

Le lithium

Malédiction ou bénédiction?

Rolf Widmer, Empa - Technology & Society Lab

- Qu'est-ce que le lithium et d'où provient-il? (série de photos, 7 p)
- Pourquoi utiliser le lithium comme accumulateur d'énergie? (bref portrait de l'élément atomique & tournant énergétique, 6 p)
- Quelle est la quantité de lithium existante et dans quelle mesure est-elle suffisante? (modèle à long terme, 3 p)
- Technologie pour la fabrication et l'élimination des batteries lithium-ions (BLI) (2 p)
 - Problème: risque d'incendie
- Bilan écologique des BLI? (ex. de la mobilité, 1 p)
 - Problèmes: comparaison des «poires et des pommes» et «sac à dos écologique»
- Perspectives: (résumé, 1 p)
 - Quel rôle le lithium jouera-t-il / peut-il jouer?

Salar d'Uyuni: plus que du lithium!



La création de valeur ajoutée a commencé...



... du petit



... au



... grand







Talison Lithium Mine, Australie occidentale

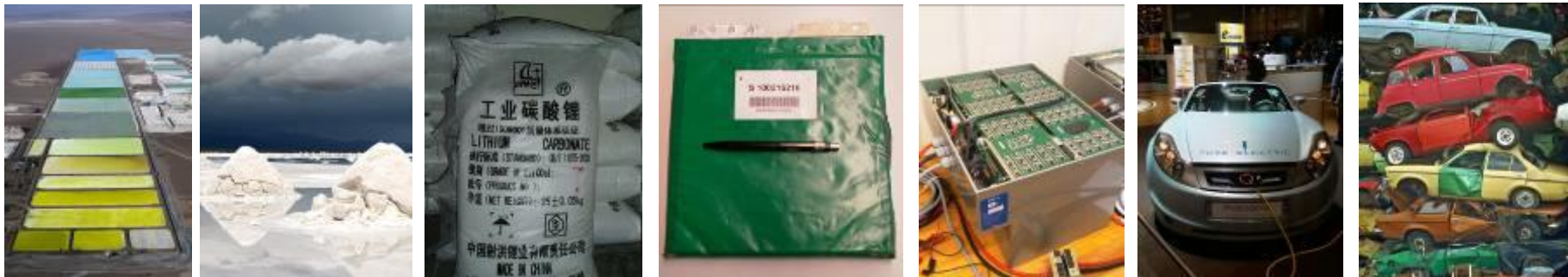
(1/4 environ de la production mondiale)



Overview and location of Greenbushes Operations.

<https://www.gettyimages.ch>, AUS: Operations at the Talison Lithium Mine

Lithium: un élément atomique exceptionnel



1	1	IA	
1	H hydrogen 1.0079	2	IIA
2	3 Li lithium 6.941	4	Be beryllium 9.0122
3	11 Na sodium 22.990	12	Mg magnesium 24.305
		20	

