

24. Les énergies non-renouvelables

24.6 – Lithium

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

Département de génie mécanique

Valéry J. Bouchard



Plan de la présentation

- Introduction et objectifs
- Le lithium et ses caractéristiques
- Applications
- Risques environnementaux
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- Les batteries lithium-ion
- Le recyclage
- Conclusion

Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs***
- Le lithium et ses caractéristiques
- Applications
- Risques environnementaux
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- Les batteries lithium-ion
- Le recyclage
- Conclusion

Introduction et objectifs

- Les énergies non-renouvelables sont des ressources énergétiques sous formes de substances métallurgiques, minérales ou autres, que l'on retrouve dans la nature en quantité limitée – avec **possibilités limitées ou inexistantes de récupération et de réutilisation** – et qui entrent dans la mise en place de systèmes de production énergétique renouvelable.
- On les retrouvent sous différentes formes tels que le charbon, le pétrole, le nucléaire, le gaz, etc.

Introduction et objectifs

- Mais ce sont des ressources naturelles qui sont directement liées à la production énergétique;
- Il existe d'autres ressources naturelles qui jouent un rôle dans la production et la consommation énergétique;
- Pouvez-vous en nommer quelques unes?



ENR2020

Introduction et objectifs

On en consomme plus que de l'eau ou du pétrole !

Le lithium, ça va de soi!

Tableau périodique des éléments

Groupe → 1 IA 2 IIA
 Période ↓
 ← nom de l'élément
 ← numéro atomique
 ← symbole chimique
 ← masse atomique relative ou celle de l'isotope le plus stable

primordial désintégration d'autres éléments synthétique

Outre ces 13 éléments?

11 des 17 terres rares

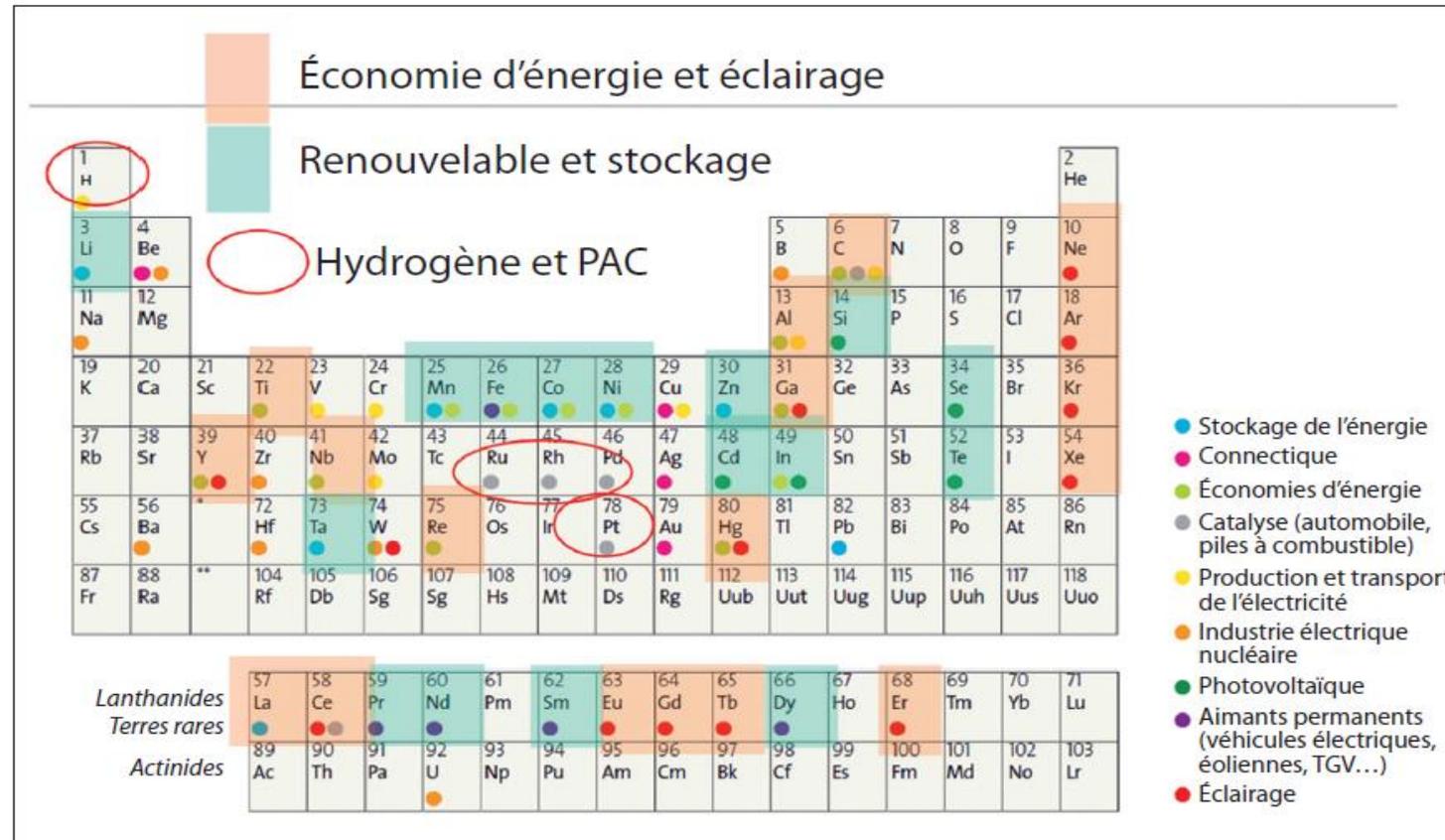
hydrogène 1 H 1,00794	lithium 3 Li 6,941	béryllium 4 Be 9,012182											bore 5 B 10,811	carbone 6 C 12,0107	azote 7 N 14,00674	oxygène 8 O 15,9994	fluor 9 F 18,9984032	néon 10 Ne 20,1797
sodium 11 Na 22,98976928	magnésium 12 Mg 24,3050											aluminium 13 Al 26,9815386	silicium 14 Si 28,0855	phosphore 15 P 30,973762	soufre 16 S 32,066	chlore 17 Cl 35,4527	argon 18 Ar 39,948	
potassium 19 K 39,0983	calcium 20 Ca 40,078	scandium 21 Sc 44,955912	titane 22 Ti 47,867	vanadium 23 V 50,9415	chrome 24 Cr 51,9961	manganèse 25 Mn 54,938045	fer 26 Fe 55,845	cobalt 27 Co 58,933195	nickel 28 Ni 58,6934	cuivre 29 Cu 63,546	zinc 30 Zn 65,39	gallium 31 Ga 69,723	germanium 32 Ge 72,61	arsenic 33 As 74,92160	sélénium 34 Se 78,96	brome 35 Br 79,904	krypton 36 Kr 83,80	
rubidium 37 Rb 85,4678	strontium 38 Sr 87,62	yttrium 39 Y 88,90585	zirconium 40 Zr 91,224	niobium 41 Nb 92,90638	molybdène 42 Mo 95,94	technétium 43 Tc 97,9072	ruthénium 44 Ru 101,07	rhodium 45 Rh 102,90550	palladium 46 Pd 106,42	argent 47 Ag 107,8682	cadmium 48 Cd 112,411	indium 49 In 114,818	étain 50 Sn 118,710	antimoine 51 Sb 121,760	tellure 52 Te 127,60	iode 53 I 126,90447	xénon 54 Xe 131,29	
césium 55 Cs 132,9054519	baryum 56 Ba 137,327	lanthanides 57-71	hafnium 72 Hf 178,49	tantale 73 Ta 180,94788	tungstène 74 W 183,84	rhénium 75 Re 186,207	osmium 76 Os 190,23	iridium 77 Ir 194,217	platine 78 Pt 195,084	or 79 Au 196,966569	mercure 80 Hg 200,59	thallium 81 Tl 204,3833	plomb 82 Pb 207,2	bismuth 83 Bi 208,98040	polonium 84 Po [208,9824]	astate 85 At [209,9871]	radon 86 Rn [222,0176]	
francium 87 Fr [223,0197]	radium 88 Ra [226,0254]	actinides 89-103	rutherfordium 104 Rf [263,1125]	dubnium 105 Db [262,1144]	seaborgium 106 Sg [266,1219]	bohrium 107 Bh [264,1247]	hassium 108 Hs [269,1341]	meitnerium 109 Mt [268,1388]	darmstadtium 110 Ds [272,1463]	roentgenium 111 Rg [272,1535]	copernicium 112 Cn [277]	ununtrium 113 Uut [284]	ununquadium 114 Uuq [289]	ununpentium 115 Uup [288]	ununhexium 116 Uuh [292]	ununseptium 117 Uus [292]	ununoctium 118 Uuo [294]	
			lanthane 57 La 138,90547	cérium 58 Ce 140,116	praseodyme 59 Pr 140,90765	néodyme 60 Nd 144,242	prométhium 61 Pm [144,9127]	samarium 62 Sm 150,36	europium 63 Eu 151,964	gadolinium 64 Gd 157,25	terbium 65 Tb 158,92535	dysprosium 66 Dy 162,500	holmium 67 Ho 164,93032	erbium 68 Er 167,259	thulium 69 Tm 168,93421	ytterbium 70 Yb 173,04	lutécium 71 Lu 174,967	
			actinium 89 Ac [227,0277]	thorium 90 Th 232,03806	protactinium 91 Pa 231,03588	uranium 92 U 238,02891	neptunium 93 Np [237,0482]	plutonium 94 Pu [244,0642]	américium 95 Am [243,0614]	curium 96 Cm [247,0703]	berkélium 97 Bk [247,0703]	californium 98 Cf [251,0796]	einsteinium 99 Es [252,0830]	fermium 100 Fm [257,0951]	mendélévium 101 Md [258,0984]	nobélium 102 No [259,1011]	lawrencium 103 Lr [262,110]	

Introduction et objectifs

Éléments chimiques mis en œuvre dans différentes technologies du domaine de l'énergie

Goffé, B., Les matériaux stratégiques pour l'énergie

Centre de recherche et d'enseignement des géosciences pour l'environnement (CEREGE), Université d'Aix-Marseille.



