



ET DEMAIN ? TABLES RONDES SUR DES SUJETS D'ACTUALITÉ

LES MÉTAUX DE LA RÉVOLUTION 4.0

**Anniversaire 10 ans | Tables Rondes
Samedi 23 novembre 2019, CICP - 75011 Paris**

1. « Croissance minérale »

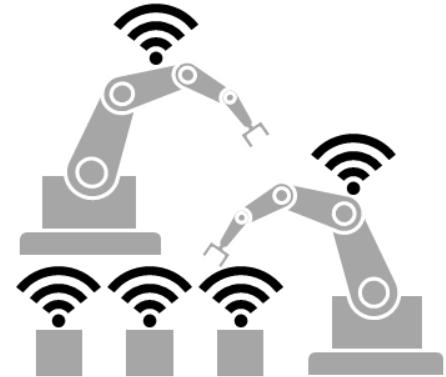
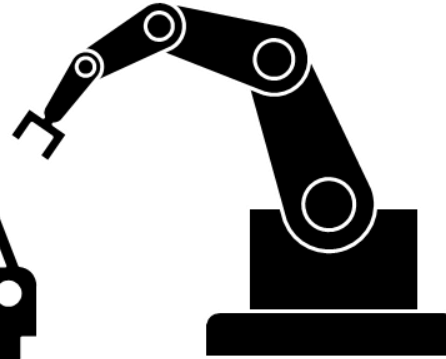
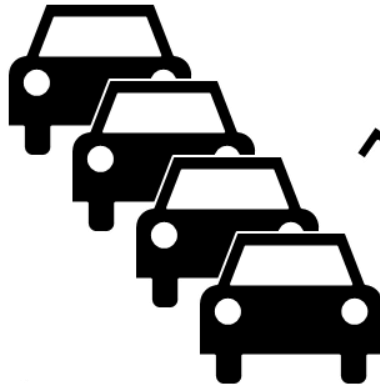
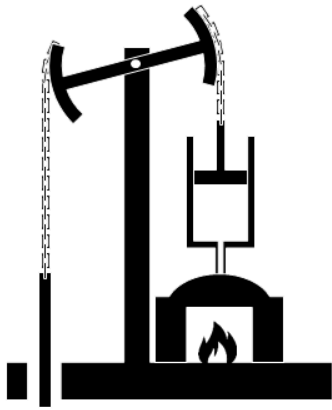
1.1. Augmentation qualitative et quantitative

1750+

1850+

1950+

Aujourd'hui+



1st

2nd

3rd

4th

Mechanization,
water power, steam
power

Mass production,
assembly line,
electricity

Computer and
automation

Cyber Physical
Systems

**Charbon et
machine à vapeur**

**Acier-sidérurgie et
chemin de fer**

**Uranium-nucléaire
et petits métaux
pour l'électronique**

...

1. « Croissance minérale »

1.1. Augmentation qualitative et quantitative

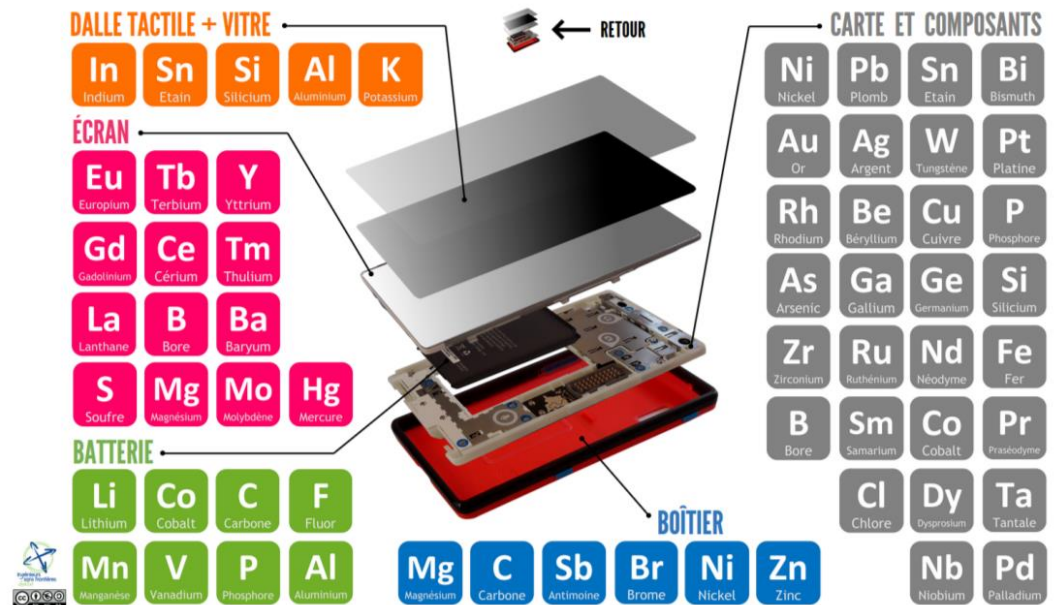
- **Quantités croissantes**

De 1980 à 2008, augmentation globale de la demande en métaux +87% (jusqu'à plus de 6 milliards de tonnes) ; tendances futures entre +300% et +900% (UNEP, 2013)

