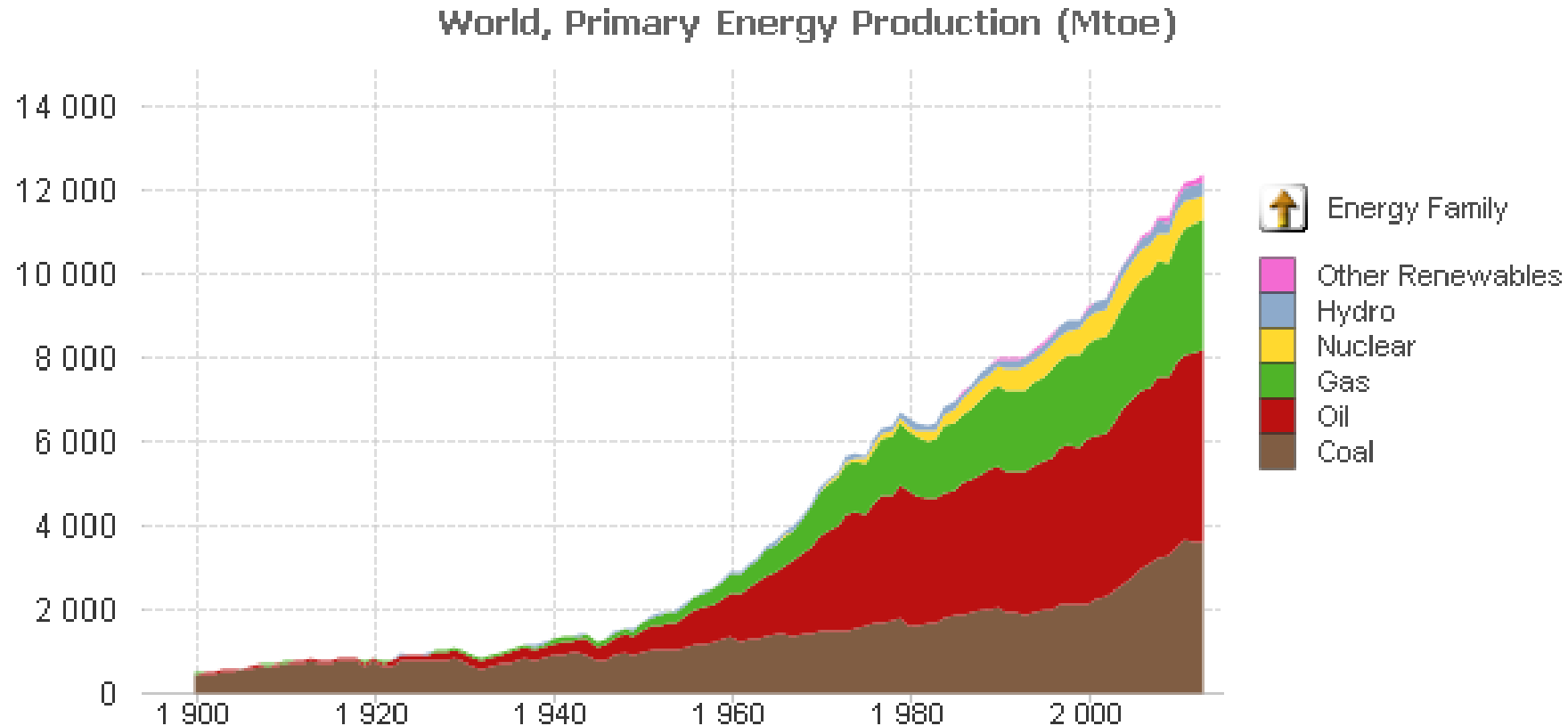


Pourquoi parle-t-on de criticité des ressources ?

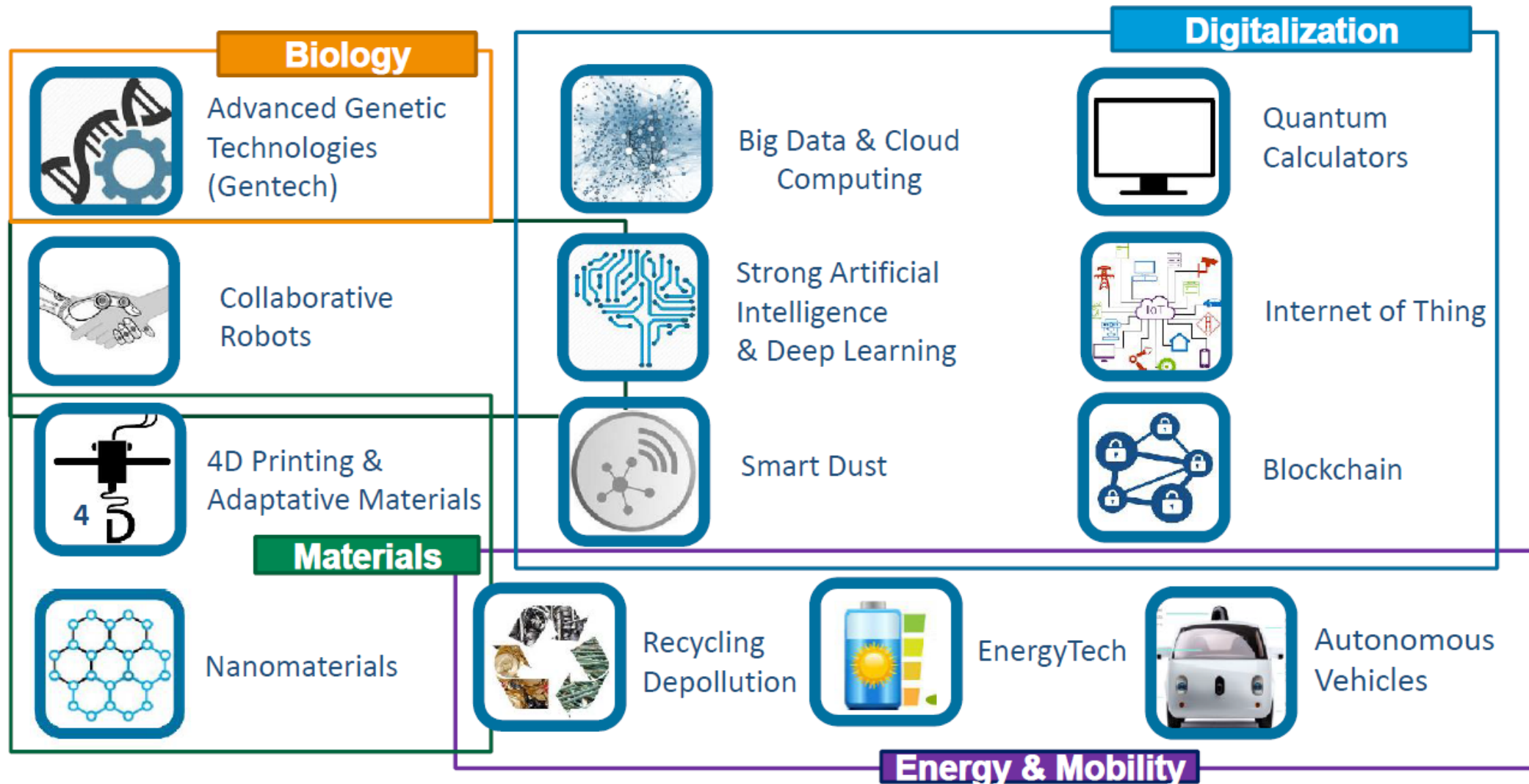
**Etude de cas pour les batteries NMC :
Le lithium, cobalt et nickel**



Quelles ressources énergétiques pour le futur ?



Transition énergétique mais pas que !



Transition technologique mais pas que !



Strongly growing demography



**Emerging markets/countries
(including Africa)**



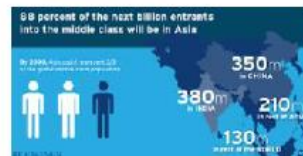
Slowdown or Secular stagnation?



Infrastructure needs



Individualism - standardization



New middle class



Urbanization



Aging Population (Health System)



**Global governance
(bipolar, (Chinese and the
Us World)**



**Agricultural resources,
water, energy (including
minerals) stress**



Inequality



Education

Les matériaux...

1 H	I A																VIII A					2 He
II A												III A	IV A	V A	VI A	VII A						
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne					
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar					
		III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	VIII B	I B	II B											
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr					
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe					
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn					
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo					
Lanthanides				58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu					
Actinides				90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr					

... de la transition énergétique

- Energy storage : *Li, Co, Pb, Ni...*
- Connectivity : *Cu, Ag...*
- Energy saving : *Ti, Nb, Y...*
- Catalysis (automobile, fuel cells) : *Pt, Pd, Rh*
- Production and transport of electricity
- Nuclear electricity industry
- Photovoltaic
- Permanent magnets (electric vehicles, wind, TGV)
- Lighting
- Superconductors

1 H	<div><ul style="list-style-type: none">Production and transport of electricityNuclear electricity industryPhotovoltaic</div>																VIII A					2 He		
I A																	II A		III A	IV A	V A	VI A	VII A	
3 Li																	4 Be	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	VIII B	IB	II B	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar							
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr							
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe							
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn							
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo							

Lanthanides
(Rare-earth elements)

Actinides

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Une question...

Peut-on répondre à une
demande croissante de
ressources...