Outre ces 13 éléments? Il y en a 41 autres

Introduction et objectifs

- Objectifs:
 - Connaître les caractéristiques et propriétés générales du lithium
 - Être en mesure de nommer quelques domaines d'applications du lithium
 - Connaître les risques environnementaux associés à l'utilisation du lithium
 - Connaître l'avancement technologiques des batteries lithium-ion
 - Comprendre le recyclage des batteries lithium-ion

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Le lithium et ses caractéristiques***
- Applications
- Risques environnementaux
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- Les batteries lithium-ion
- Le recyclage
- Conclusion

Le lithium et ses caractéristiques

- Le lithium est un élément du tableau périodique portant le numéro atomique 3 et ayant une densité de 0.534, c'est le plus léger de tous les métaux.
- Il fait partie de la famille des métaux alcalins (première colonne en dessous de l'hydrogène dans le tableau périodique).
- C'est un métal blanc, brillant et assez malléable avec une température de fusion à 180.5°C et d'ébullition à 1330°C.
- Très réactif, le lithium n'existe pas à l'état natif dans le milieu naturel, mais uniquement sous la forme de composés ioniques.

Le lithium et ses caractéristiques - Histoire

- Le lithium provient d'un nouveau sel dans des minéraux de lépidotite, de pétalite et de spodumène en 1800 puis l'analyse de la pétalite en 1817 par Johan August Arfwedson permettra la découverte de ce nouvel élément, le lithium.
- Le lithium sera par la suite isolé par électrolyse d'un oxyde de lithium par William Thomas Brande et Humphry Davy.
- Il tire son nom de «*lithos*», nom grec significant «pierre», puisqu'il a été découvert dans des minéraux.
- La production commerciale de lithium commença en 1923 en Allemagne.

Le lithium et ses caractéristiques



Le lithium et ses caractéristiques

- Propriétés:
 - Métal très réactif notamment avec l'azote
 - **Réaction avec l'eau violente et dangereuse**
 - Inflammable
 - Moyennement abondant dans la croûte terrestre, moins que le nickel et le cuivre
 - **33^e élément le plus abondant sur Terre**
 - Chaleur spécifique et conductivité thermique très élevées
 - Basse viscosité et densité
 - Insoluble avec les hydrocarbures

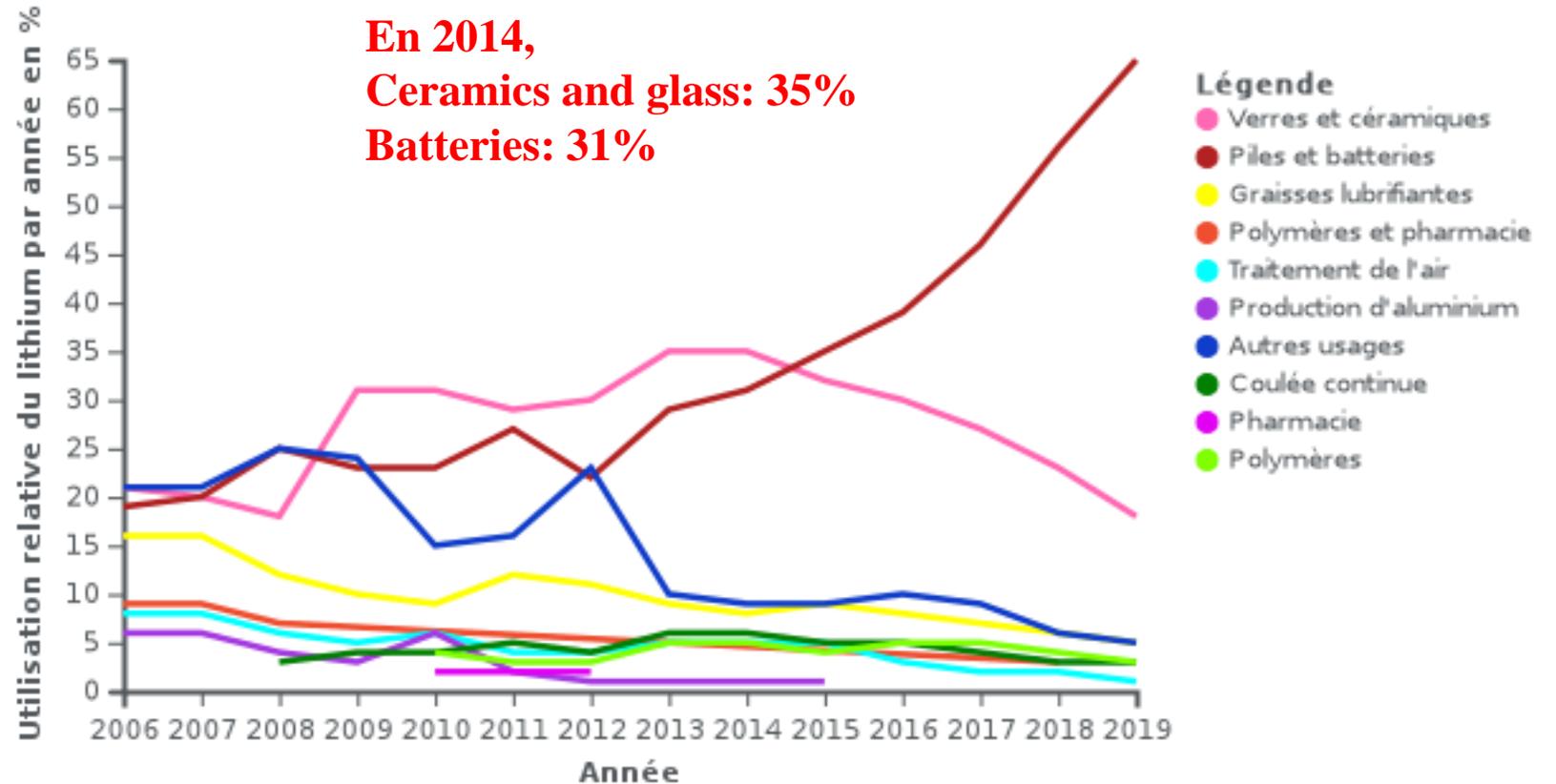
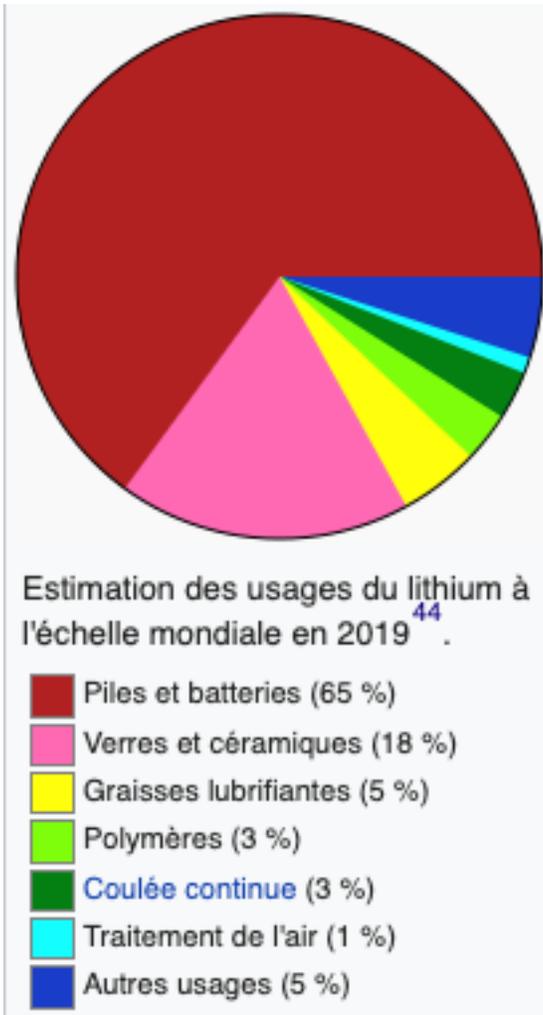
Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Le lithium et ses caractéristiques
- ***Applications***
- Risques environnementaux
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- Les batteries lithium-ion
- Le recyclage
- Conclusion

Applications

À quoi le lithium est-il utilisé ?