- **Diversification des substances**

- De 1970 à 2000, nombre de métaux utilisés dans les applications industrielles multiplié par 3, passant de 20 à 60 (P. Bihouix, 2010)

- 50 à 70 substances minérales dans un téléphone ou un véhicule actuellement



1. « Croissance minérale »

1.2. Secteur automobile - véhicules électriques et hybrides

| PÉRIODE | GROUPE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|----------|---------------------------------|
| | 1 IA | 2 IIA | | | | | | | | | | | | 13 IIIA | 14 IVA | 15 VA | 16 VIA | 17 VIIA | 18 VIIIA | |
| 1 | 1 1.0079 H HYDROGÈNE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 4.0026 He HÉLIUM |
| 2 | 3 6.941 Li LITHIUM | 4 9.0122 Be BÉRYLLIUM | | | | | | | | | | | 5 10.811 B BORE | 6 12.011 C CARBONE | 7 14.007 N AZOTE | 8 15.999 O OXYGÈNE | 9 18.998 F FLUOR | 10 20.180 Ne NÉON | | |
| 3 | 11 22.990 Na SODIUM | 12 24.305 Mg MAGNÉSIMUM | | | | | | | | | | | 13 26.982 Al ALUMINIUM | 14 28.086 Si SILICIUM | 15 30.974 P PHOSPHORE | 16 32.065 S SOUFRE | 17 35.453 Cl CHLORE | 18 39.948 Ar ARGON | | |
| 4 | 19 39.098 K POTASSIUM | 20 40.078 Ca CALCIUM | 21 44.956 Sc SCANDIUM | 22 47.867 Ti TITANE | 23 50.942 V VANADIUM | 24 51.996 Cr CHROME | 25 54.938 Mn MANGANÈSE | 26 55.845 Fe FER | 27 58.933 Co COBALT | 28 58.693 Ni NICKEL | 29 63.546 Cu CUIVRE | 30 65.38 Zn ZINC | 31 69.723 Ga GALLIUM | 32 72.64 Ge GERMANIUM | 33 74.922 As ARSENIC | 34 78.96 Se SÉLÉNIUM | 35 79.904 Br BROME | 36 83.798 Kr KRYPTON | | |
| 5 | 37 85.468 Rb RUBIDIUM | 38 87.62 Sr STRONTIUM | 39 88.906 Y YTTRIUM | 40 91.224 Zr ZIRCONIUM | 41 92.906 Nb NIوبيUM | 42 95.96 Mo MOLYBDÈNE | 43 (98) Tc TECHNÉTIUM | 44 101.07 Ru RUTHÉNIUM | 45 102.91 Rh RHODIUM | 46 106.42 Pd PALLADIUM | 47 107.87 Ag ARGENT | 48 112.41 Cd CADMIUM | 49 114.82 In INDIUM | 50 118.71 Sn ÉTAIN | 51 121.76 Sb ANTIMOINE | 52 127.60 Te TELLURE | 53 126.90 I IODE | 54 131.29 Xe XÉNON | | |
| 6 | 55 132.91 Cs CÉSIUM | 56 137.33 Ba BARYUM | 57-71 La-Lu Lanthanides | 72 178.49 Hf HAFNIUM | 73 180.95 Ta TANTALE | 74 183.84 W TUNGSTÈNE | 75 186.21 Re RHÉNIUM | 76 190.23 Os OSMIUM | 77 192.22 Ir IRIDIUM | 78 195.08 Pt PLATINE | 79 196.97 Au OR | 80 200.59 Hg MERCURE | 81 204.38 Tl THALLIUM | 82 207.2 Pb PLOMB | 83 208.98 Bi BISMUTH | 84 (209) Po POLONIUM | 85 (210) At ASTATE | 86 (222) Rn RADON | | |
| 7 | 87 (223) Fr FRANCIUM | 88 (226) Ra RADIUM | 89-103 Ac-Lr Actinides | 104 (267) Rf RUTHERFORDIUM | 105 (268) Db DUBNIUM | 106 (271) Sg SEABORGIUM | 107 (272) Bh BOHRIUM | 108 (277) Hs HASSIUM | 109 (276) Mt MEITNERIUM | 110 (281) Ds DARMSTADIUM | 111 (280) Rg ROENTGENIUM | 112 (285) Cn COPERNICIUM | 113 (...) Uut UNUNTRIUM | 114 (287) Fl FLEROVIUM | 115 (...) Uup UNUNPENTIUM | 116 (291) Lv LIVERMORIUM | 117 (...) Uus UNUNSEPTIUM | 118 (...) Uuo UNUNOCTIUM | | |