...Dans un **monde fini** ?



johnholcraft.com

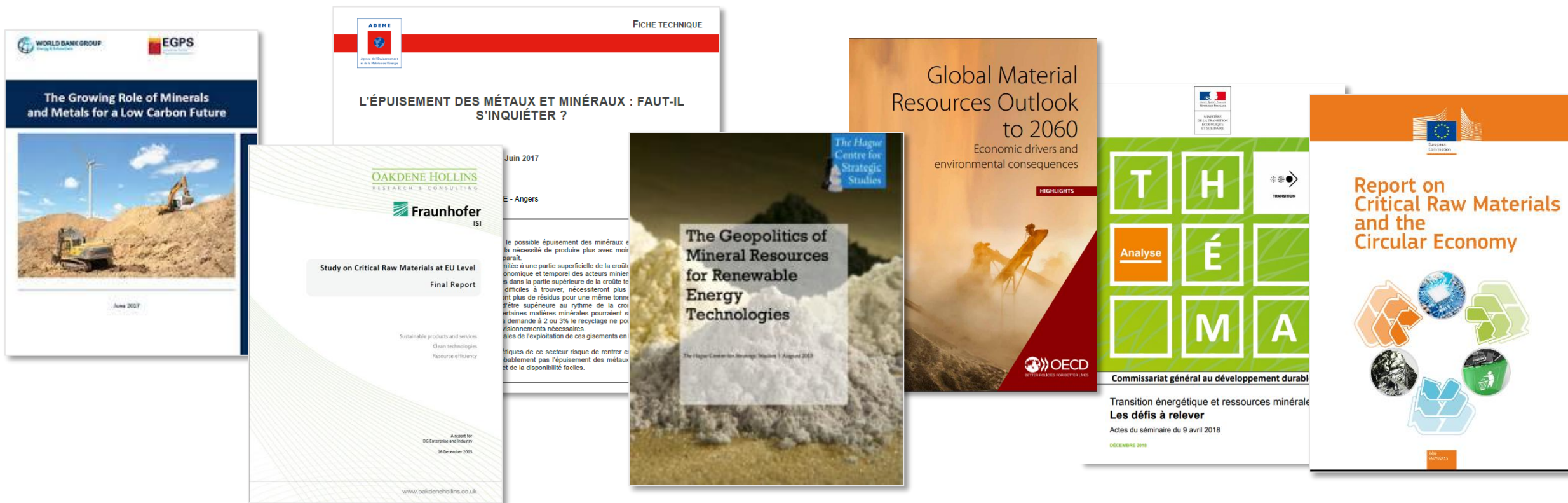
Un peu d'histoire...

- Thomas Robert Malthus – Essai sur le principe de population (1798)
- William Stanley Jevons – The Coal question (1865)
- Le Club de Rome – The limit to growth (1972)

Mais concrètement la question des ressources on la retrouve surtout en temps... de guerre !

- Etats-Unis : 14 MP critiques en 1922 → premiers stocks nationaux
 - Mondialisation + échange = diminution criticité
 - 2010 : Embargo Chine sur le Japon : la question revient en force dans les réflexions stratégiques nationales !
- Question des ressources croissante sur la dernière décennie

Ressources/criticité : De plus en plus discuté




- Champ d'analyse extrêmement mal défini
- Sujet très hétérogène → multitude acteurs, géographies, secteurs, horizons temporels, etc.
- Premiers publicateurs (secteur académique) : Etats-Unis et Chine

Quelques définitions

Ne pas confondre :

- Métaux rares (<0.1% croûte terrestre / métaux très rares : <0.001%)
- Terres rares (16 à 17 éléments métalliques : lanthanides + yttrium + scandium)

Dénomination économique

- Petits métaux/métaux mineurs (production annuelle <200kt, pas de cotation)
= Métaux de spécialité ou spéciaux technologiques
- Métaux stratégiques (importance économique, peu substituable avec risque approvisionnement) → COMES (France)
- Métaux critiques (extension des métaux stratégiques) 

Terminologie industrielle courante

- Métaux de base : Fe, Al, Ti, Mg, Mn, Cr, Zn, Pb, Cu, Ni, Sn
- Métaux précieux : Au, Ag, Pt, Pd, It, Os, Rh, Ru
- Métaux de l'énergie nucléaire (actinides) : U, Th, Pu
- Métaux de spécialité : tous les autres

Criticité : tentative de définition

La criticité reflète les facteurs influençant la dynamique de l'offre et de la demande de matières premières et les risques systémiques associés



Par où commencer ?

Quelques questions essentielles :

- **Quelle(s) ressource(s) ?** *Toutes ou focus ?*
- **Quelle échelle ?** *France, Europe, ou Monde ?*
- **Quels acteurs ?** *Gouvernement, filière industrielle, entreprise ?*
- **Quel horizon temporel ?** *Aujourd'hui ou demain (prospective) ? CT, MT, LT ?*
- **Quelle méthodologie ?** *Quantitative ou qualitative ?*

→ Les résultats vont être radicalement différents ! C'est pour cela qu'il est très difficile de se mettre d'accord et de comparer les différentes études.

Des paramètres... aux indicateurs

Indicateurs de vulnérabilité économique	Indicateur de risque sur l'offre
Existence d'un substitut (Qualitatif)	Concentration de la production par pays (HHI)
Valeur des produits affectés (en % du PIB)	Gouvernance (Qualitatif ou Index de gouvernance)
Ratio de demande future sur l'offre (Qualitatif)	Temps de déplétion des ressources (années)
Valeur des matériaux utilisés (en % du PIB)	Dépendance aux coproduits (en %)
Importance de l'utilisation (en % de la population, en % du PIB)	Concentration d'entreprises minières (HHI)
Dépendance aux importations (en %)	Croissance de la demande (Qualitatif ou ratio)
Importance stratégique (Qualitatif)	Dépendance aux importations (en %, en valeur)
Capacité à innover (Qualitatif)	Potentiel de recyclage (en volume)
Variation des importations (en %)	Existence d'un substitut (Qualitatif)
Concentration des entreprises productrices (HHI)	Volatilité des prix des matières premières (en \$)
	Dépenses d'exploration (en \$)