Applications



Source: wikipédia

Applications

- **Alcalin** (propriétés : métal léger réactif puissant, énergie d'ionisation faible, potentiel d'oxydoréduction, solubilité)
 - Batteries lithium-ion (anode), densité énergétique
 - Lustrage des porcelaines
 - Piles alcalines (durée de vie)
 - Chimie
 - Soudage (laiton)
 - Aéronautique
 - Alliages légers
 - Pharmacie

Applications

- **Santé :**

- Sels de lithium, comme le carbonate de lithium, le citrate de lithium ou l'orotate de lithium utilisés comme régulateur de l'humeur pour le traitement des **troubles bipolaires** (anciennement psychose maniaco-dépressive).
- Utilisé avec certains **antidépresseurs** tel la fluoxétine pour traiter les **troubles obsessionnels compulsifs**.
- Gluconate de lithium utilisé en dermatologie comme **anti-allergénique** et dans le traitement de la **dermite séborrhéique** du visage chez l'adulte

Applications

- **Autres :**

- Le chlorure de lithium et le bromure de lithium sont extrêmement hygroscopiques et sont utilisés comme **dessiccants**.
- Le lithium est un agent réducteur et/ou complexant utilisé pour la **synthèse de composés organiques**.
- Le lithium est parfois utilisé dans les **verres** et les **céramiques** à faible expansion thermique, comme pour le miroir de 200 pouces du télescope Hale du Mont Palomar45 ; par ailleurs, il a une faible interaction avec les rayons X, les verres au lithium (méta- et tétraborate de lithium) sont donc utilisés pour dissoudre des oxydes (méthode de la perle fondue) en spectrométrie de fluorescence des rayons X.
- Le peroxyde de lithium est employé pour extraire le CO₂ de l'air dans les milieux confinés comme les capsules spatiales et les sous-marins (**traitement de l'air**).

Applications

- Autres (suite):
 - Les organolithiens sont utilisés dans la **synthèse** et la **polymérisation** des élastomères.
 - Les **alliages haute performance** lithium-aluminium (utilisés pour la première fois en France sur le Rafale), cadmium, cuivre et manganèse servent à la fabrication de pièces pour avions.
 - Les sels de lithium sont utilisés pour le **transfert de chaleur par convection**
 - Pour la production de tritium par réaction nucléaire – le tritium est utilisé pour la **fusion nucléaire**.
 - Le lithium est, avec le potassium, un de deux alcalins possédant un isotope fermionique stable, d'où son intérêt pour l'étude des **gaz ultrafroids fermioniques dégénérés**.

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Le lithium et ses caractéristiques
- Applications
- ***Risques environnementaux***
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- Les batteries lithium-ion
- Le recyclage
- Conclusion

Risques environnementaux

- L'extraction nécessite beaucoup d'eau douce dans des endroits désertiques ($\sim 41 \text{ m}^3/\text{tonne}$ de lithium pouvant aller à $1900 \text{ m}^3/\text{tonne}$).
- Réagit avec :
 - L'azote
 - L'oxygène
 - L'eau, très forte réaction (vapeur d'eau dans l'air)
La surface du lithium devient une mixture d'hydroxyde de lithium (LiOH), de carbonate de lithium (Li_2CO_3) et de nitrure de lithium (Li_3N).
L'hydroxyde de lithium présente un risque potentiel significatif car il s'agit d'un composé extrêmement corrosif qui peut s'avérer nocif notamment pour les organismes aquatiques.

Extraction du lithium



Extraction du lithium

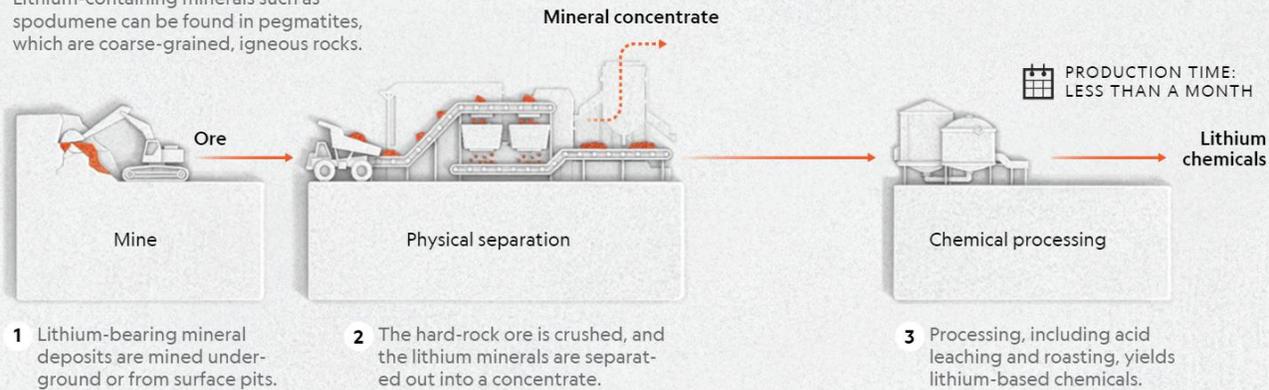
HOW LITHIUM IS EXTRACTED

Lithium can be produced from either hard-rock minerals or brines. Processing lithium from hard rock is faster but expensive; processing it from brines is typically cheaper but takes much longer.

National Geographics, 2019-01-15

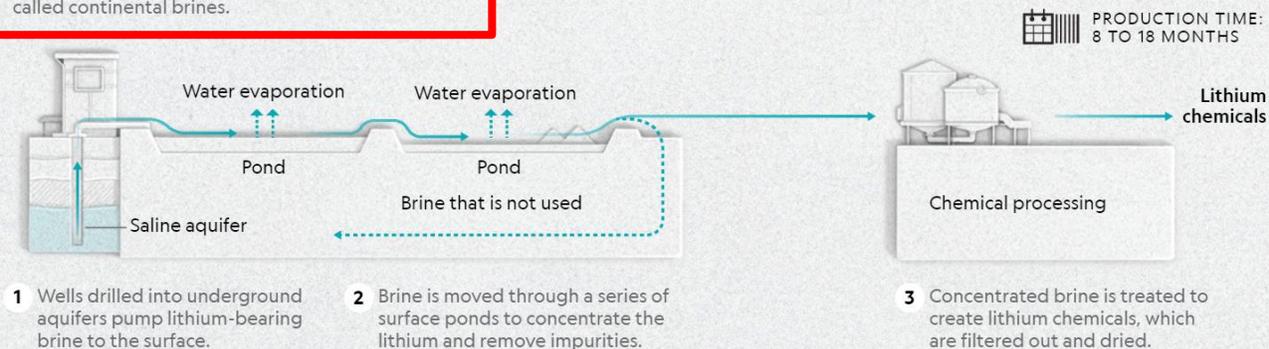
HARD-ROCK MINERALS

Lithium-containing minerals such as spodumene can be found in pegmatites, which are coarse-grained, igneous rocks.



BRINES

Varying concentrations of dissolved lithium are found in underground saltwater solutions called continental brines.



Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Le lithium et ses caractéristiques
- Applications
- Risques environnementaux
- ***Production - ressources mondiales – prix sur le marché***
- Les batteries lithium-ion
- Le recyclage
- Conclusion

Production

- On produit 1.36 kg de lithium/seconde dans le monde soit 43 000T en 2017 essentiellement pour les batteries lithium-ion destinées aux voitures électriques et téléphones portables
- On extrait le lithium de roches de type pegmatites, le plus souvent directement à partir des concentrés miniers. Pour l'obtenir industriellement à l'état métallique, on utilise la technique de **l'électrolyse en sel fondu** (55 % LiCl et 45 % KCl, à 400 °C).

Production - consommation

- En 2019, la production mondiale s'est élevée à 77 000 tonnes (2018: 95 000 tonnes) (2010: 28 100 tonnes hors É-U)
 - 55 % en Australie (42 000T)
 - 23 % au Chili (18 000T)
 - 10 % en Chine (7 500T)
 - 8 % en Argentine (6 400T)
- La consommation mondiale de lithium a atteint 135 000 tonnes en 2016 (+ 40 % depuis 2010), ce qui explique aussi l'envolée du prix de ce nouvel "or blanc" qui a triplé entre 2010 et 2018 et dépasse les 12 000 \$ la tonne.

Réserve mondiale

- Les réserves mondiales de lithium sont estimées en février 2022 par l'United States Geological Survey (USGS) à **22 Mt** (millions de tonnes) (sujet à changement avec la découverte du plus gros gisement mondial au Mexique)
- Les ressources ultimes à **89 Mt**
 - 24 % en Bolivie
 - 21 % en Argentine
 - 11 % au Chili
 - 8 % en Australie
 - 6 % en Chine

Réserve mondiale

- C'est au **Mexique** que le plus grand gisement de minerai contenant du lithium au monde - sous forme d'un salar - a été identifié selon la liste de *Mining Technology*.
- Cette "mine de lithium à ciel ouvert" est située dans le désert de Sonora, à 11 km de la ville de Bacadehuachi dans l'état de Sonora (nord-est du Mexique).
- Les réserves prouvées et probables de la mine sont estimées à 243,8 Mt, contenant **4,5 Mt d'équivalent de carbonate de lithium** (LCE) (8,8 Mt maintenant d'après [Sonora Lithium Project - Overview - Bacanora Lithium](#)). Il s'agit dorénavant du plus important gisement de lithium au monde.

Réserve mondiale

- Ce gisement sera exploité par Bacanora Minerals au **Canada** et Ganfeng Lithium en **Chine** en deux étapes de développement dès 2020 :
 - Cette mine produira 17 500 tonnes par an de carbonate de lithium puis, dans un second temps, 35 000 tonnes par an.
- Cette exploitation minière produira jusqu'à 28 800T/an de sulfate de potassium (K_2SO_4), un engrais minéral.
- À voir : <https://themazatlanpost.com/2019/12/13/video-lithium-is-the-new-oil-of-mexico-one-of-the-largest-deposits-in-the-world-is-in-sonora/>

Réserve mondiale

Pensez-vous que le Québec figure dans le top 10 des plus grands gisements au monde ?