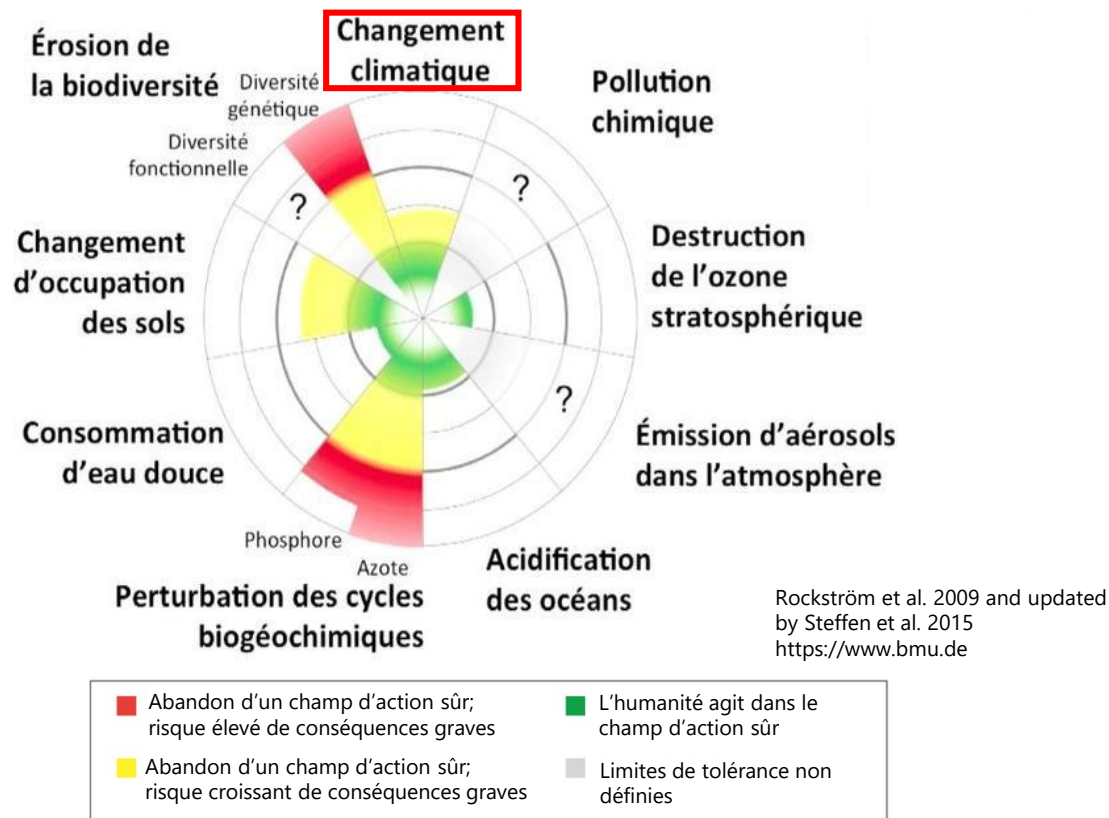
- Le lithium est le plus léger des métaux (densité = 0.543 kg/l)
- Potentiel standard le plus élevé ($E^0 = -3,04$ V)
- Sous sa forme métallique, réagit violemment avec l' O_2 (il brûle!)
- Relativement fréquent (plus répandu que le cuivre dans la croûte terrestre)
- Non toxique (il est utilisé comme médicament)

Pourquoi le lithium est-il un thème important?

The elephant(s) in the room



"9 Frontières planétaires" (Planetary Boundaries)



Roger Braithwaite via NASA

The Terawatt challenge

20 TW

= 20 billions de watts d'énergie électrique

- = 2000 W/cap x 10'000'000'000 cap
- = 1'000 MW/unit x 20'000 unit
- = 1'000 MW/unit x 55 a x 365 unités/a

Richard E. Smalley, Future Global Energy Prosperity: The Terawatt Challenge, 2004
MATERIAL MATTERS, (Nobel price 1996, "Fullerene")

Le lithium: malédiction ou bénédiction? R. Widmer, Battery Forum 2018 @ Olten 4.12.2018