Copyright © 2012 Eni Generalic

LANTHANIDES

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 57 138.91 La LANTHANE | 58 140.12 Ce CÉRIUM | 59 140.91 Pr PRASEODYME | 60 144.24 Nd NÉODYME | 61 (145) Pm PROMÉTHIUM | 62 150.36 Sm SAMARIUM | 63 151.96 Eu EUROPIUM | 64 157.25 Gd GADOLINIUM | 65 158.93 Tb TERBIUM | 66 162.50 Dy DYSPROSIUM | 67 164.93 Ho HOLMIUM | 68 167.26 Er ERBIUM | 69 168.93 Tm THULIUM | 70 173.05 Yb YTTERBIUM | 71 174.97 Lu LUTÉTIUM |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|

ACTINIDES

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 89 (227) Ac ACTINIUM | 90 232.04 Th THORIUM | 91 231.04 Pa PROTACTINIUM | 92 238.03 U URANIUM | 93 (237) Np NEPTUNIUM | 94 (244) Pu PLUTONIUM | 95 (243) Am AMÉRICIUM | 96 (247) Cm CURIUM | 97 (247) Bk BERKÉLIUM | 98 (251) Cf CALIFORNIUM | 99 (252) Es EINSTEINIUM | 100 (257) Fm FERMIUM | 101 (258) Md MENDELÉVIUM | 102 (259) No NOBÉLIUM | 103 (262) Lr LAWRENCIUM |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|

Métaux contenus dans un véhicule électrique moyen | Adapté de : Öko-Institut e.V. (2011) Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität

2. Métaux de la transition énergétique

2.1. Rôle déterminant de la mine et des métaux

- Accord de Paris de 2015 sur le Climat et scénario à 2°C = Augmentation de 44% des énergies renouvelables
- Technologies principales (éolien, solaire et stockage d'énergie) plus consommatrices de métaux que les technologies existantes, sans compter les dispositifs d'adduction en énergie, les véhicules électriques, les appareils domestiques...
- Choix de société et pas seulement technologiques
- Relance massive de la connaissance géologique et de l'exploitation minière

The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future



Public Disclosure Authorized

June 2017



2. Métaux de la transition énergétique

2.1. Rôle déterminant de la mine et des métaux

Climate Smart Mining

Minerals FOR CLIMATE ACTION



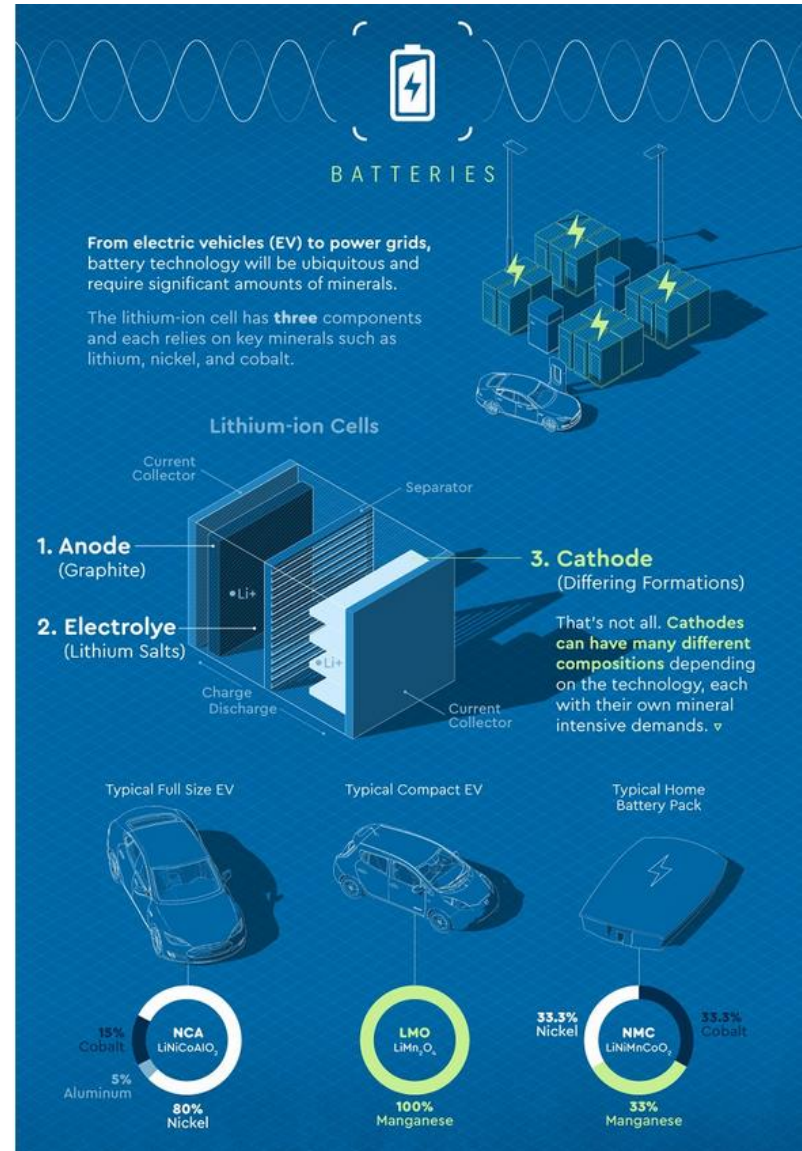
The world is rapidly transitioning to **low-carbon technologies** to combat climate change.