Réserve mondiale

- Les 10 principaux gisements de lithium au monde selon *Mining Technology*

Gisement	Région	Pays	Réserve estimée (en millions de tonnes)
Sonora Lithium Project	Sonora	Mexique	243,8 Mt
Thacker Pass Lithium Project	Humboldt County, Nevada	Etats-Unis	179,8 Mt
Wodgina Lithium Project	Port Hedland	Australie	151,94 Mt
Pilgangoora Lithium-Tantalum Project	Pilbara	Australie	108,2 Mt
Earl Grey Lithium Project	Forestania Greenstone Belt	Australie	94,2 Mt
Greenbushes Lithium Project	Greenbushes	Australie	86,4 Mt
Whabouchi Lithium Project	Quebec	Canada	36,6 Mt
Altura Mining's Pilgangoora Lithium Mine	Pilangoora	Australie	34,2 Mt
Goulamina Lithium Project	Bougouni	Mali	31,2 Mt
Arcadia Lithium Project	Harare	Zimbabwe	26,9 Mt

Les 10 premiers gisements de lithium au monde. Données : Mining Technology

<https://www.notre-planete.info/actualites/52-plus-grand-gisement-lithium-monde>

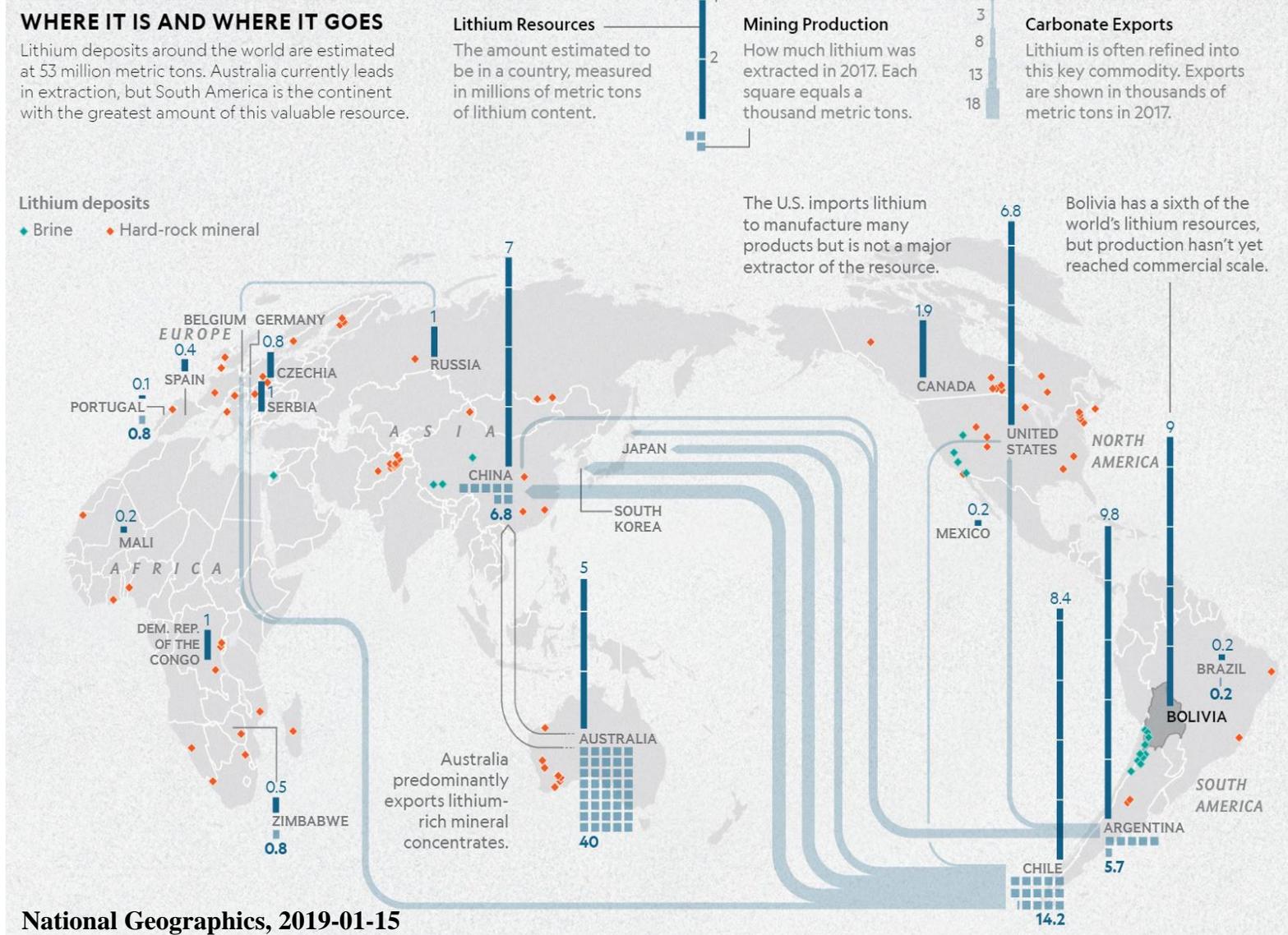
Production, réserve et ressources mondiale

Production minière et réserves de lithium en tonnes⁴⁴

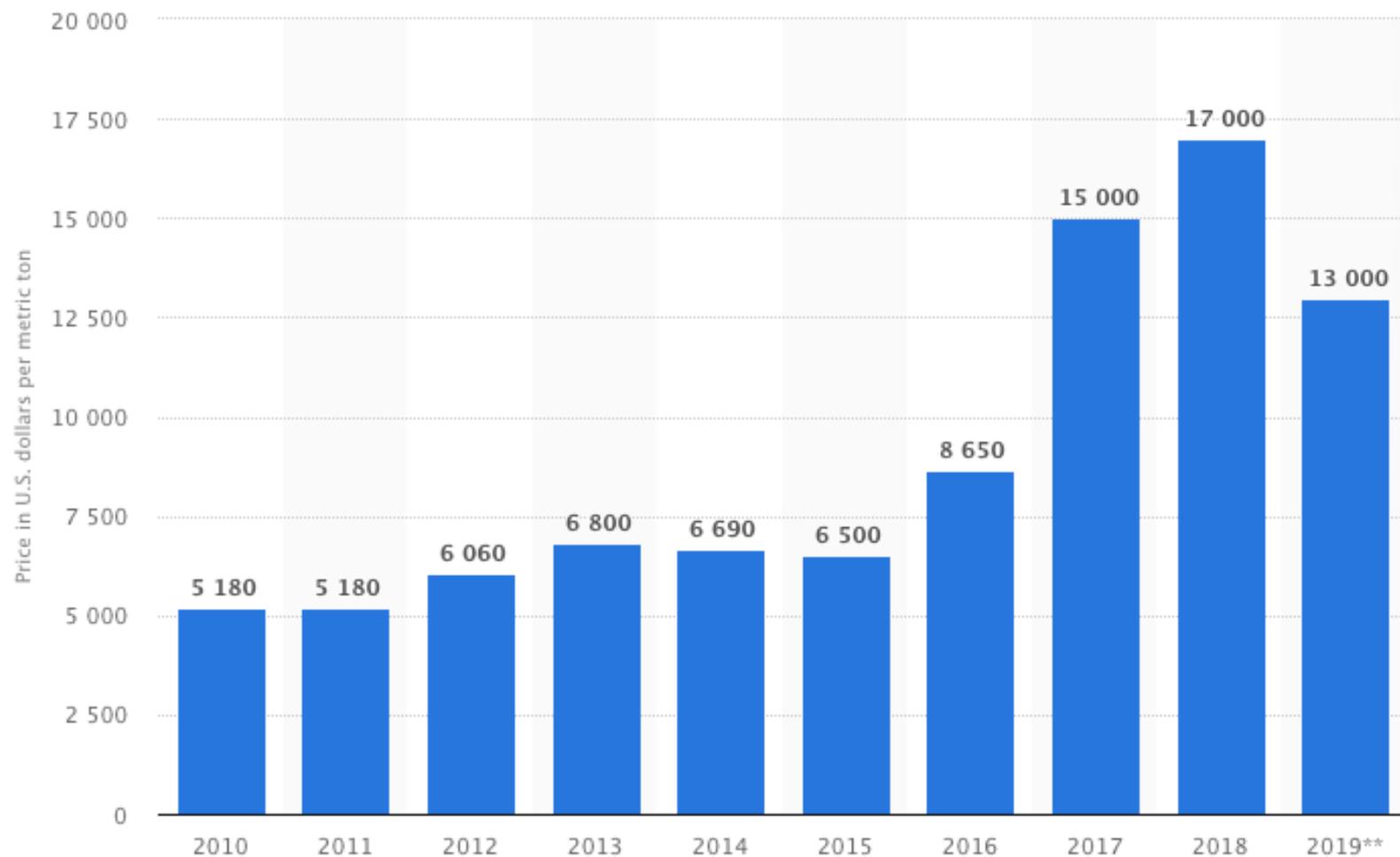
Pays	Production 2018	Production 2019 estimée	Réserves prouvées	Ressources estimées
 Bolivie	nd	nd	nd	21 000 000
 Argentine	6 400	6 400	1 700 000	17 000 000
 Chili	17 000	18 000	8 600 000	9 000 000
 États-Unis ^b	nd	nd	630 000	6 800 000
 Australie	58 800	42 000	2 800 000	6 300 000
 Chine	7 100	7 500	1 000 000	4 500 000
 République démocratique du Congo	nd	nd	nd	3 000 000
 Allemagne	nd	nd	nd	2 500 000
 Canada	2 400	200	370 000	1 700 000
 Mexique	nd	nd	nd	1 700 000
 République tchèque ⁴⁵	nd	nd	nd	1 300 000
 Mali	nd	nd	nd	1 000 000
 Russie	nd	nd	nd	1 000 000
 Serbie	nd	nd	nd	1 000 000
 Zimbabwe	1 600	1 600	230 000	540 000
 Brésil	300	300	95 000	400 000
 Espagne	nd	nd	nd	300 000
 Portugal	800	1 200	60 000	250 000
Total mondial	95 000	77 000	17 000 000	80 000 000

