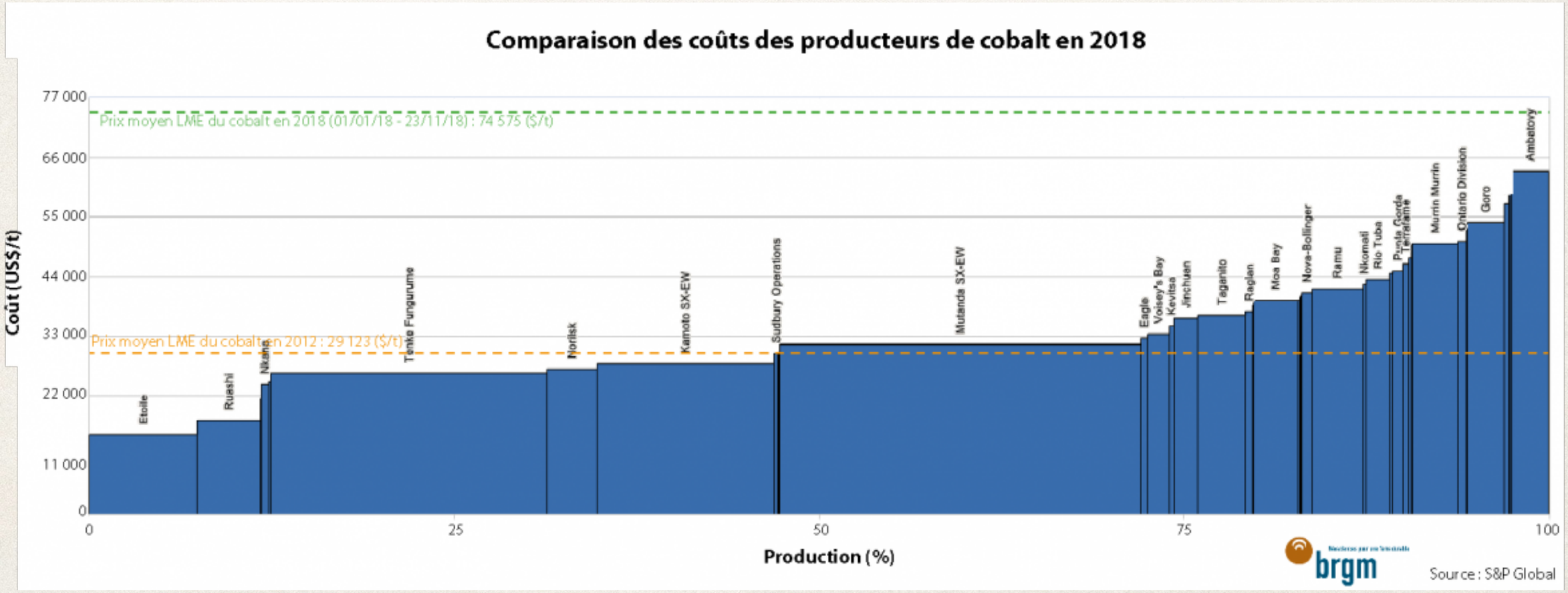
Source : V. Ledoux Pedaille - IHS Markit