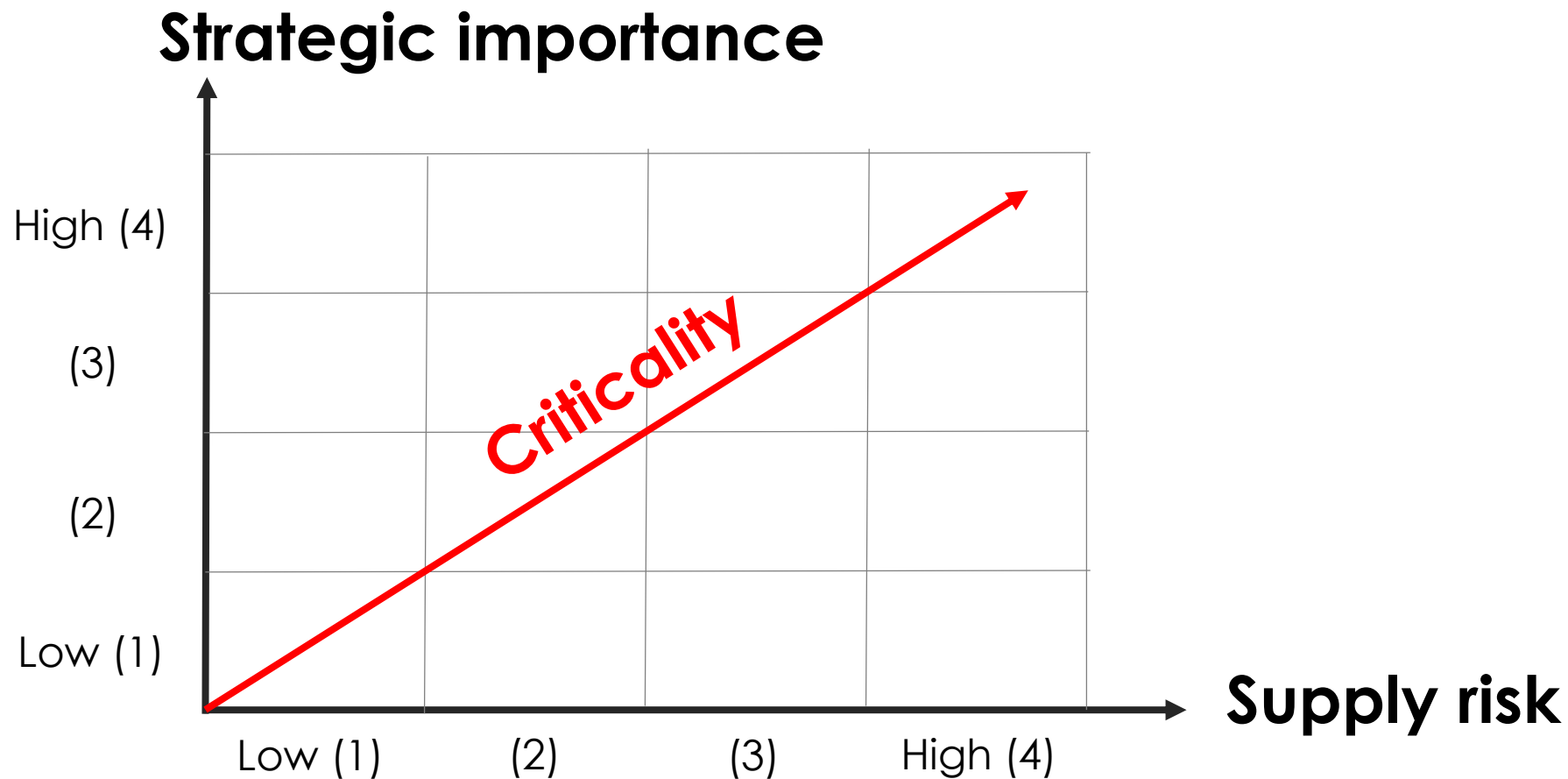
NON EXHAUSTIF – NON EXCLUSIF

Parfois difficile à quantifier

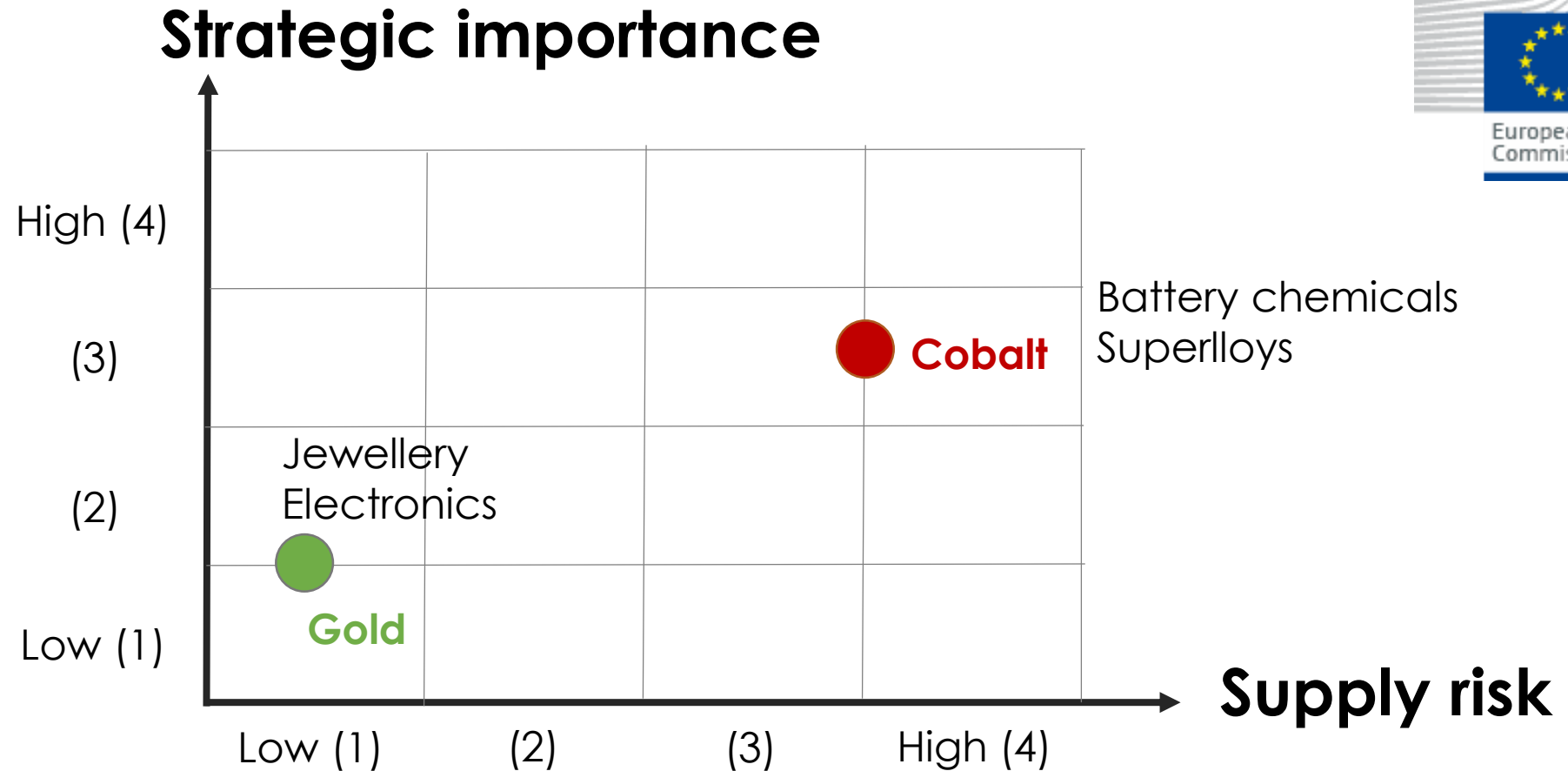
Possibles boucles de rétroaction

	Existence de pénurie temporaire (Qualitatif)
	Risque stratégique (embargo) (Qualitatif)
	Présence dans la croute terrestre

La criticité – représentation matricielle



Criticité - représentation matricielle

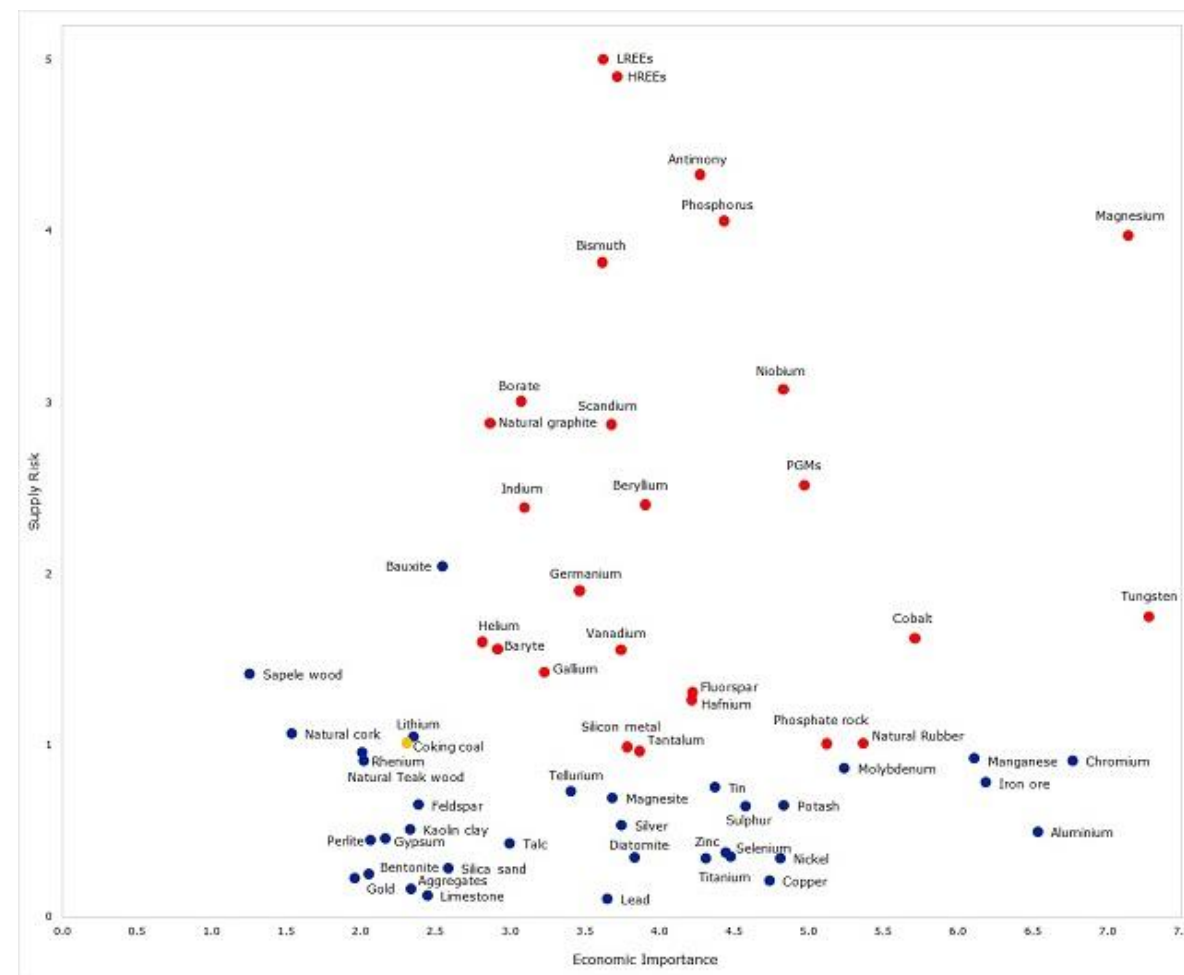
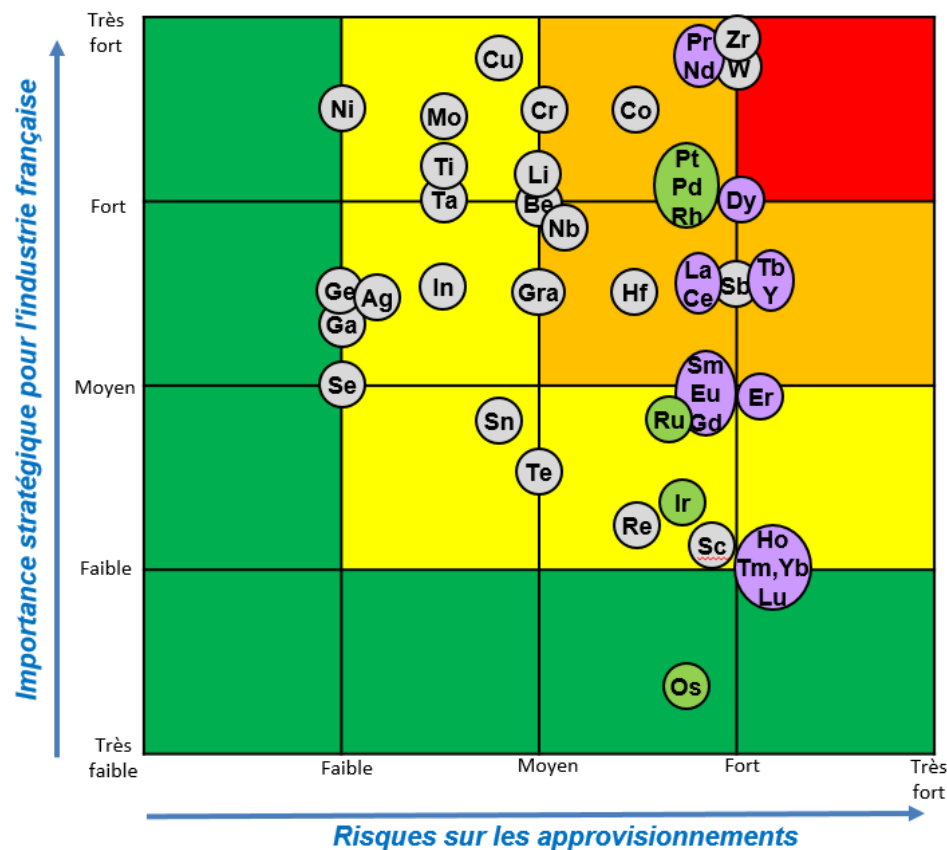