Source: wikipédia, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lithium#Abondance>

Importation - Exportation



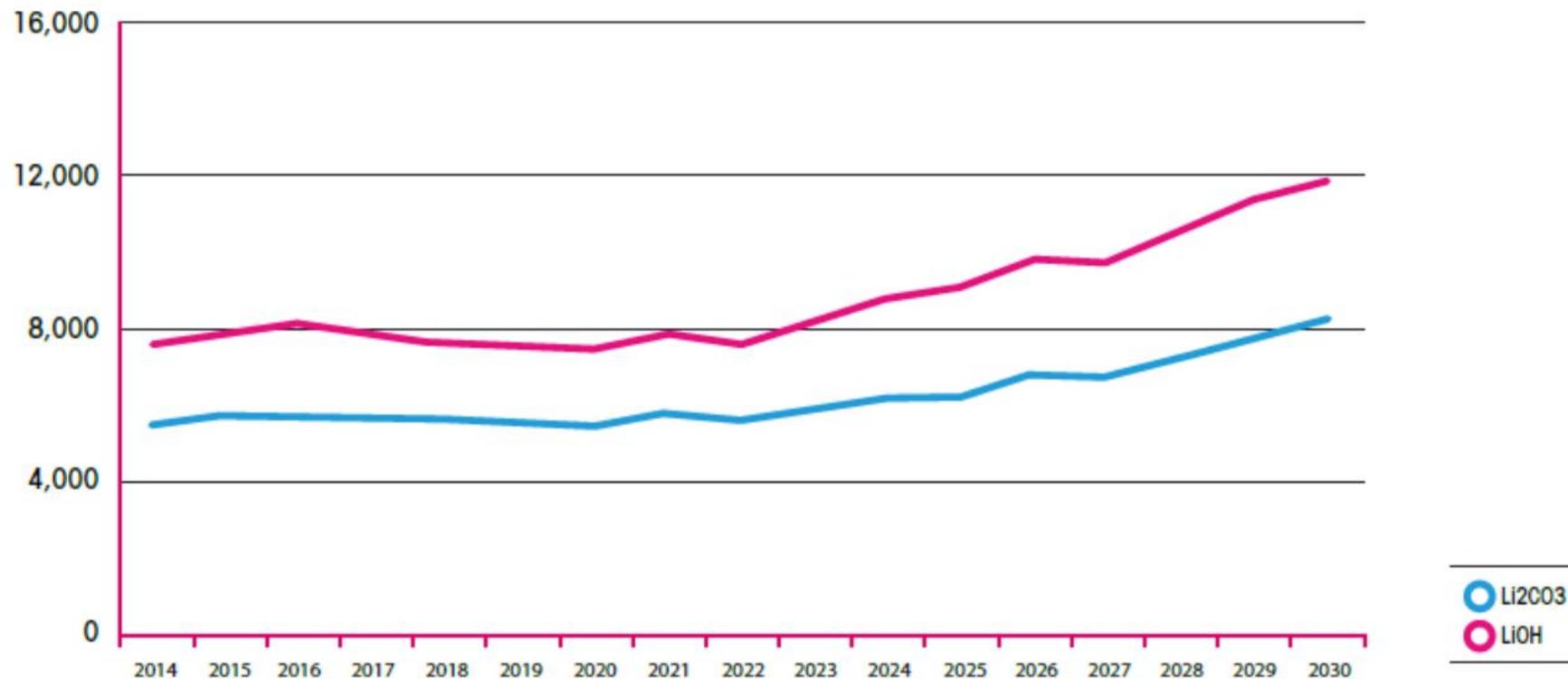
Prix sur le marché



© Statista 2

Prix sur le marché - évolution

30 Lithium carbonate and hydroxide prices - Forecast US\$/ton



Source: signumBOX estimates.

Prix sur le marché

- Le carbonate de lithium (99,5% de Li_2CO_3) pour les batteries: 12-14\$/kg
- L'hydroxyde de lithium (56,5% de LiOH , H_2O): 15-17 \$/kg
- Le minerai de spodumène (5-6% de Li_2): 600-750\$/T (Fast markets)
- En Chine, les prix ont baissé de 24 750\$/T en mars 2018 pour atteindre 13 000\$ août 2018. Benchmark Mineral Intelligence (BMI).

Le lithium au Québec

- Au Québec, on trouve quatre projets miniers rendus à l'étape de la mise en valeur et du développement :
 - Québec Lithium (RB Energy), située à La Corne, près de Amos, en Abitibi. Ce projet a interrompu ses activités ; son promoteur est à la recherche de financement ;
 - Authier, (Glen Eagle Resources Inc.) située au nord-ouest de Val-d'Or ;
 - Rose Tantalum-Lithium (Corporation Éléments Critiques), située en Jamésie;
 - Whabouchi (Nemaska Lithium Inc.) également situé en Jamésie.

Le Québec est en voie de devenir un producteur de lithium qui servira notamment à produire des batteries au lithium, très utiles, par exemple, dans l'électrification des transports. Un dossier à suivre à coup sûr !

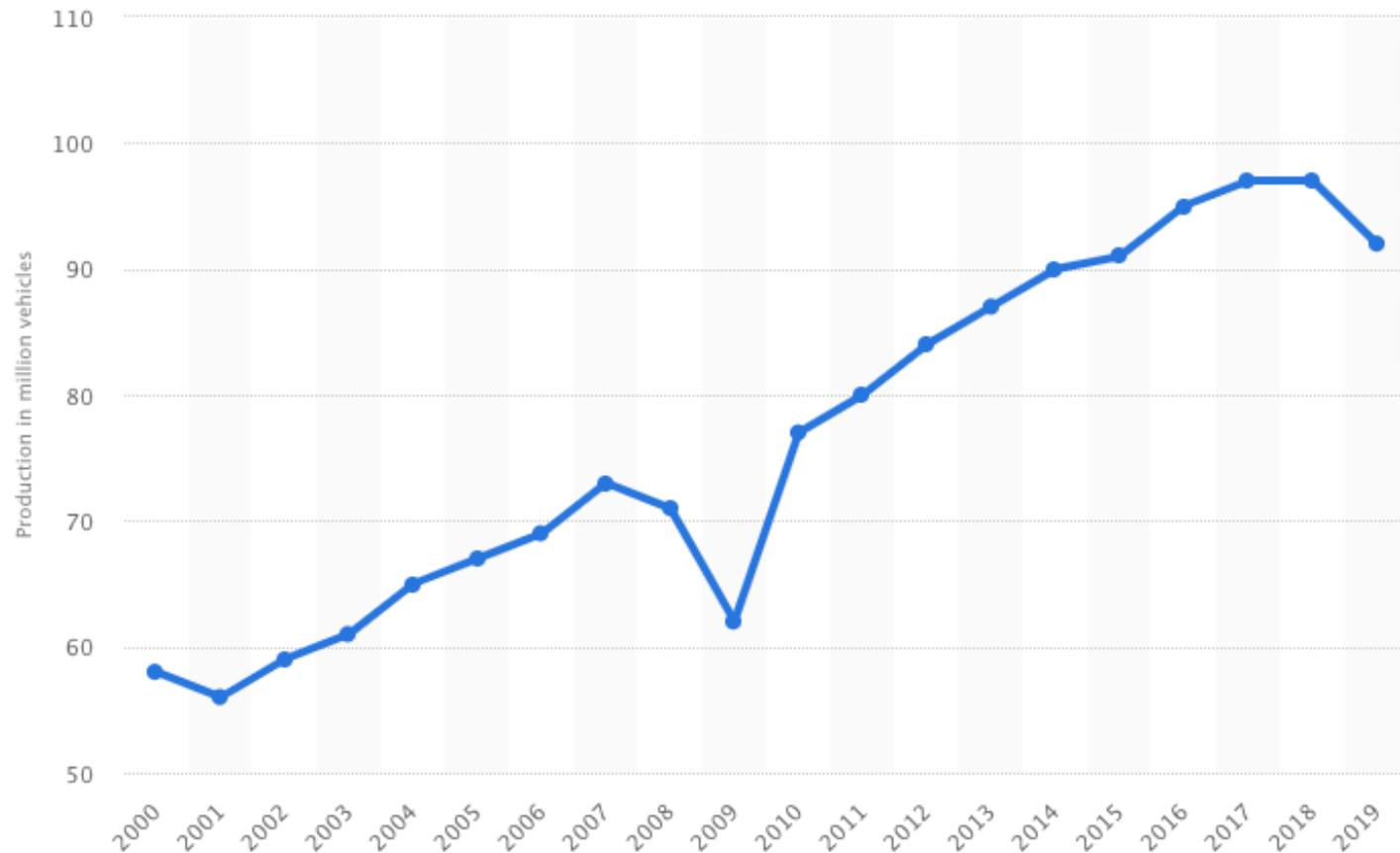
Source: <http://minesqc.com/blogue/150-utilisations-du-lithium/>

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Le lithium et ses caractéristiques
- Applications
- Risques environnementaux
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- ***Les batteries lithium-ion***
- Le recyclage
- Conclusion