1 GW Ultra Mega Solar Park à Kurnool (Inde) | Telugu News | TV5 News

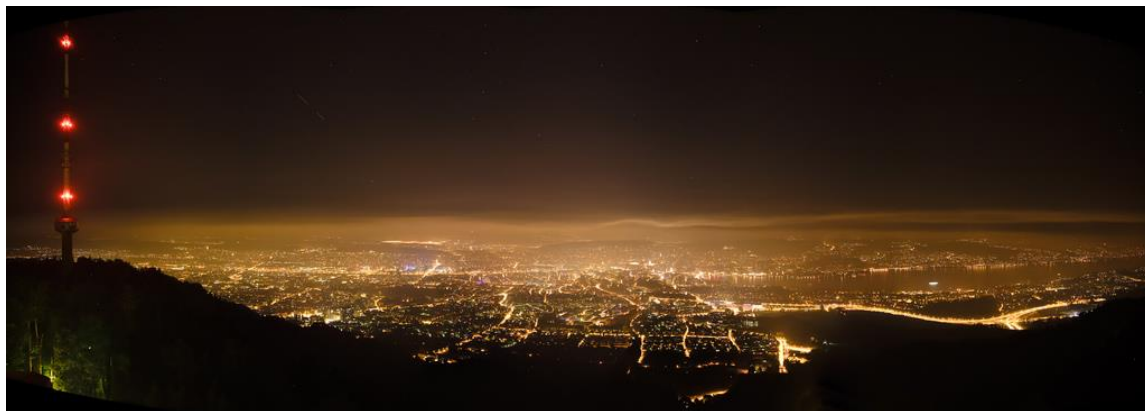
«par personne»
(env. 5000 W en Suisse en 2017)
«centrales gigawatt»
«leur taux d'installation»

Consommation finale d'énergie de la Suisse en 2017

850'000 TJ

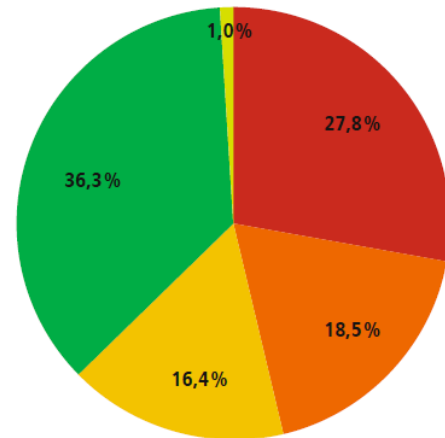
= 236 TWh/a = 236 000 GWh/a

● À titre de comparaison: potentiel technique photovoltaïque de la surface des toitures suisses = 100 000 GWh (dont 1800 GWh utilisés)



Le lithium: malédiction ou bénédiction? R. Widmer, Battery Forum 2018 @ Olten 4.12.2018

Anteil 2017 der vier Sektoren in %
 Parts en 2017 des quatre secteurs en %



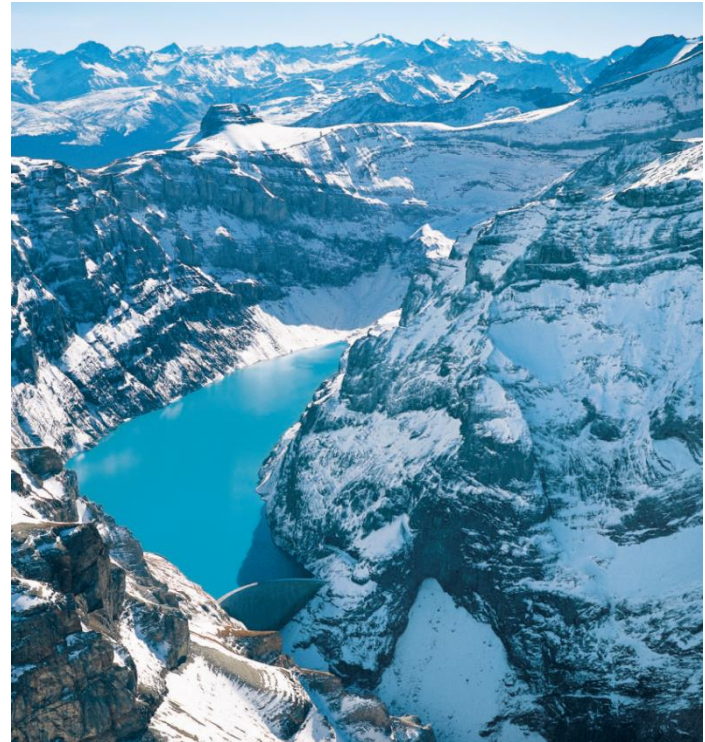
SD Statistische Differenz inklusive Landwirtschaft
 DS Différence statistique y compris l'agriculture