Source:
http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

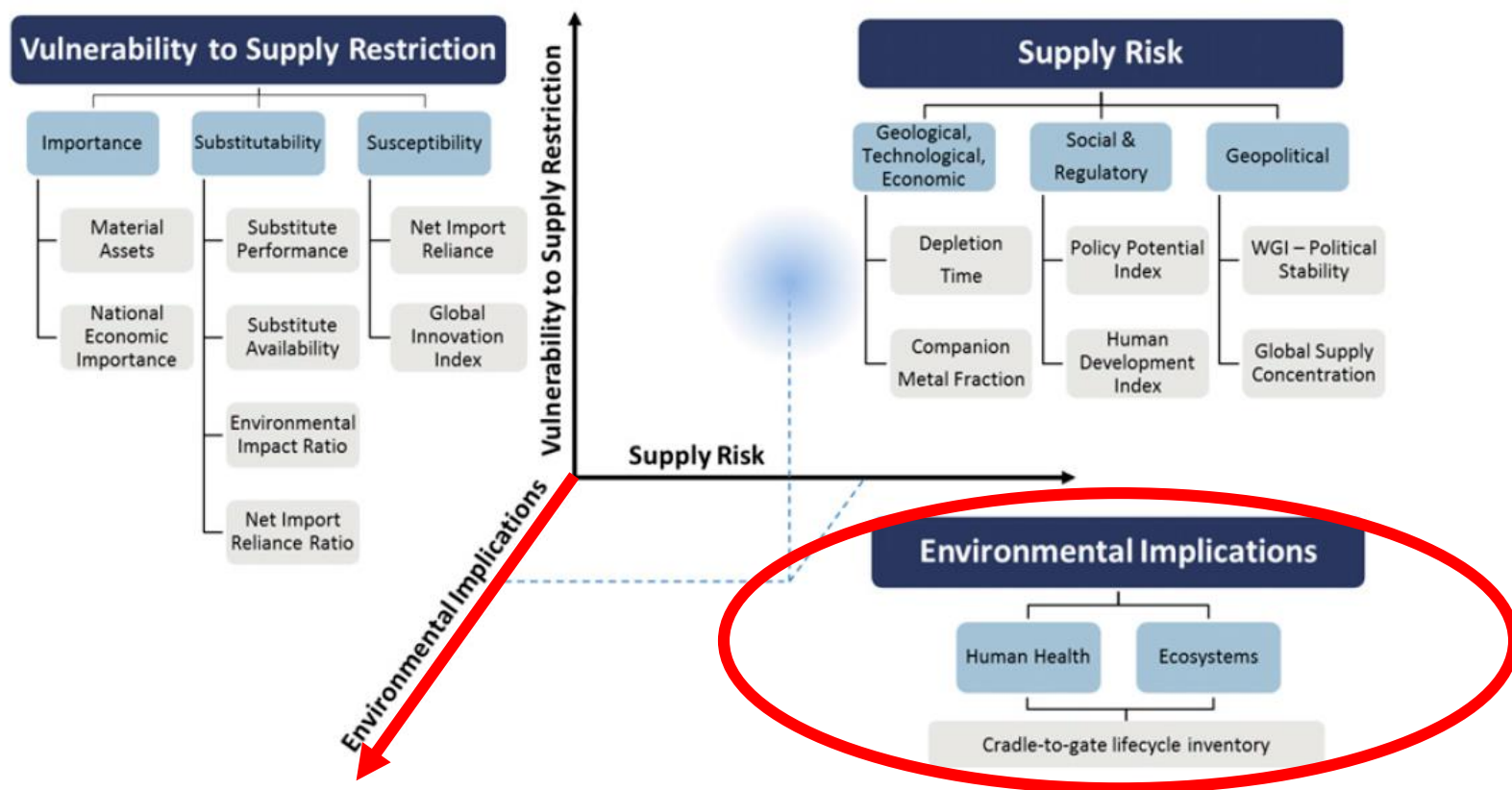
Matrice de criticité France / UE (2017)

EVALUATION DE LA CRITICITE DES SUBSTANCES OU GROUPES DE SUBSTANCES ETUDIEES PAR LE BRGM DEPUIS 2010

Positionnements révisés en 2018 ("Fiches de criticité")



Une troisième composante de plus en plus omniprésente



Environmental implications
are difficult to assess

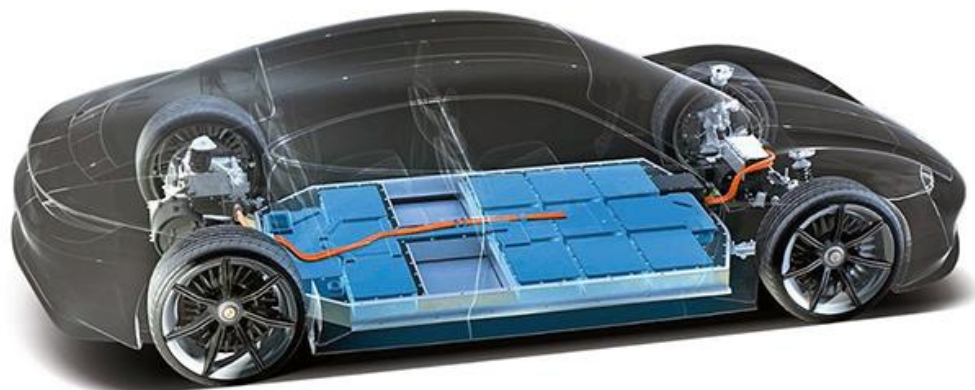
Life-cycle analysis (LCA)

- Data access (hypothesis)
- Study scope
- Site-specific

→ difficult to replicate

→ Not exhaustive

Press freedom



Etude de cas pour les batteries NMC :
Le lithium, cobalt et nickel

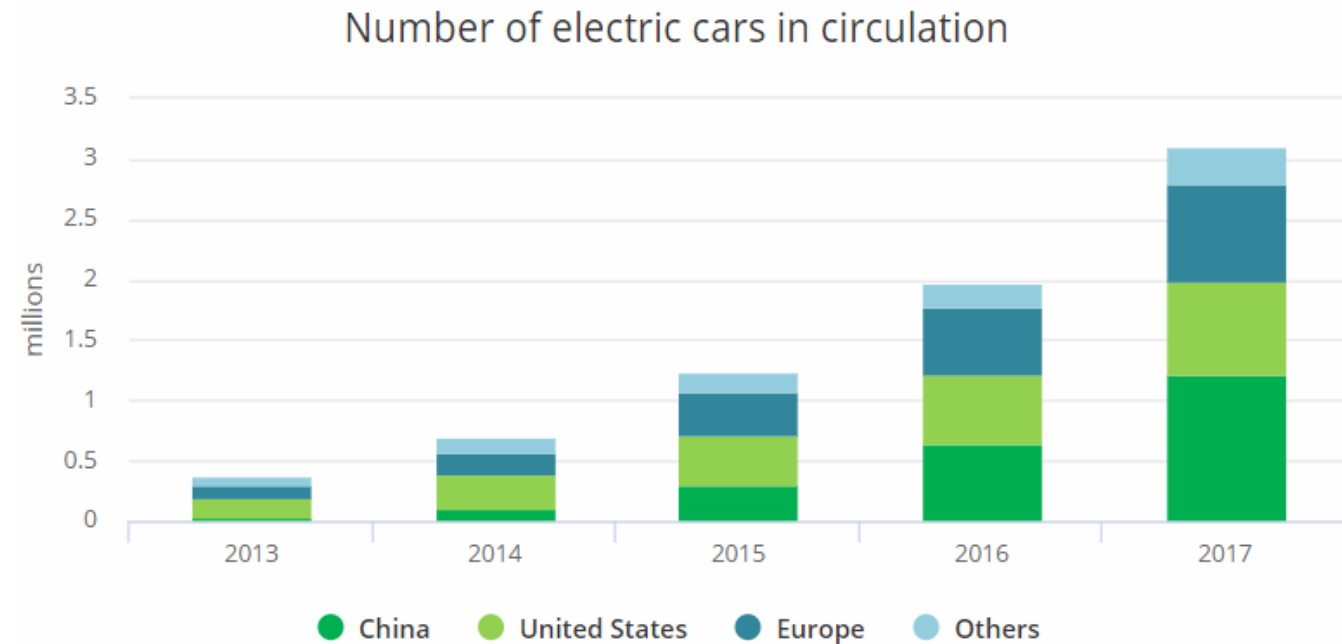
Contexte – Une électrification croissante du parc automobile

- Interdiction des véhicules thermiques à moyen terme
- Vente de véhicules en croissance forte (Norvège, Chine, Californie, etc.)

Même si :

- Bilan ACV contestable (production batterie + électricité usage + recyclable etc.)
- Enjeu sur l'infrastructure de recharge (dont mobilité longue distance)
- Dépendance croissante à la Chine, nécessité d'un plan industriel Européen

→ Le bien fondé ou non du VE n'est pas le scope de cette présentation (contexte)



Contexte - Chaîne de valeur de la batterie

Exploration,
Mining,
Processing

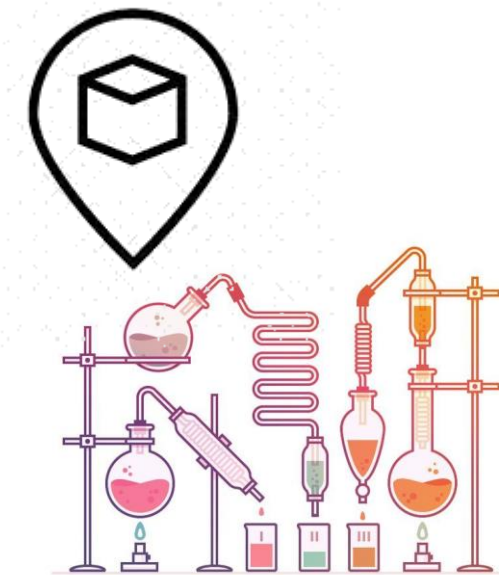
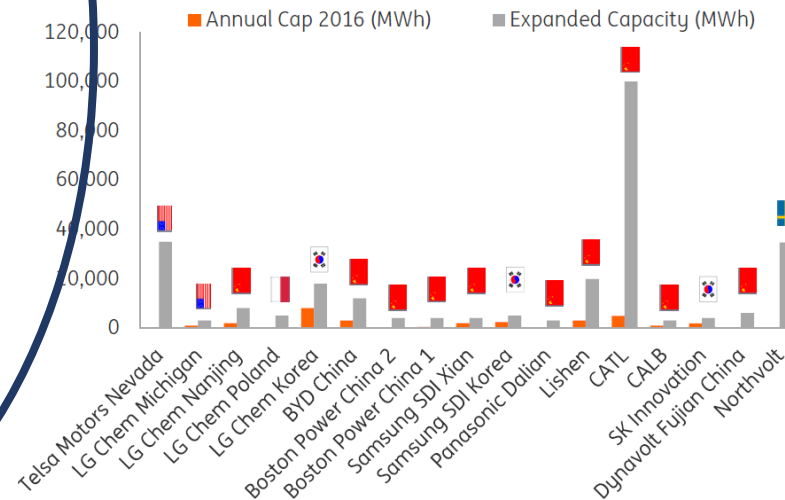
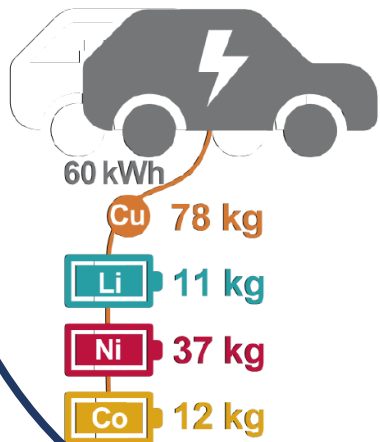
Battery
Materials