Cobalt

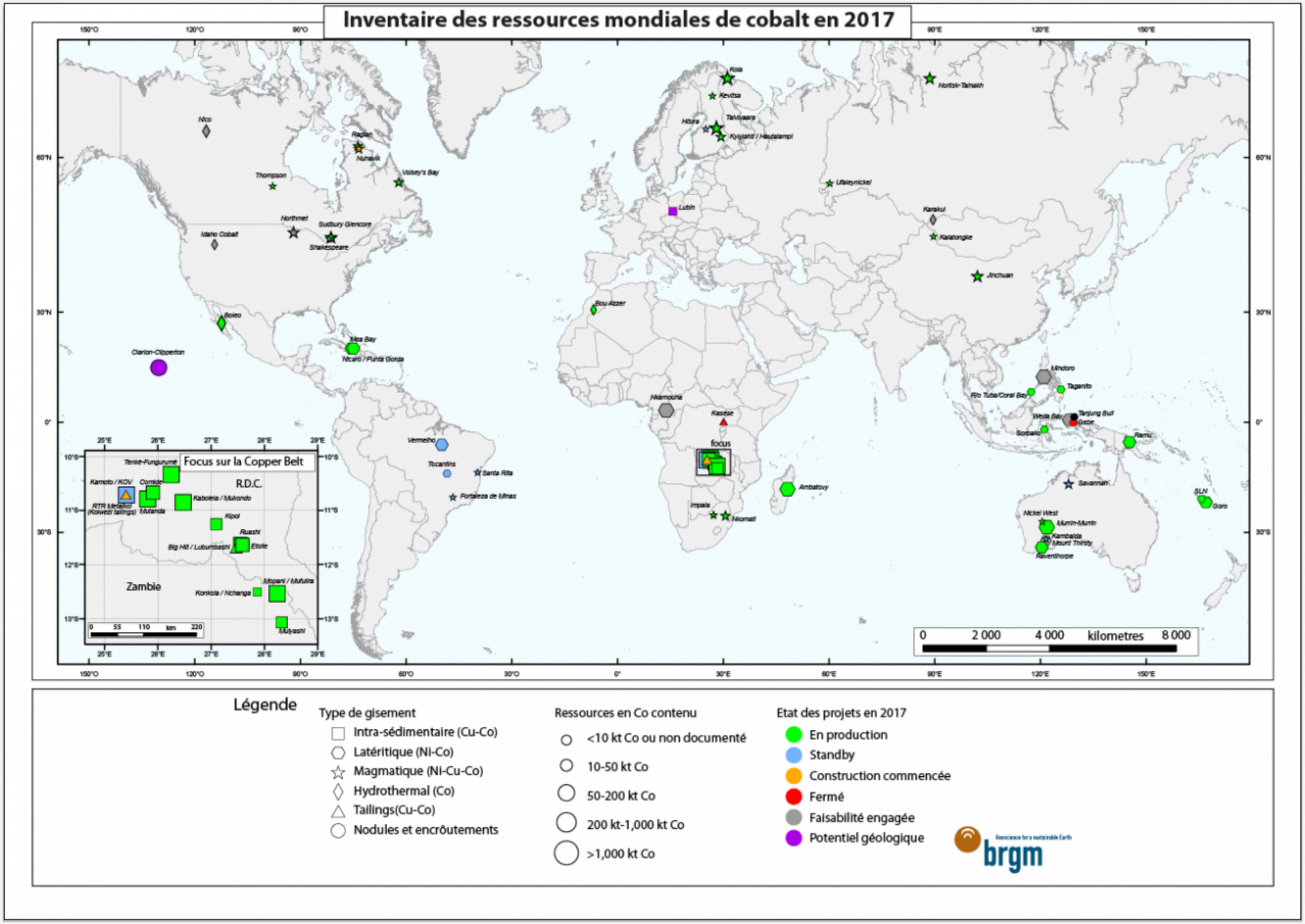
Utilisations du cobalt dans les cathodes de batteries Li-ion

Typologie de la cathode	Chimie	Abréviation	% Co	Caractéristiques et usages préférentiels
Oxyde de Lithium-Cobalt	$LiCoO_2$	LCO	60% en masse	Grande capacité. *Electronique portable (ordinateurs, téléphones, etc.)*
Oxyde de Nickel-Manganèse-Cobalt	$LiNiMnCoO_2$	NMC	6 à 21% en masse (en fonction de la configuration)	Moindre capacité mais meilleures puissance et durée de vie que les LCO. *Outils portables, vélos et véhicules électriques (ex : Renault Zoé)*
Oxyde de Nickel-Cobalt-Aluminium	$LiNiCoAlO_2$	NCA	9% en masse	Plus grande densité d'énergie et meilleure stabilité thermique. *Stockage d'énergie, véhicules électriques (ex : Tesla Model S)*

brgm



Cobalt

Mine de cobalt en RDC

Ressources : COBALT