Muttsee: centrale d'accumulation par pompage de Linth - Limmern

Consommation finale d'énergie en Suisse =

5000 remplissages

- Volume d'eau= 25 Mm³
 - Hauteur de chute= 650 m
 - Capacité d'accumulation= 44 GWh
 - Puissance maximale 1,5 GW (alimente notamment SG)
 - Se vide en 30 heures à pleine puissance
 - Coûts environ 50 €/kWh
-
- Grand Dixence accumule 50 fois plus d'énergie
 - Production CH par pompage/accumulation 1'500 GWh
 - Cela représente env. 4% de l'énergie hydraulique suisse



Remplacer le Muttsee par des batteries lithium-ions?

- Capacité d'accumulation identique avec des batteries lithium-ions?

1kWh LIB: LYP300AH LiFePO₄, 306x362x56 mm³, 10 kg, env. 200 g Li

- 10'000 BLI de ce type dans un conteneur de 40'

4'400 conteneurs

= 1 Muttsee (en équivalent énergie)

= 1/100 du Muttsee (en volume)

- 100 véhicules élect. à batteries = 1 conteneur
- 440'000 véh. élect. à batteries = 1 Muttsee
- Cela correspond à 10% de la flotte actuelle suisse de voitures particulières



Les ressources naturelles en lithium suffisent-elles?

- 3 sources:
 - **Saumures dans les lacs salés** (Andes, Chine, Tibet)
 - **Minéraux** dans les roches et les argiles (Australie, Etats-Unis, Chine, Congo, Canada, etc.)
 - **Eau de mer** (extraction directe ou combinée avec le dessalement)



	Ressources en Li identifiées / Mt	Fraction massique / ppm
Lacs salés (brines)	19.3 - 52.3	20 – 1'500
Mines (ores)	10.5 - 11.7	5'100 – 14'000
Mers	224'000	0.17

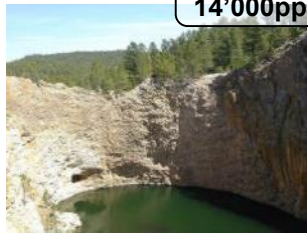
Sources: Yaksic et Tilton 2009, Garret 2004, Evans 2008.

Simulation des gisements et des flux de lithium

(de 2000 à 2200)