Cell
Manufacturing

OEMs

Recycling

Typical BEV battery composition
Using NCM 622 chemistry



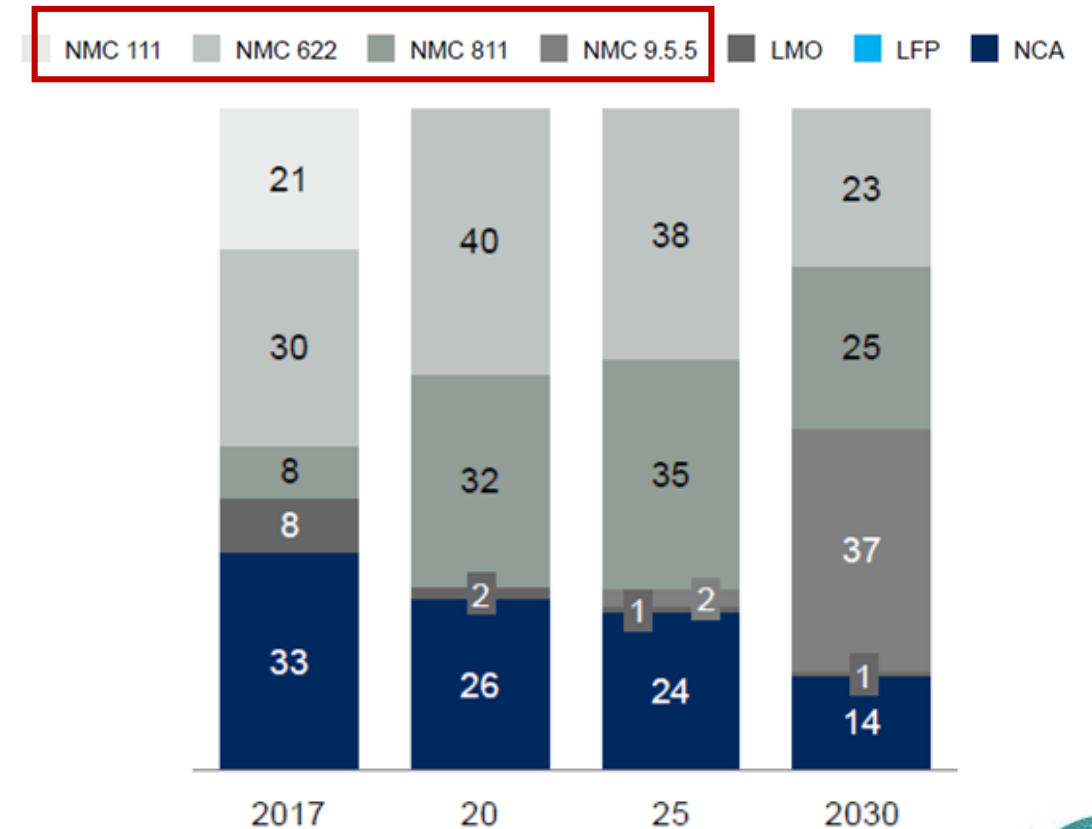
Contexte – Une technologie majoritaire, les Batterie Li-ion NMC

- Choix arbitraire mais motivé (compromis entre performance - énergie spécifique-, sécurité, coût, durée de vie)

Technologies batteries VE actuellement commercialisées



Acronyme	Composant
NCA	Nickel Cobalt Aluminium
NMC	Nickel Manganèse Cobalt
LFP	Lithium Fer Phosphate

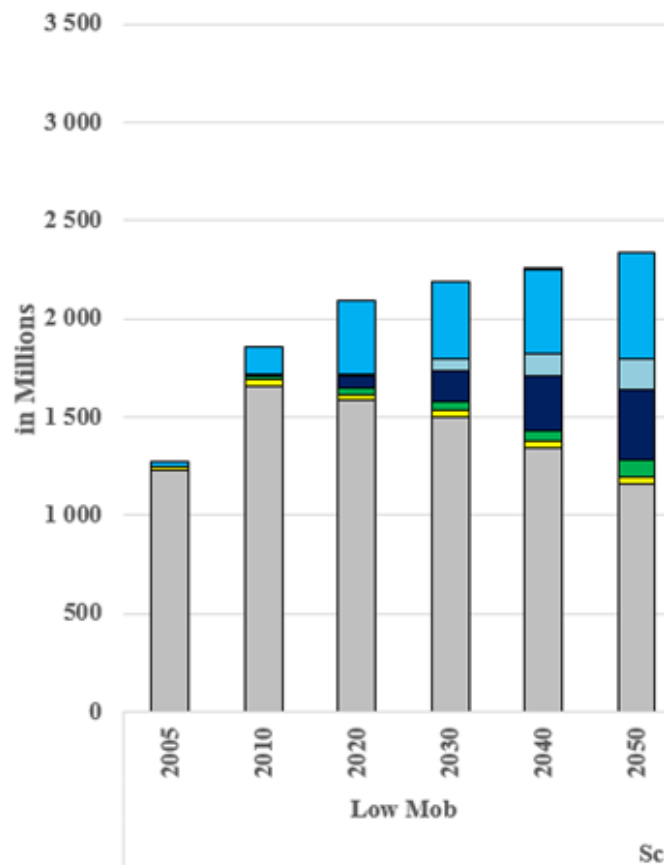


SOURCE: McKinsey Basic Material Institute's battery raw materials demand model

Quel parc ? Pour quelle demande ?

PLDV, CV, BUS, MINIBUS & 2/3 Wheelers

ICE LPG/CNG Bio HEV PHEV BEV FCEV



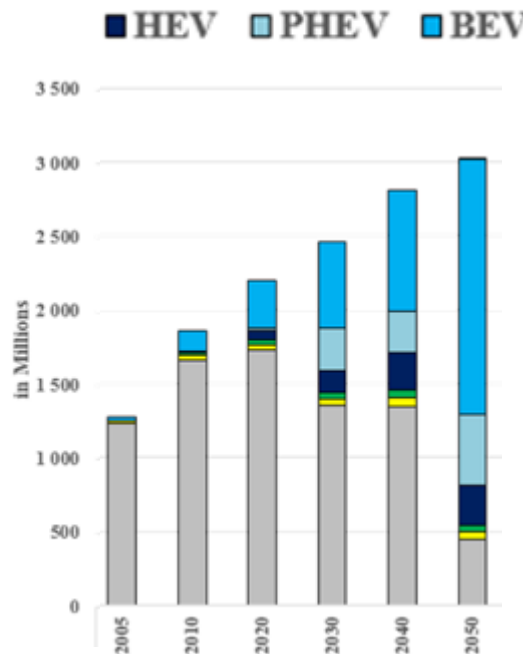
ICE: Internal combustion engine;
HEV: Full hybrid vehicle; PHEV:
Plug-in hybrid vehicle; BEV:
Battery-powered electric vehicle;
FCEV: Fuel cell electric vehicle

Source : IFPEN

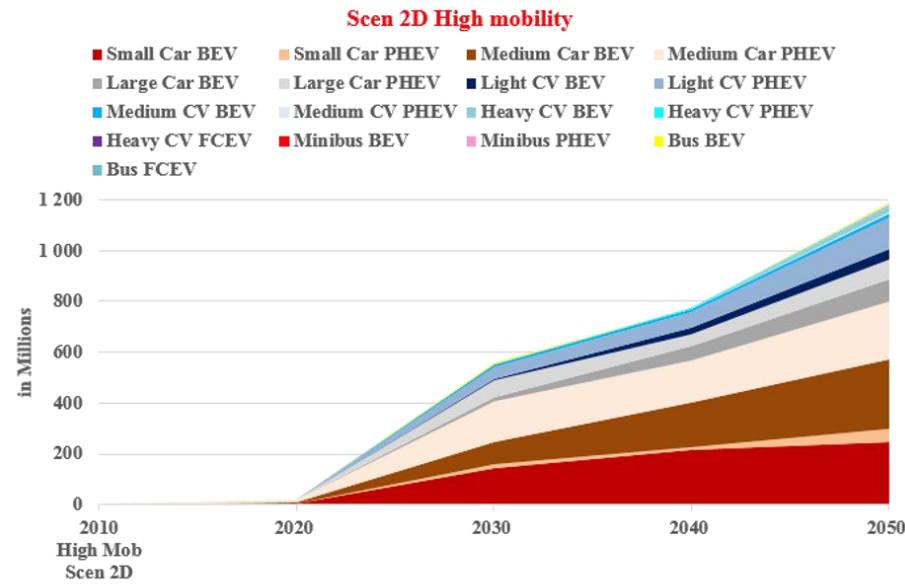
Limites : Résultats liés aux scénarios et aux hypothèses du modèle... liées en partie aux données disponibles !

Quelle demande en 2050 ?