La production de véhicules - mondiale

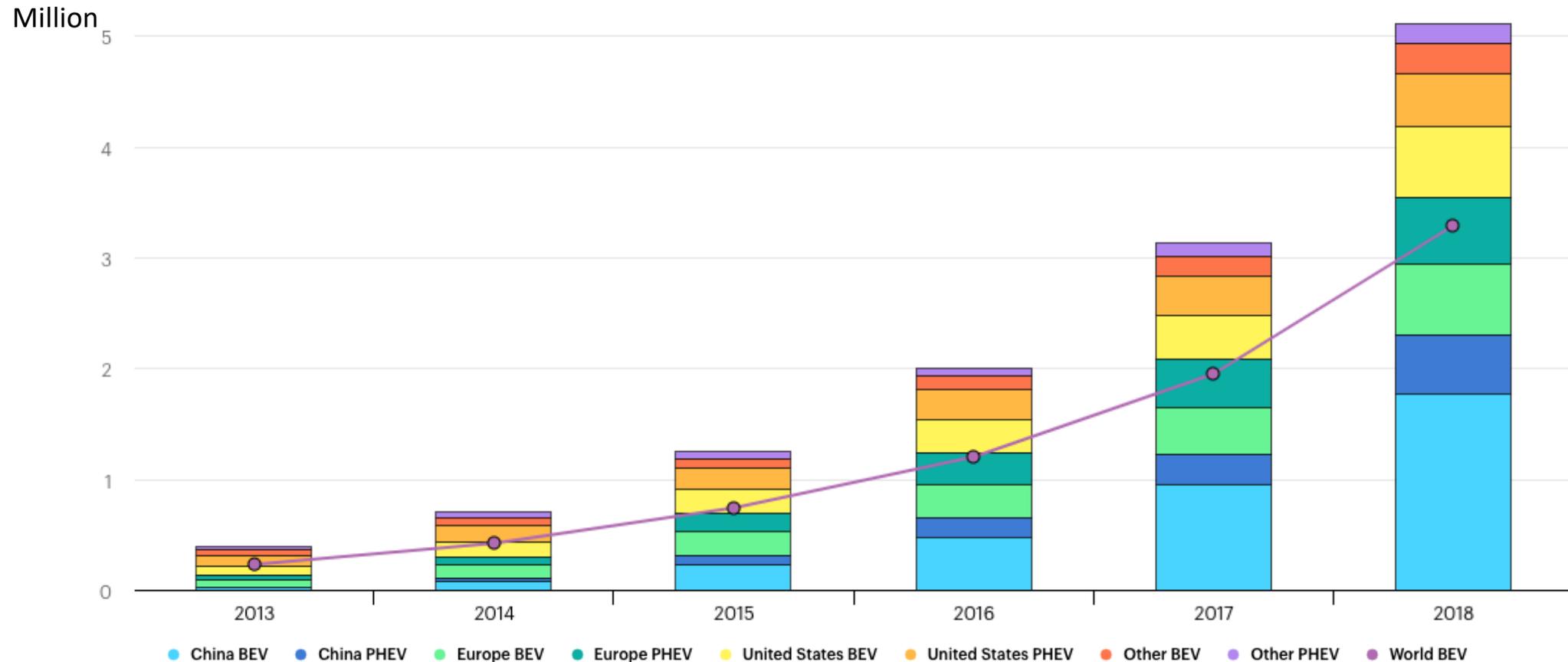
Estimation mondiale de la production d'automobile de 2000 à 2019



Source: statista 2020

La production de véhicules électriques - mondiale

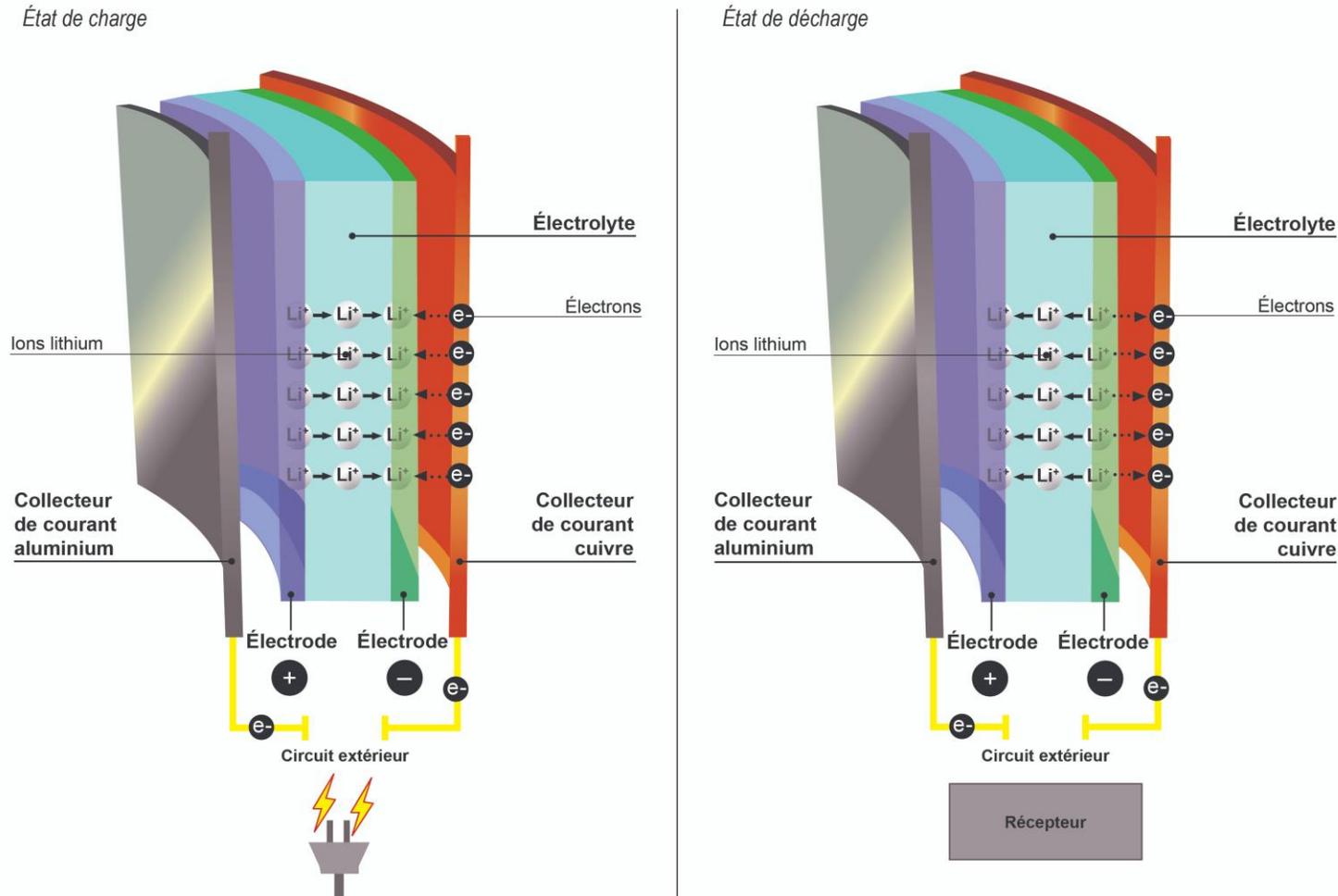
- Les véhicules électriques



Source: IEA 2019, Electric car deployment in selected countries, 2013-2018

Les batteries lithium-ions - compositions

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE LITHIUM-ION



La batterie lithium-ion est basée sur l'échange réversible de l'ion lithium entre une **électrode positive** (dioxyde de cobalt ou manganèse) et une **électrode négative** en graphite.

Les batteries lithium-ions - compositions

- L'emploi d'un **électrolyte** aprotique (un sel LiPF_6 dissous dans un mélange de carbonate d'éthylène, de carbonate de propylène ou de tétrahydrofurane) est obligatoire pour éviter de dégrader les électrodes très réactives.
- L'ensemble des électrodes et de l'électrolyte est placé entre deux collecteurs de courant généralement composés d'**aluminium** et de **cuivre**.

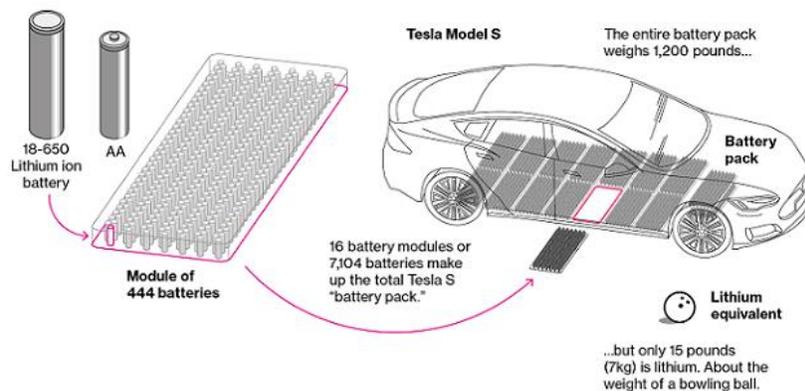
Les batteries lithium-ions - compositions

Élément	Masse (kg) par batterie	Désignation	Electrode positive	Electrode négative
Lithium	0,17	LMO-G	LiMn_2O_4	Graphite
	0,64	LMO-TiO	$\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Cobalt	0	LMO	LiMn_2O_4	les deux
	0,43	NCA-G	$\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$	Graphite
Manganèse	0	NCA-G	$\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$	Graphite
	4,59	LMO-TiO	LiMn_2O_4	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Nickel	0	LMO	LiMn_2O_4	les deux
	2,30	NCA-G	$\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$	Graphite

Quantité de métaux dans les technologies de batteries de type Li-ion actuellement développées [17]

Les batteries lithium-ion

- Durabilité
 - Perte de 6% sur 320 000 km pour une Tesla S
 - Dans l'hypothèse conservatrice d'un groupe motopropulseur capable de résister à 600 000 miles et d'une batterie à 300 000 miles, soit un seul changement de batterie, alors le coût kilométrique global des A-EV (voitures électriques autonomes), à partir de 2020, sera 10 fois inférieur à celui des voitures thermiques classiques.