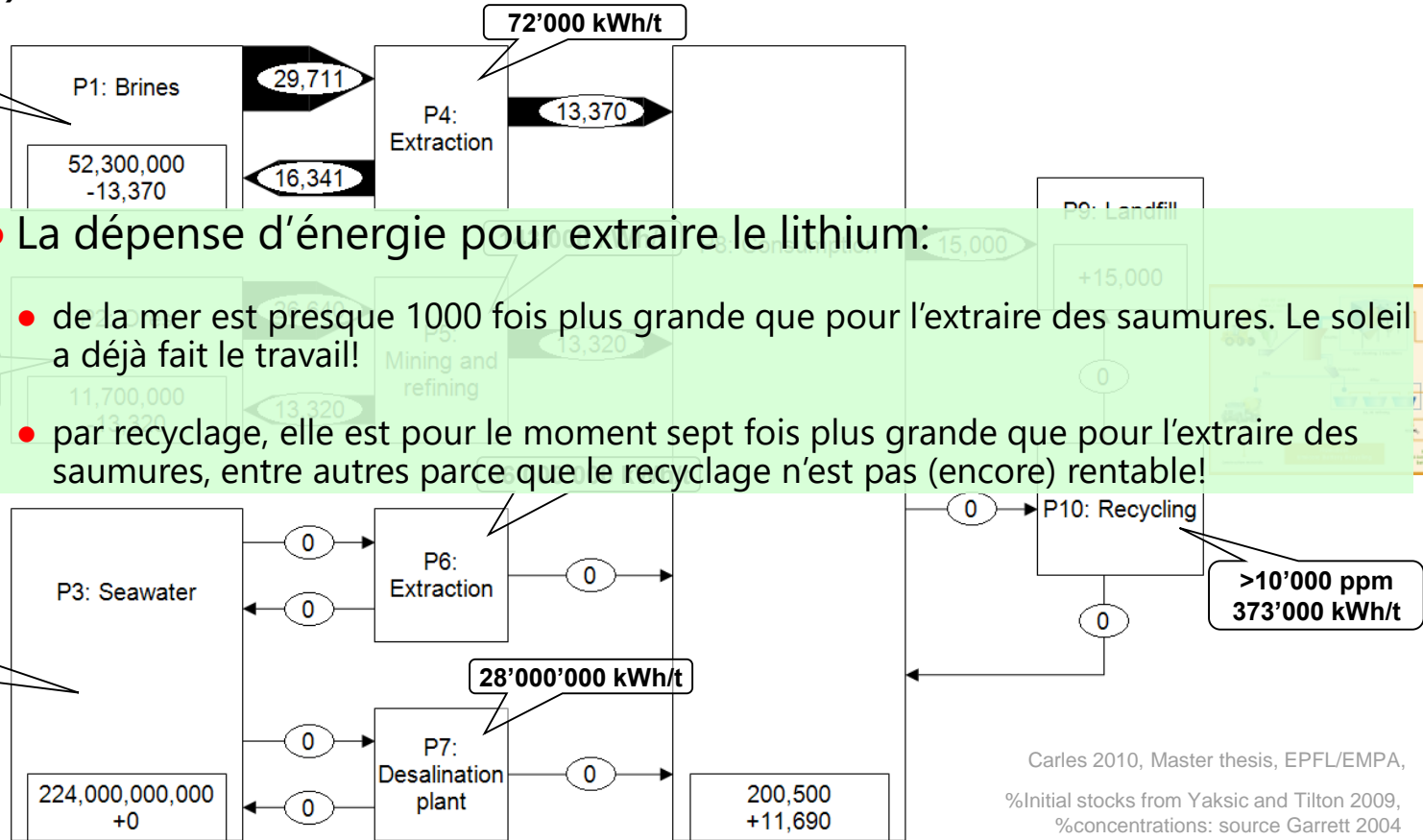
52.3 Mt
1'500ppm



11.7 Mt
14'000ppm



224'000 Mt
0.17ppm



Carles 2010, Master thesis, EPFL/EMPA,
%Initial stocks from Yaksic and Tilton 2009,
%concentrations: source Garrett 2004

Calendrier du glissement des gisements de lithium vers d'autres

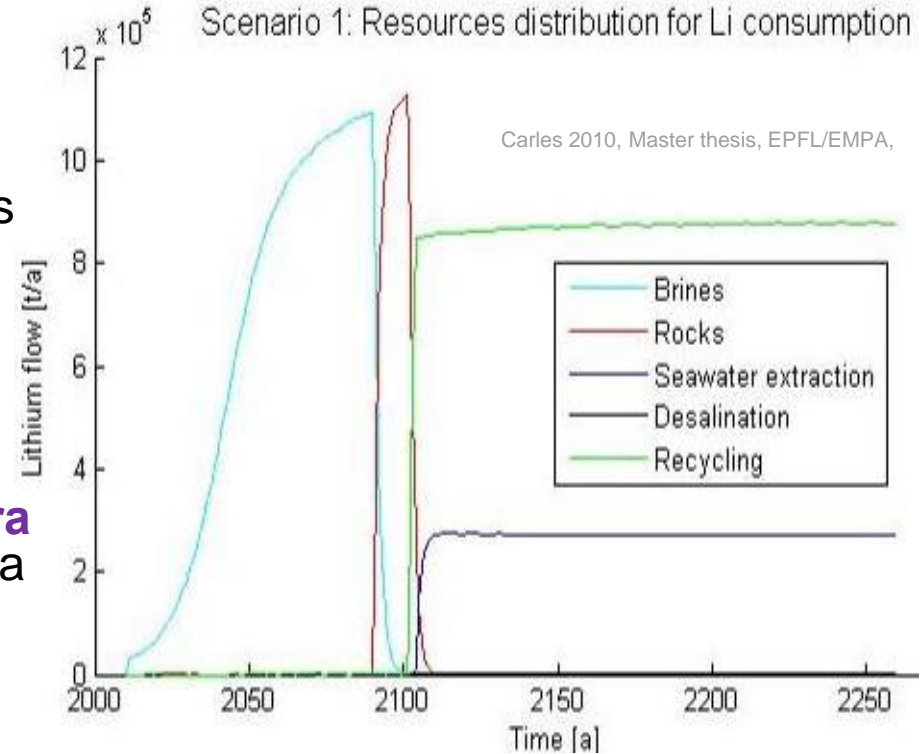
- **Les lacs salés** seront épuisés avant 2100 au rythme d'environ 1,1 mio t/a
- **Les mines** seront aussi épuisées 20 ans plus tard au rythme d'environ 1,1 mio t/a
- **Le recyclage du lithium** commencera après épuisement des lacs et des mines au rythme d'environ 0,9 mio t/a
- **Le lithium de l'eau de mer compensera** les pertes de lithium avec env. 0,3 mio t/a