Parc automobile (scénario contraignant)



Catégorie de véhicule



Quantité de matière (endogénéisation ou post- traitement, cumulée 2005-2050)



Lithium

6 à 24 Mt



Nickel

18 à 122 Mt



Cobalt

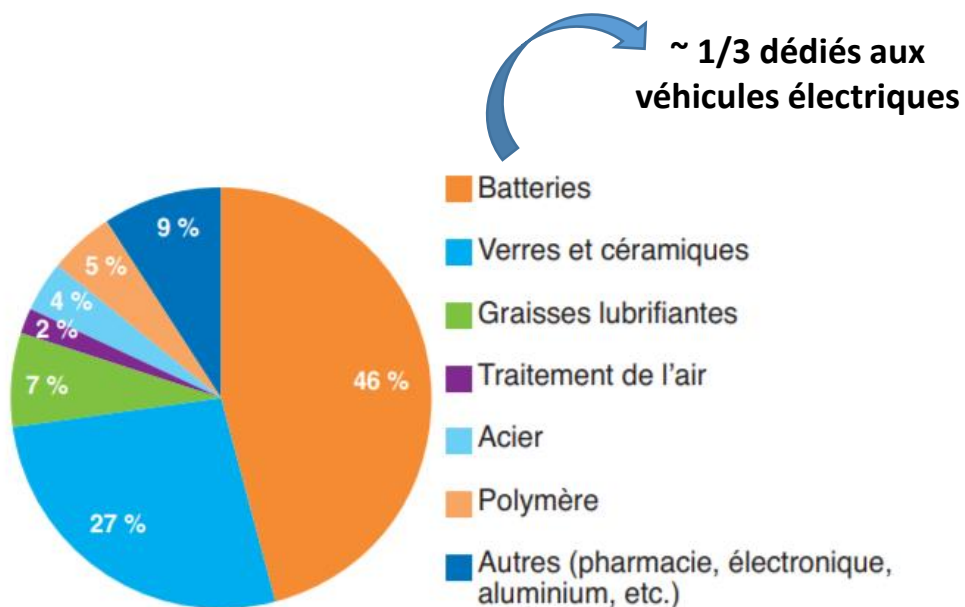
4 à 18 Mt

Does it matter ?



Lithium : Production tirée par le secteur des batteries

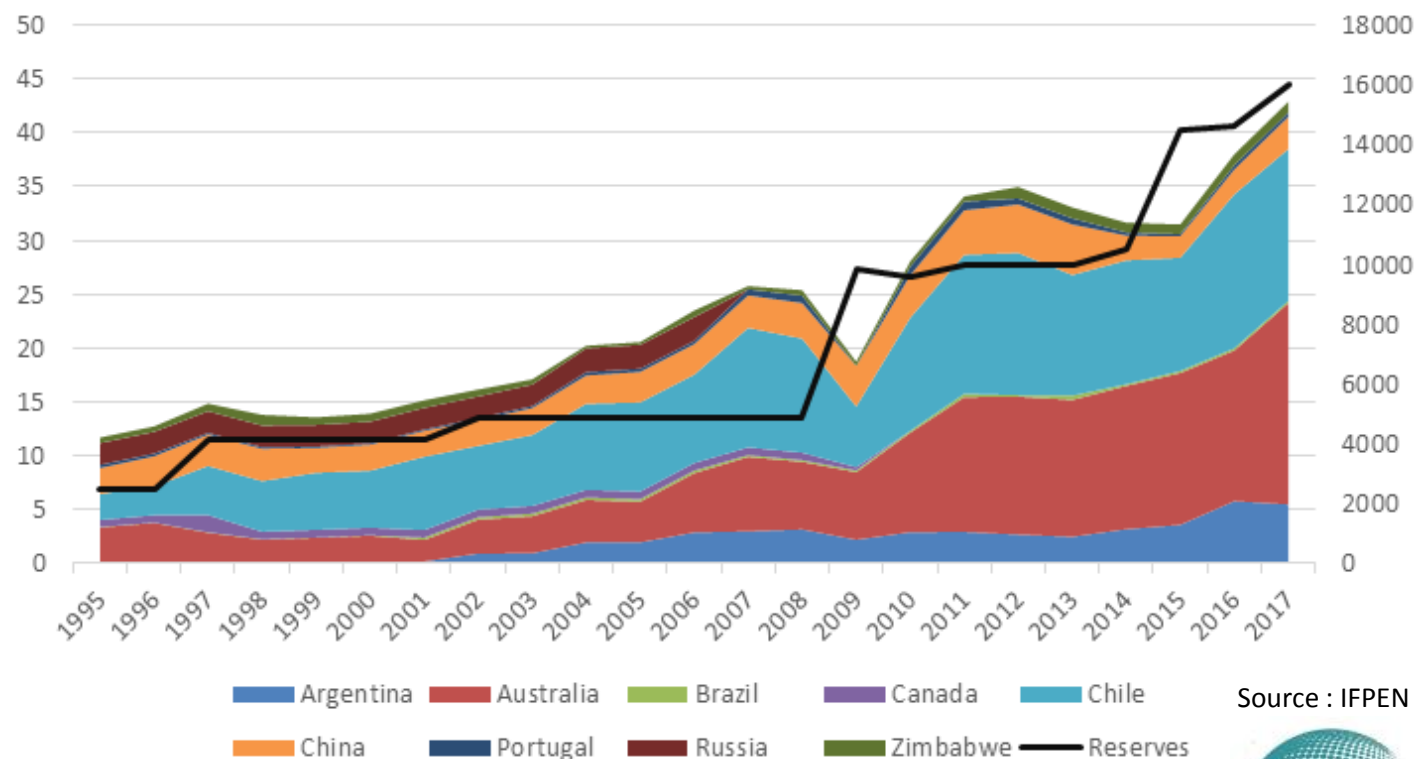
En 2017 : 45 kt de production



Source : USGS (2018)

Nota Bene : Le lithium représente **3% en masse de la batterie** et seulement **quelques pourcents du prix** de celle-ci

World lithium production per year and per country (kt, left axis) and global world reserve (right axis)