However, these technologies require large amounts of minerals. To meet this demand, more mining and mineral recycling will be needed.

BATTERIES

From electric vehicles (EV) to power grids, battery technology will be ubiquitous and require significant amounts of minerals.

The lithium-ion cell has **three** components and each relies on key minerals such as lithium, nickel, and cobalt.



Lithium-ion Cells

- 1. **Anode** (Graphite)
- 2. **Electrolyte** (Lithium Salts)
- 3. **Cathode** (Differing Formations)

That's not all. **Cathodes** can have many different compositions depending on the technology, each with their own mineral intensive demands. ▽

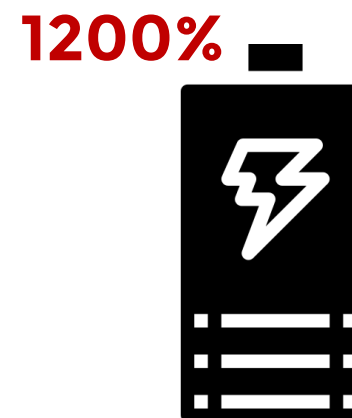
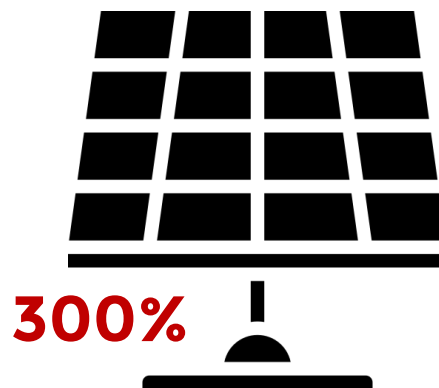
| Vehicle Type | Chemistry | Mineral Composition |
|---------------------------|---|---|
| Typical Full Size EV | NCA (LiNiCoAlO ₂) | 15% Cobalt, 5% Aluminum, 80% Nickel |
| Typical Compact EV | LMO (LiMn ₂ O ₄) | 100% Manganese |
| Typical Home Battery Pack | NMC (LiNiMnCoO ₂) | 33.3% Nickel, 33.3% Cobalt, 33.3% Manganese |

2. Métaux de la transition énergétique

2.2. Augmentation exponentielle des demandes

| Metal | Metal | Metal |
|---------------------|-----------|------------|
| Aluminum | Iron | Molybdenum |
| Chromium | Lithium | Silver |
| Copper | Lead | Steel |
| Indium (Rare earth) | Manganese | Zinc |

Scénario de demande médiane de métaux pour l'approvisionnement à 2050 :



3. Changements climatiques

3.1. Vers une mine « sans émission »

- Régulations plus contraignantes et augmentation des coûts énergétiques
- Intégration accélérée des énergies renouvelables (éolien, solaire) et des technologies à « basse émission » (véhicules électriques, systèmes automatisés)