"base scenario 1": Le flux de lithium est déterminé uniquement à énergie minimale

"OLiEC scenario 2": Un cartel du lithium des producteurs à bas prix

"S-Korean scenario 3": Protection de l'industrie nationale

"Swiss scenario 4": Pionnier des futurs marchés de recyclage high-tech

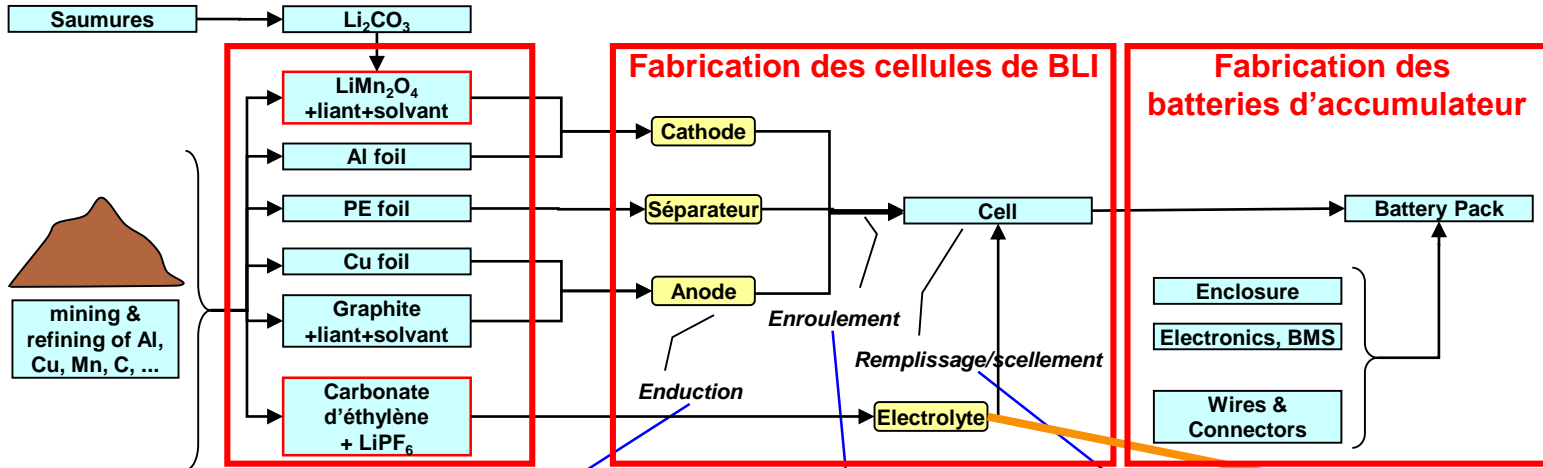


Véhicules électriques à batteries en 2050: >50% de la flotte de véhicules; en 2100: >85%

Batteries lithium-ions en 2100: > 95% des besoins globaux en lithium

Les flux de lithium atteindront 1,2 mio t/a en 2100

Fabrication d'une batterie lithium-ions



Où réside le danger?