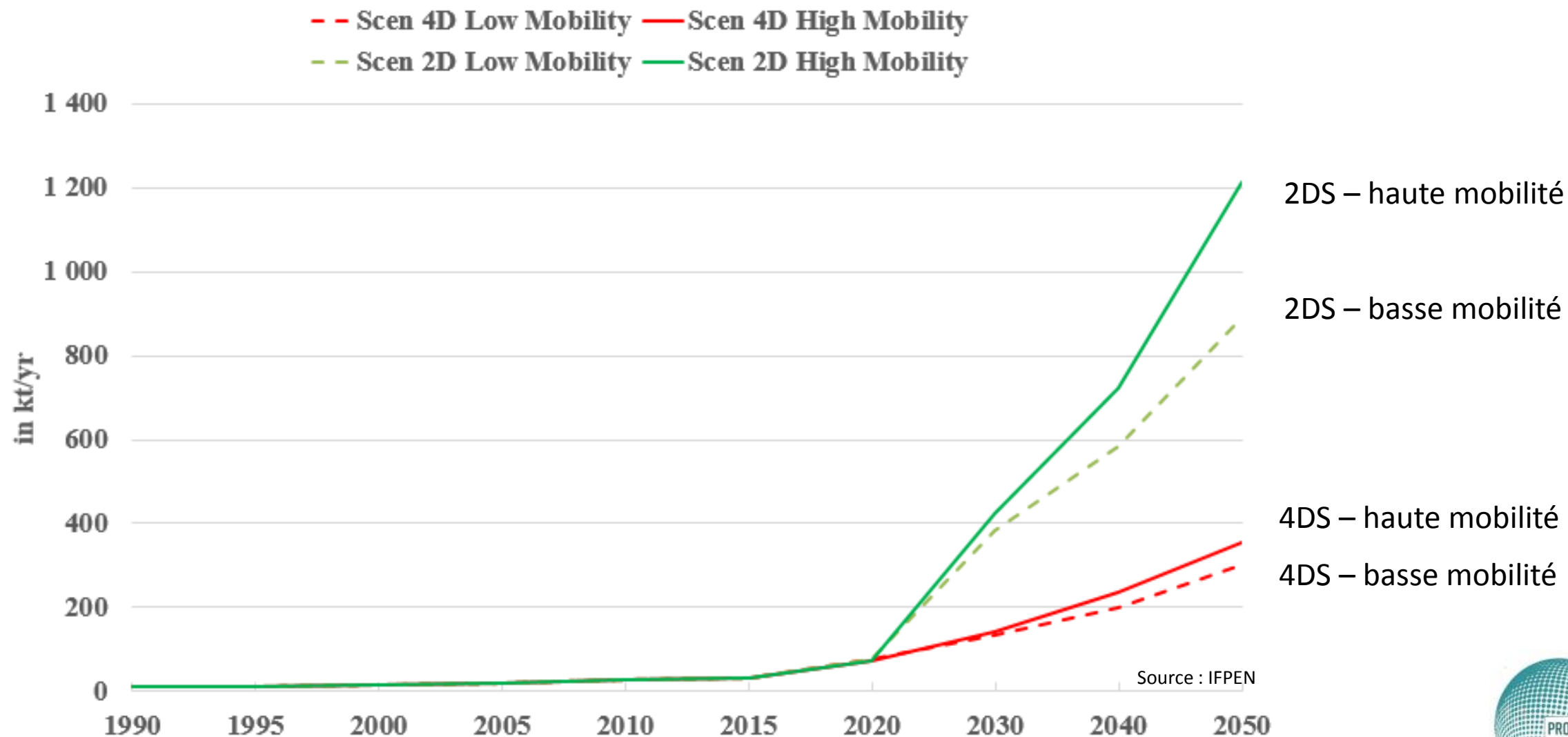


Source : IFPEN

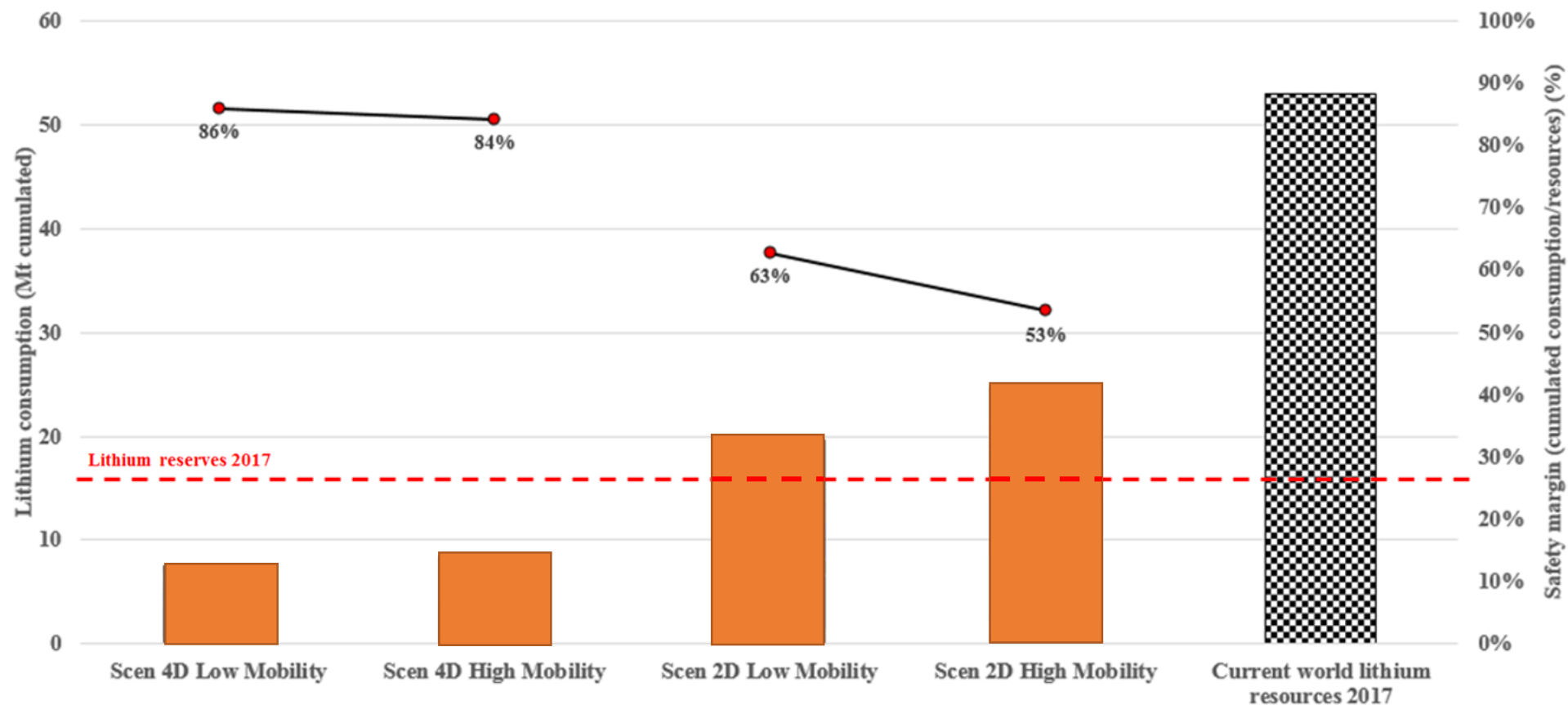
Il faudrait 530 années de production (2017) pour répondre à la demande cumulée de 24 Mt !



Lithium : une demande exponentielle



Lithium : Des ressources conséquentes

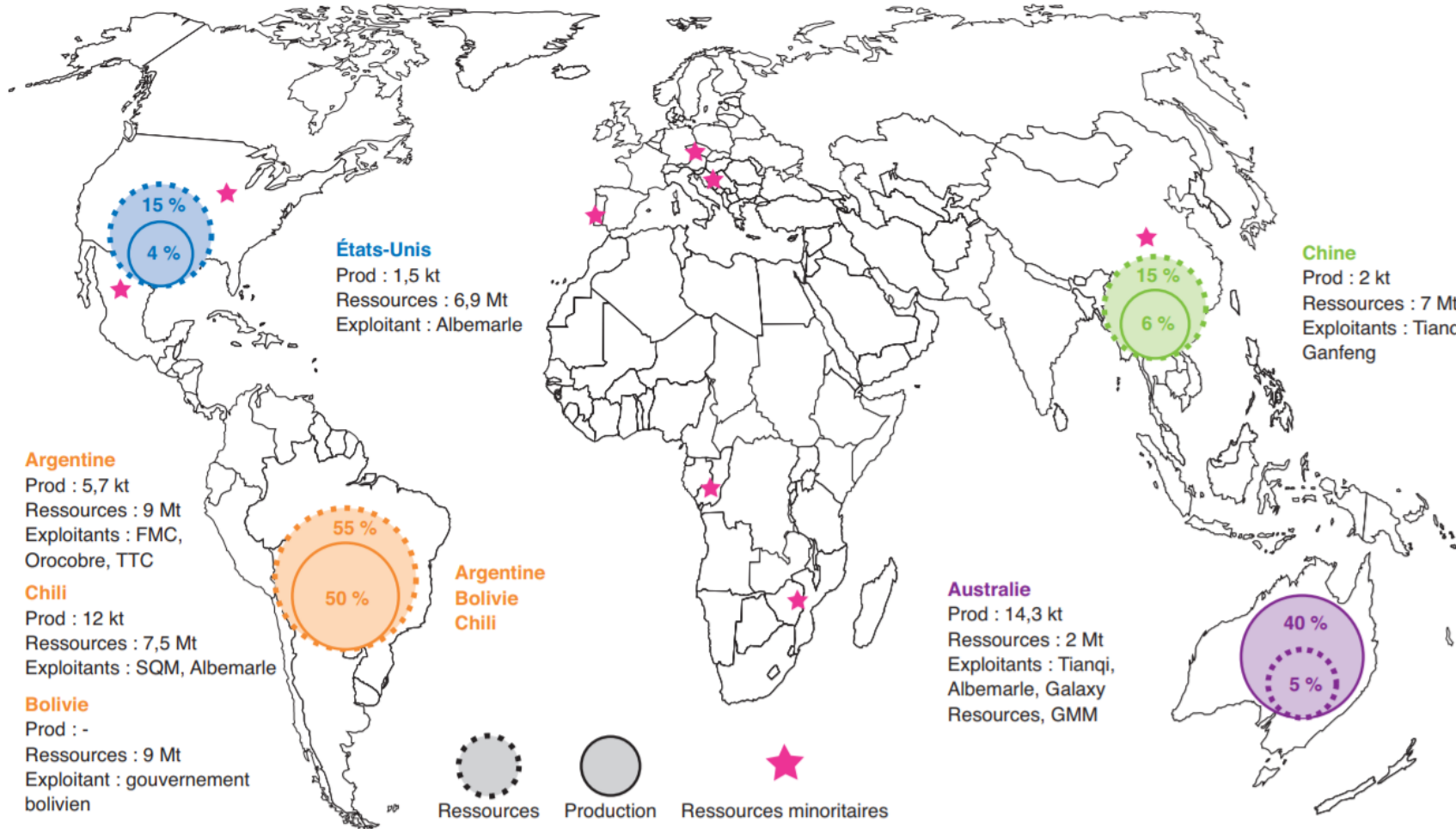


**53 Mt de
ressources
(2018) !**

Demande
concentrée vers
Chine, Inde,
Etats-Unis,
Europe

Source : IFPEN

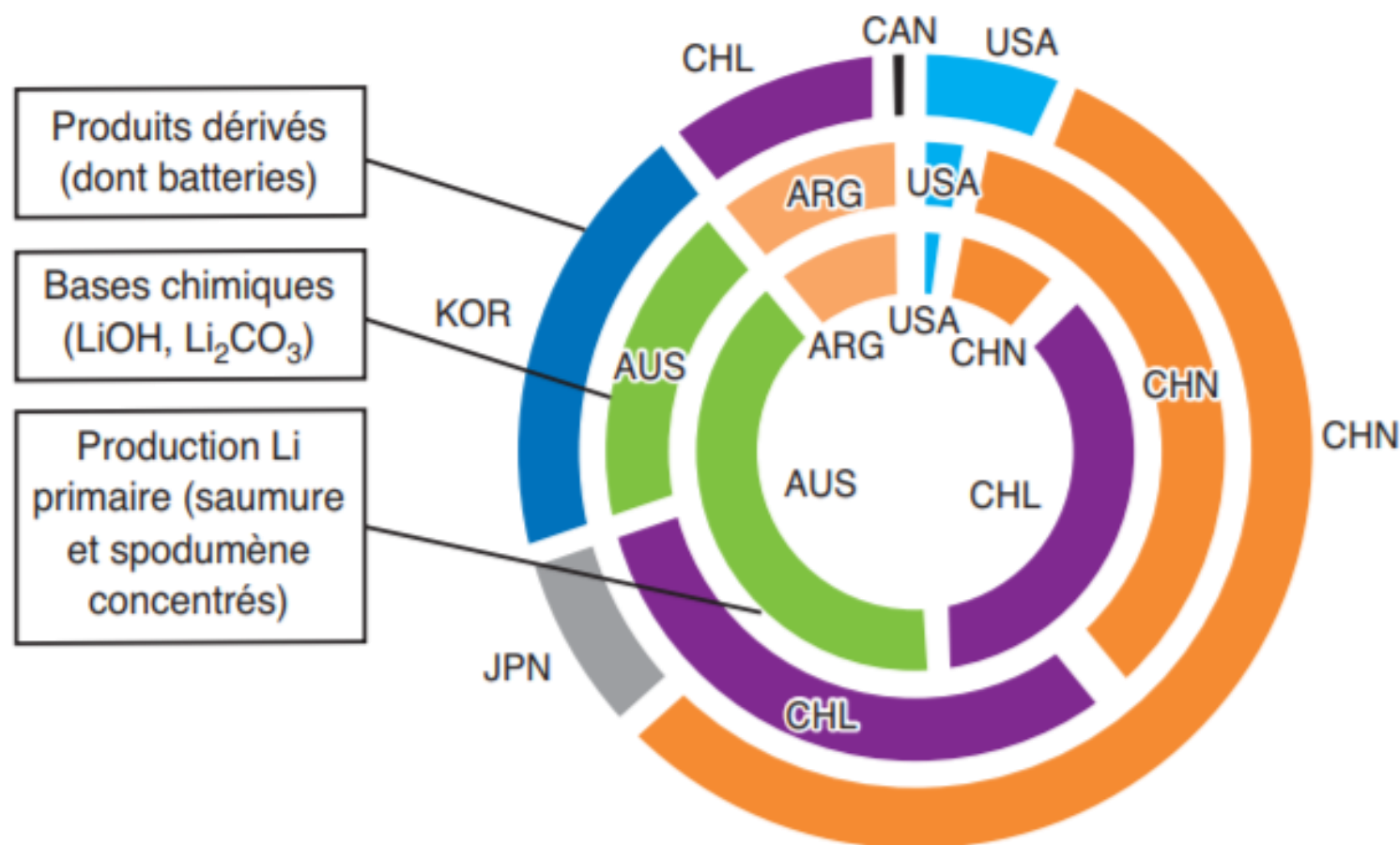
Lithium : concentration géographique



- Mises en production longue
- Des ressources localisées (Am. du Sud)
- Des stratégies nationales différenciées