OECD publishing

INTEGRATING RENEWABLES IN MINING

REVIEW OF BUSINESS MODELS
AND POLICY IMPLICATIONS

OECD DEVELOPMENT
POLICY PAPERS
November 2018 No. 14



 **OECD**
BETTER POLICIES FOR BETTER LIVES

 **CDP**
DRIVING SUSTAINABLE ECONOMIES

Digging deep

Which miners are facing up to the low-carbon challenge?
Executive Summary

July 2017



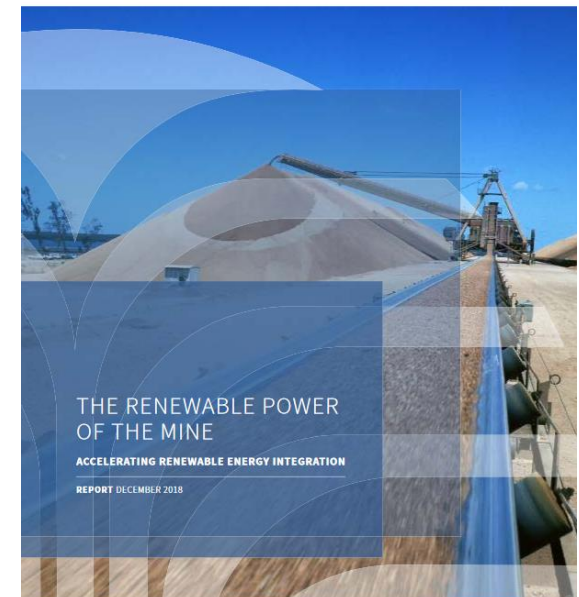
Authors: Sarah Coleman, Luke Fletcher and Tom Crocker

 Columbia Center
on Sustainable Investment
A joint center of Columbia University
and the Center for Global Enterprise

 German Energy
Institute

 GIZ

 ENERGY AND MINES



3. Changements climatiques

3.1. Vers une mine « sans émission »

ENVIRONMENT JUNE 21, 2018 / 5:56 PM / A YEAR AGO

First new all-electric mine dumps diesel; cuts costs, pollution

Susan Taylor, Barbara Lewis

5 MIN READ



CHAPLEAU, Ontario/LONDON (Reuters) - Hundreds of feet below thick boreal forest blanketing the Canadian Shield, a squad of near-silent, battery-powered machines are tunneling toward gold in a multimillion-dollar mining experiment to ditch diesel.



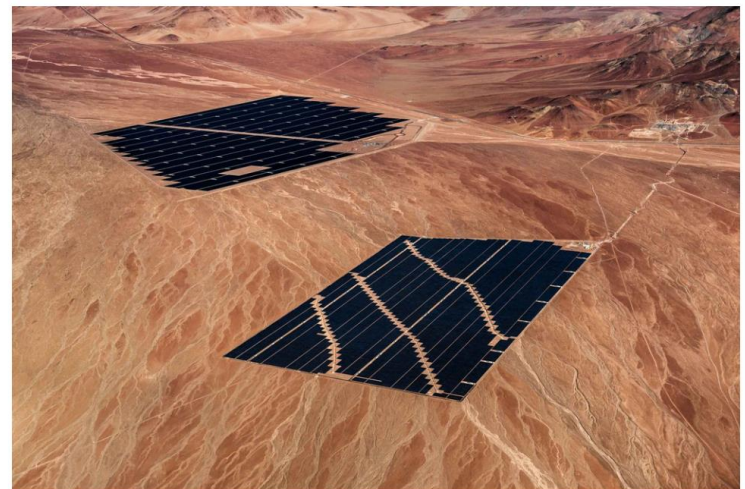
A worker walks underground at Goldcorp Inc.'s Borden all-electric gold mine near Chapleau, Ontario, Canada, June 13, 2018. REUTERS/Chris Wattie

Bloomberg Businessweek

These Massive Renewable Energy Projects Are Powering Chilean Mines

A surge in solar, geothermal, and wind development is helping to wean the industry off imported fossil fuels.

Laura Millan Lombrana and Jamey Stillings



Both the Carrera Pinto photovoltaic array (foreground) built by Enel Green Power SpA and the Luz del Norte array belonging to First Solar Inc. feed directly into Chile's electrical grid. PHOTOGRAPHER: JAMEY STILLINGS

3. Changements climatiques

3.1. Vers une mine « sans émission »

- Modèle minier actuel : un choix social et politique
- Pas de changement majeur dans les techniques minières depuis un siècle
- Technologies variées, substitution métalliques nombreuses
- **Paradoxe énergétique n°1 : industrie énergivore alimentant le secteur des énergies « propres »**
- **Paradoxe énergétique n°2 : extraire des métaux pour fabriquer des dispositifs qui alimenteront en énergie des sites miniers qui extraient des métaux pour fabriquer...**