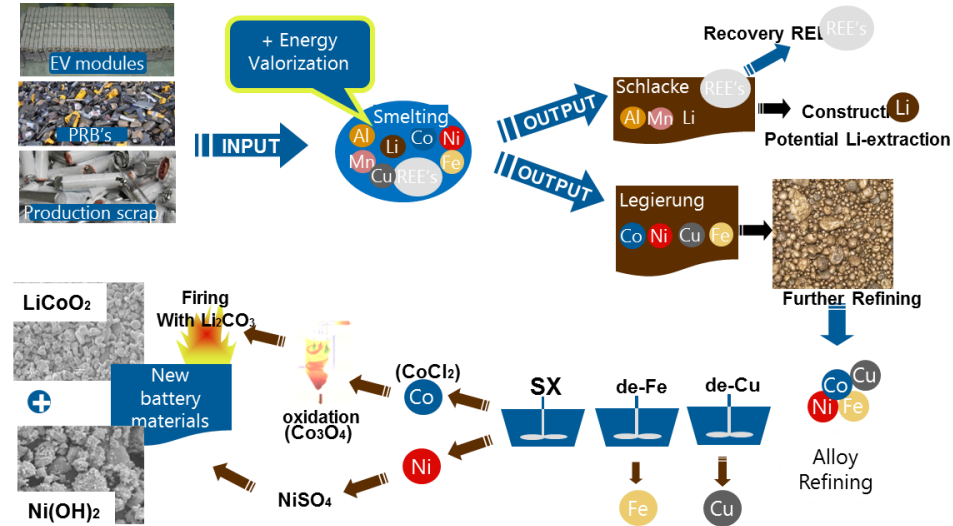


foto: cuberg.net, <https://www.electrive.com/2018/01/30/boeing-invests-aerospace-battery-startup-cuberg/>

(c) Empa

Recyclage des batteries lithium-ions (BIL)

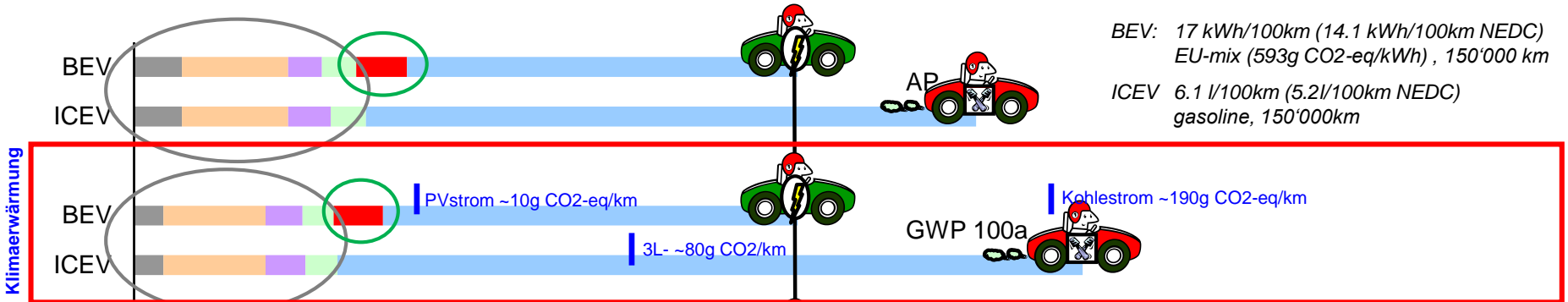
- Pour le moment, les procédés pyrométallurgique et hydrométallurgique ont fait leurs preuves.
- Il existe d'autres procédés à l'échelle du laboratoire
- Le lithium peut certes être récupéré, mais cobalt et cuivre sont aujourd'hui l'objectif principal.
- Des incitations ou des obligations pourraient devenir nécessaires pour garantir une récupération précoce et à grande échelle du lithium.