Les batteries lithium-ion

- Densité de l'énergie

Une batterie Tesla consomme aujourd'hui 0.8 kg de Lithium par kWh de stockage et ce sera 0.6 kg en 2030 -- Source: Techniques de l'ingénieur

Calculated Lithium Required per Battery Pack
(kg contained Li)*

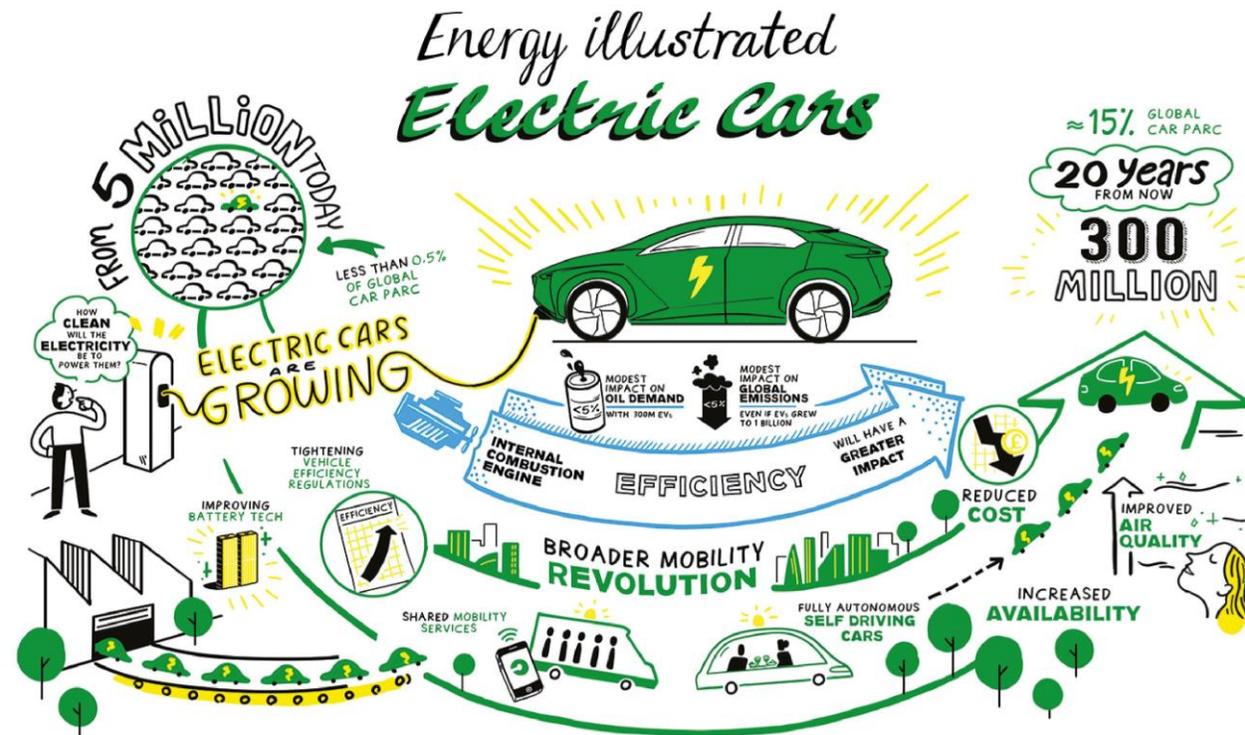
Battery Type	NCA-G				LFP-G				LMO-G				LMO-TiO			
Vehicle range (mi) at 300 Wh/mile	4	20	40	100	4	20	40	100	4	20	40	100	4	20	40	100
Li in cathode (kg)	0.34	1.4	2.8	6.9	0.20	0.80	1.6	4.0	0.15	0.59	1.18	3.0	0.29	1.2	2.3	5.8
Li in electrolyte (kg)	0.04	0.10	0.20	0.55	0.045	0.14	0.26	0.66	0.03	0.09	0.17	0.43	0.05	0.17	0.34	0.85
Li in anode (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	1.21	2.4	6.1
Total Li in battery pack (kg)	0.37	1.5	3.0	7.4	0.24	0.93	1.9	4.7	0.17	0.67	1.4	3.4	0.64	2.5	5.1	12.7

Argonne National Laboratory (2019)

Pour parcourir
160 km, il faut une
batterie 30 kWh
qui contient :
7,4 ou 4,7 ou 3,4
ou 12,7 kg de
Lithium mais 30 x
0,6 kg/kWh = 18 kg

Les batteries lithium-ion

- Perspectives de développement des voitures électriques :
 - BP Energy Illustrated : [Episode 2. Electric Cars](#)



bp.com/energyillustrated

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Le lithium et ses caractéristiques
- Applications
- Risques environnementaux
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- Les batteries lithium-ion
- ***Le recyclage***
- Conclusion

Le recyclage

- Le lithium des piles et batteries est longtemps resté peu recyclé en raison du faible taux de collecte, des prix bas et volatils du lithium sur les marchés, et de coûts réputés élevés du recyclage, comparés à ceux de la production primaire.
- La première usine de recyclage de lithium métal et de batteries lithium-ion fonctionne depuis 1992 en Colombie-Britannique, au Canada.
- Aux États-Unis, une usine de recyclage de batteries lithium-ion de véhicules électriques fonctionne depuis 2015 à Lancaster, Ohio.

Le recyclage

- Extraire les batteries de leur logement (pour échange standard, pour recyclage ou en fin de vie du véhicule) peut s'avérer dangereux à différents niveaux.
- Si l'électrolyte et les cathodes (nickel et cobalt) ne sont pas entièrement et proprement récupérés, ils sont susceptibles de polluer.

Le recyclage

Méthodes de recyclage

1. Pyrometallurgie
2. Hydrometallurgie
3. Direct cathode recycling

Le recyclage - pyroméallurgie

- Procédé métallurgique thermique qui mène à des alliages fins de cobalt, cuivre, fer, nickel et zinc et à des résidus concentrant les terres rares, l'aluminium, le calcium, le lithium, et le manganèse.
- Ce procédé est notamment utilisé pour la récupération des métaux utilisés dans les piles, mais aussi pour le cuivre (procédé Mitsubishi) et le nickel lorsque les minerais comportent beaucoup de soufre.

Le recyclage - pyrométallurgie

Le procédé est constitué de 3 étapes :

1. Un traitement thermique pour homogénéiser la source de métal (grillage)
2. Réaction chimique (oxydation) permettant la séparation
3. L'affinage

Suivi d'opérations d'hydrométallurgie pour récupérer successivement le cuivre, puis le zinc et le fer, et enfin le cobalt et le nickel, qui peuvent être utilisés pour reformer les électrodes positives des batteries NiMH ou Li-ion de type NCA (voir figure ci-dessous).

Le recyclage - pyrométallurgie

Schéma des opérations du recyclage des batteries NIMH et Li-Ion par pyrométallurgie (Umicore)



Pour une tonne de batteries entrant dans le procédé de recyclage, l'étape de smelting, comprenant le nettoyage des gaz, consomme 5000 MJ

Le recyclage - hydrométallurgie

- L'hydrométallurgie est un traitement des métaux par voie liquide.
- Elle consiste à mettre en solution les différents métaux contenus dans un minerai ou un concentré afin de les séparer pour les valoriser.
- Les procédés hydrométallurgiques permettent d'obtenir des degrés de **pureté** des métaux que les autres procédés métallurgiques, tels que la pyrométallurgie, ne permettent pas d'obtenir. Ils ont aussi l'avantage d'être **moins énergivores**.

Le recyclage - hydrométallurgie

L'hydrométallurgie est composé des opérations suivantes :

- Lixiviation ou dissolution : mise en solution des différents métaux
- Purification : séparation des différents métaux/constituants entre eux
- Électrolyse : récupération du métal voulu sous forme métallique

Le recyclage - hydrométallurgie



Le recyclage - hydrométallurgie

- Lithion
 - Compagnie Québécoise ayant mis au point un procédé efficace basé sur l'hydrométallurgie qui revalorise à un taux de 95% les batteries de voitures électriques lithium-ion et les piles au lithium, permettant d'utiliser les constituants pour la conception de nouvelles batteries. Favorisant l'économie circulaire.
 - Un financement de 4,8\$ millions est accordé par le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles.
 - L'usine pilote aura une capacité de 200 tonnes de batteries lithium-ions par an, soit 300 à 650 batteries, la plaçant au premier rang mondial de recyclage de batterie.

<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1425861/recyclage-lithion-gouvernement-jonatan-julien-annonce>

Le recyclage - hydrométallurgie

- Lithion

- Par exemple, un constructeur comme Nissan, utilise les vieilles batteries de Nissan Leaf comme batteries stationnaires. [...] Ils en font des "packs" de batteries superposées et ils envoient ça dans des régions qui sont hors réseau, un peu partout dans le monde, explique Daniel Breton.
- Rechargées à l'aide de l'énergie solaire, éolienne ou encore de génératrices, les batteries stationnaires sont aujourd'hui utilisées pour une foule d'usages comme éclairer des chalets ou de petits bâtiments, ou encore alimenter divers systèmes électriques dans des zones où le réseau électrique ne se rend pas, par exemple dans le Grand Nord ou sur des îles éloignées.