Processus de recyclage pyrométallurgique des BLI utilisé par umicore @ Hoboken.

Prospective Environmental Assessment of Lithium Recovery in Battery Recycling, Carl Vadenbo, master thesis, ETHZ/Empa 2009

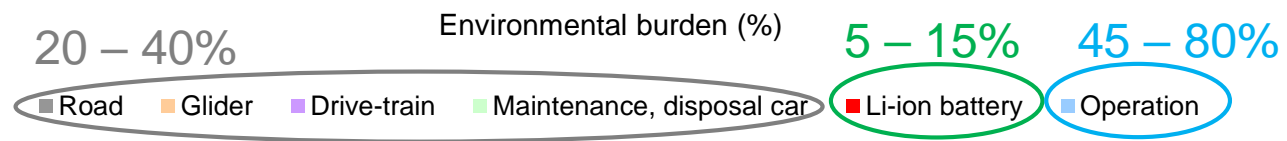
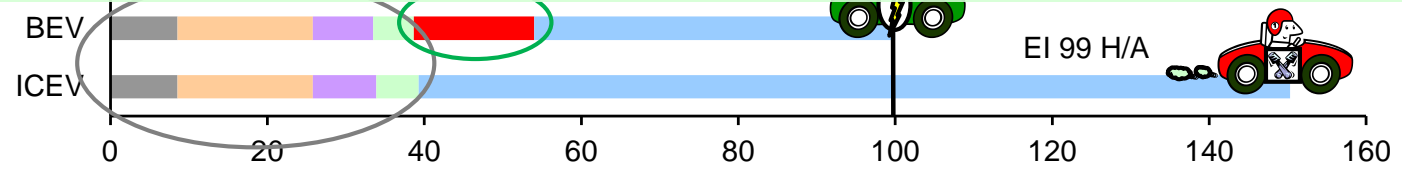
Bilan écologique du cycle de vie des automobiles



BEV: 17 kWh/100km (14.1 kWh/100km NEDC)
EU-mix (593g CO2-eq/kWh) , 150'000 km

ICEV 6.1 l/100km (5.2l/100km NEDC)
gasoline, 150'000km

- Dès que l'on roule à l'électricité verte, l'impact environnemental n'est presque dû qu'à la fabrication et à l'élimination des véhicules.
- L'impact environnemental de la fabrication et de l'élimination des BLI n'est pas négligeable.



Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles.
Dominic A. Notter*, Marcel Gauch, Rolf R. Widmer, Patrick Wäger, Anna Stamp, Rainer Zah and Hans-Jörg Althaus
Environ. Science & Technology, No.44/2010 p.6550-6556; DOI: 10.1021/es903729a

- Pour le moment, les BLI sont bien les meilleurs accumulateurs d'énergie mobiles rechargeables (les plus écologiques, ceux qui ont la plus grande longévité et la plus grande capacité, les plus performants...)
- Pour les gros systèmes d'accumulation d'énergie stationnaires, il existe des alternatives plus avantageuses (à moins d'utiliser des BLI réparties et multifonctionnelles; par ex. V2G).
- Même à long terme (>2100), le lithium pourrait être la source d'énergie privilégiée pour les applications mobiles, si:
 - des systèmes globaux de recyclage, capables de récupérer aussi le lithium, sont installés suffisamment tôt,
 - la durée de vie du lithium est maximisée (chaque cycle perd du lithium),
 - les coûts d'extraction du lithium de l'eau de mer peuvent être fortement réduits.
- Les futures batteries (au lithium ou d'autres, par ex. au sodium) utilisent des électrolytes ininflammables (les BLI actuelles peuvent déclencher des incendies causés par des charges résiduelles en cas d'erreur de manipulation).

merci!

rolf.widmer@empa.ch
www.empa.ch/tsl