<https://www.youtube.com/watch?v=SR5nx7n3vwY>

Le recyclage - «*direct cathode recycling*»

- La récupération des composants des batteries a fait l'objet de démonstration pilote sur des batteries Li-ion (n'est pas implémentée industriellement).
- Le procédé requiert un flux d'entrée aussi uniforme en composition que possible.

Le recyclage - «*direct cathode recycling*»

Étapes :

1. Extraire l'électrolyte organique par du CO₂ à l'état supercritique pour une réutilisation dans de nouvelles batteries.
2. Les composants sont séparés par une série d'opérations physico-chimiques, de flottation, de flottaison et de filtration.
3. Le matériau constituant l'électrode positive peut nécessiter une étape d'enrichissement en lithium avant d'être utilisé pour de nouvelles batteries.

Le recyclage – «*direct cathode recycling*»

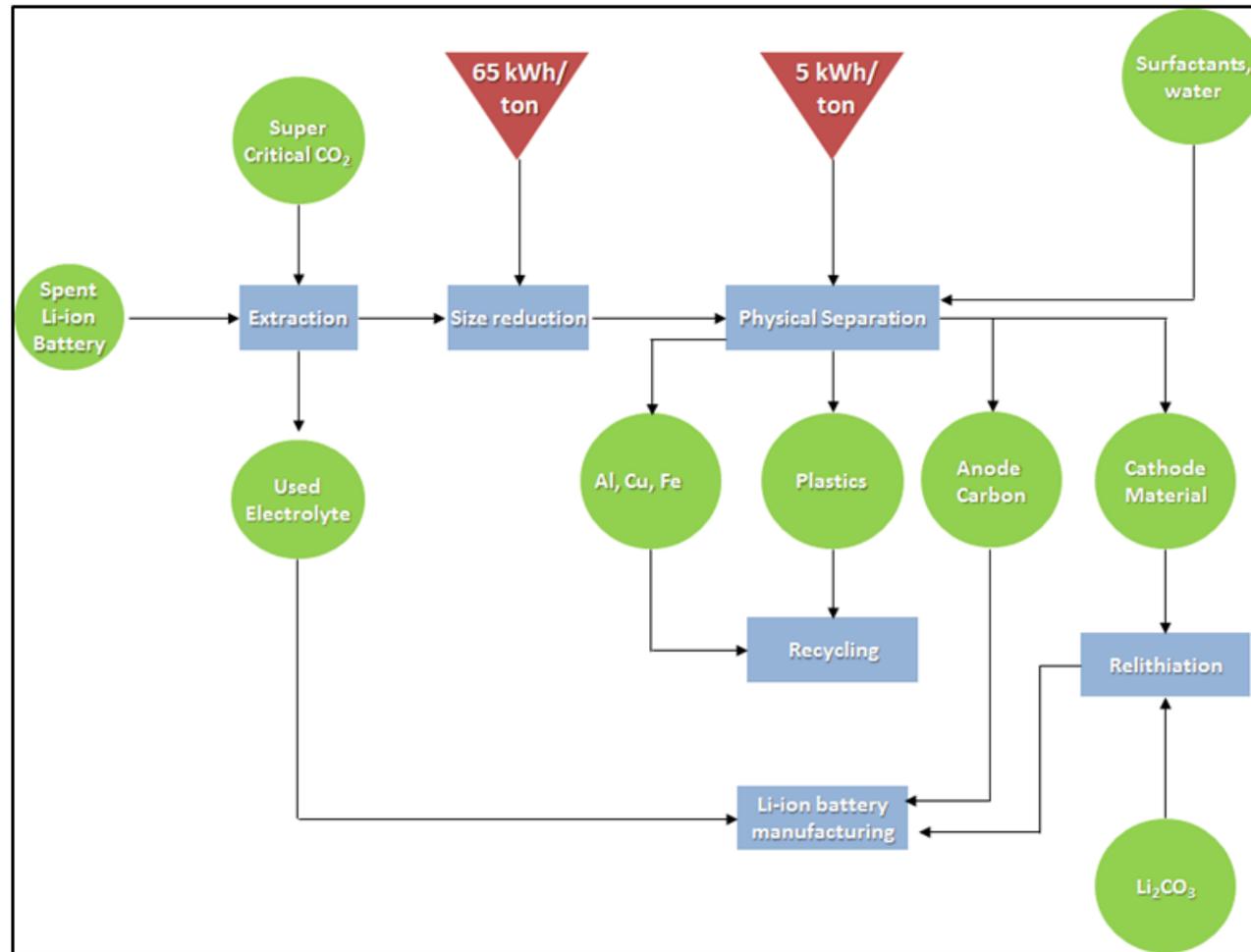


Schéma des opérations de recyclage des batteries Li-ion par récupération des composants [23]

Le cas des voitures électriques

- Au final, une question se pose: à partir de combien d'années d'usage ou de km parcourus une voiture électrique devient-elle plus verte qu'une voiture ordinaire avec moteur à combustion interne
 - a) 1 an à 10 000km/an;
 - b) 2 ans à 10 000km/an;
 - c) 2 ans à 15 000km/an;
 - d) 3 ans à 15 000km/an;
 - e) 5 ans à 15 000km/an.

Le cas des voitures électriques

- Au final, une question se pose: à partir de combien d'années d'usage ou de km parcourus une voiture électrique devient-elle plus verte qu'une voiture ordinaire avec moteur à combustion interne?
 - Le choix d'un véhicule électrique est clairement justifié pour un usager qui fait 25 000 km par année.
 - Ce constat est soutenu par des analyses de cycle de vie qui justifient l'auto électrique, en présumant que les usagers parcourront 250 000 km.
 - Par contre, dans un contexte de changements climatiques, si on achète un véhicule pour faire 250 000 km, est-ce que nous faisons partie de la solution ou du problème ?

Le cas des voitures électriques

- Au final, une question se pose: à partir de combien d'années d'usage ou de km parcourus une voiture électrique devient-elle plus verte qu'une voiture ordinaire avec moteur à combustion interne?
 - Rappelons que ces conseils sont applicables au contexte québécois, avec de l'hydroélectricité.
 - En Alberta, la principale source d'électricité est le charbon. Tant que le charbon sera dominant, un véhicule électrique aura des émissions plus élevées qu'un véhicule conventionnel.
 - Étrangement, le gouvernement fédéral y accorde quand même sa subvention pour véhicule à « zéro émission ».

Le cas des voitures électriques

- Au final, une question se pose: à partir de combien d'années d'usage ou de km parcourus une voiture électrique devient-elle plus verte qu'une voiture ordinaire avec moteur à combustion interne?
 - En Ontario, le gaz naturel est une source importante d'électricité, avec un facteur d'émission environ 40 % moindre que celui du charbon ; dans ce contexte, les hybrides rechargeables auront presque toujours une meilleure performance environnementale que les autos tout électriques.

Le cas des voitures électriques

- Au final, une question se pose: à partir de combien d'années d'usage ou de km parcourus une voiture électrique devient-elle plus verte qu'une voiture ordinaire avec moteur à combustion interne?
 - Fabriquer une auto (sans tenir compte des batteries) émet environ les mêmes GES que la faire rouler à l'essence sur 40 000 km.
 - Souvent, l'achat d'un véhicule électrique se fait en supplément des autres véhicules, et non pas en remplacement. En Amérique, 42 % des ménages qui possèdent une auto électrique sont des ménages à 3, 4 ou 5 véhicules (Zachary Shahan, Clean Technica, 2017).

Le cas des voitures électriques

- Un documentaire sur le lithium
 - La voiture électrique
[Découverte](#), 5 mai 2019
 - Si le coût du lithium a augmenté, celui des batteries a beaucoup chuté.

Question

- Combien faut-il de lithium par (batteries de) voiture électrique?

Question

- Combien faudrait-il de tonnes de lithium pour convertir le parc automobile mondial complet? Une question hautement théorique.

Question

- Combien de temps dureraient les **réserves mondiales totales** de lithium si toutes les nouvelles voitures étaient électriques et dotées de batteries au lithium l'an prochain?
 - On suppose la production mondiale constante sur toute la durée de production et qu'aucun autre gisement ne vient augmenter la réserve. Bref, on fait une simple règle de trois...

Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Le lithium et ses caractéristiques
- Applications
- Risques environnementaux
- Production - ressources mondiales – prix sur le marché
- Les batteries lithium-ion
- Le recyclage
- ***Conclusion***

Conclusion

- Le marché du lithium prendra de l'ampleur dans un futur proche grâce au développement des voitures électriques.
- Les technologies de recyclage des batteries lithium-ion évoluent de plus en plus et ce marché deviendra probablement fructifiant.
- Plus de 95% des constituants sont recyclés et purifiés par une compagnie Québécoise (lithion) pour la réutilisation dans la fabrication de nouvelles batteries.
- Le Québec fait partie des 10 principaux gisements de lithium dans le monde.
- Les réserves de lithium deviennent de vraies mines d'or.
- Le Québec aimerait prendre l'avantage de ses réserves naturelles de lithium pour la fabrication de batterie lithium-ion.



Merci de votre attention !

Lorsque cette capsule de formation est présentée en asynchrone (PDF récupérable sur le site du cours), si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

Période de questions