Source : IFPEN

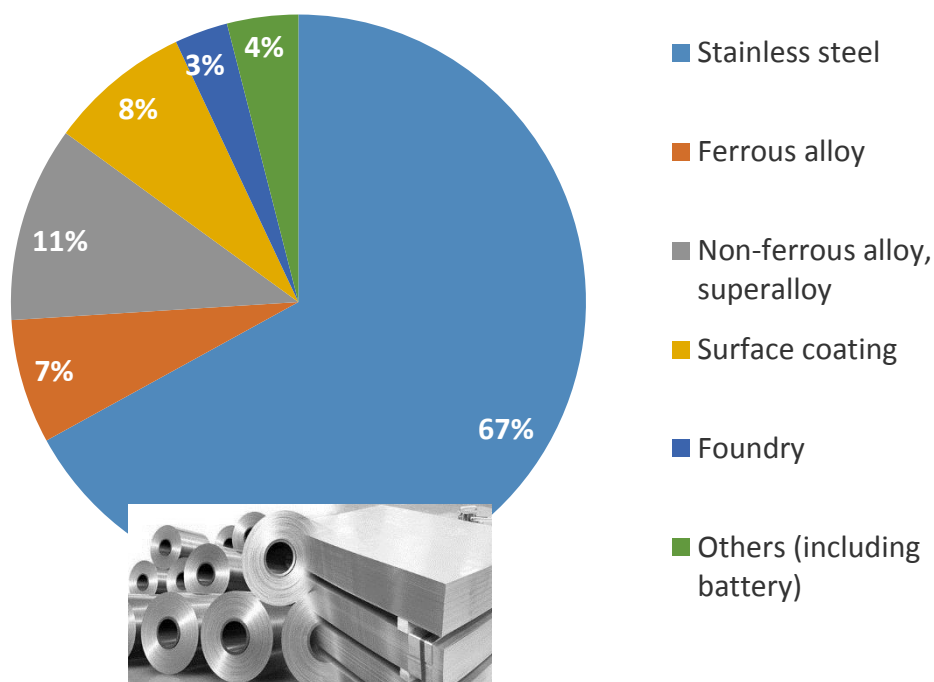
Lithium : fort pouvoir de marché chinois



Source : Hao et al. (2017)

Nickel : Pas de problème de disponibilité

En 2017 : 2.1 Mt de production



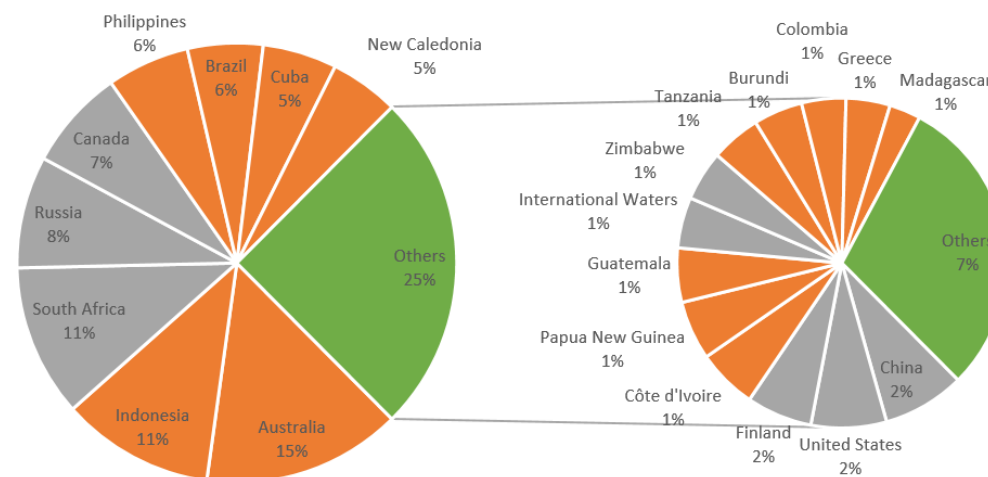
Source Nickel Institute

Nickel produit historiquement : 60 Mt

Nickel en usage et disponible pour recyclage >25 Mt

Ressources onshore : 296 Mt

Offshore & onshore : 600 Mt



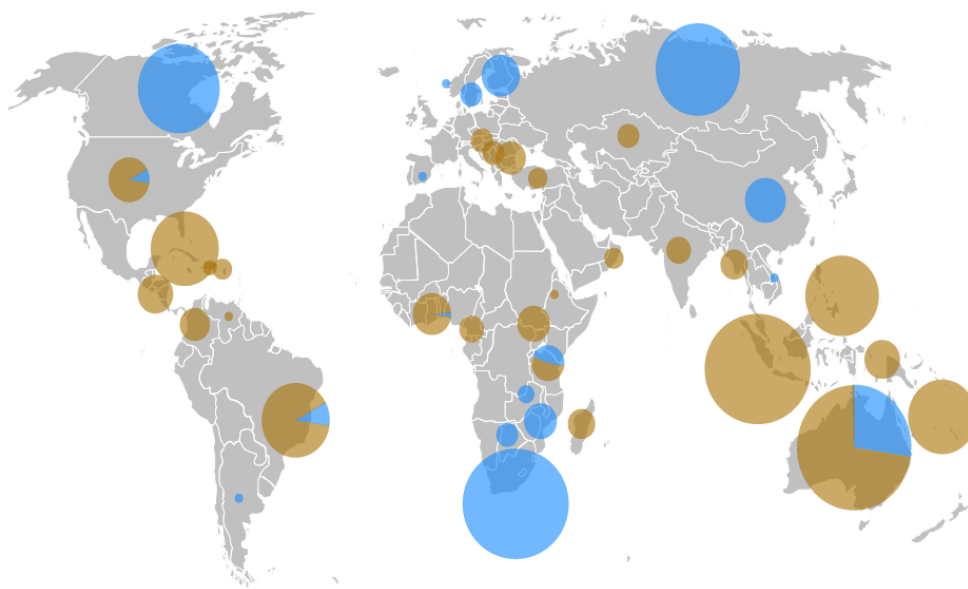
Source Mudd (2014)

Nickel : de Class I s'il vous plaît !

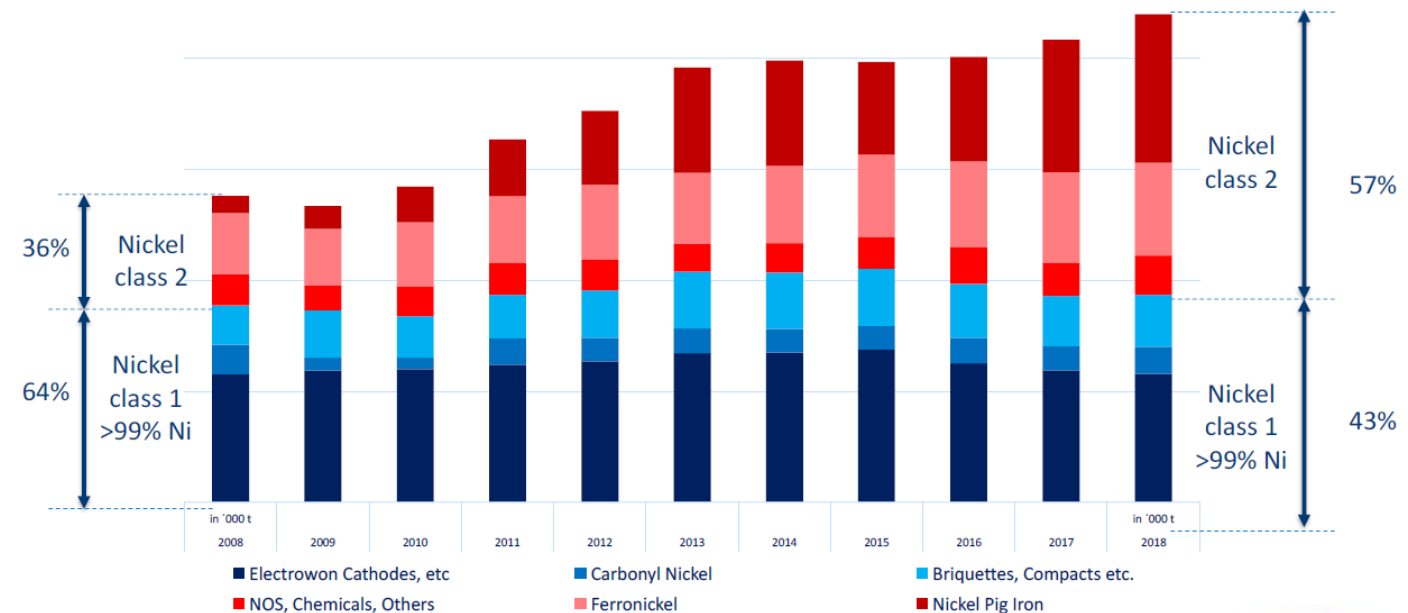
Laterite (60%)

Sulfide (40%)

Class I : NiSO_4 (batteries)



Source : Nickel Institute

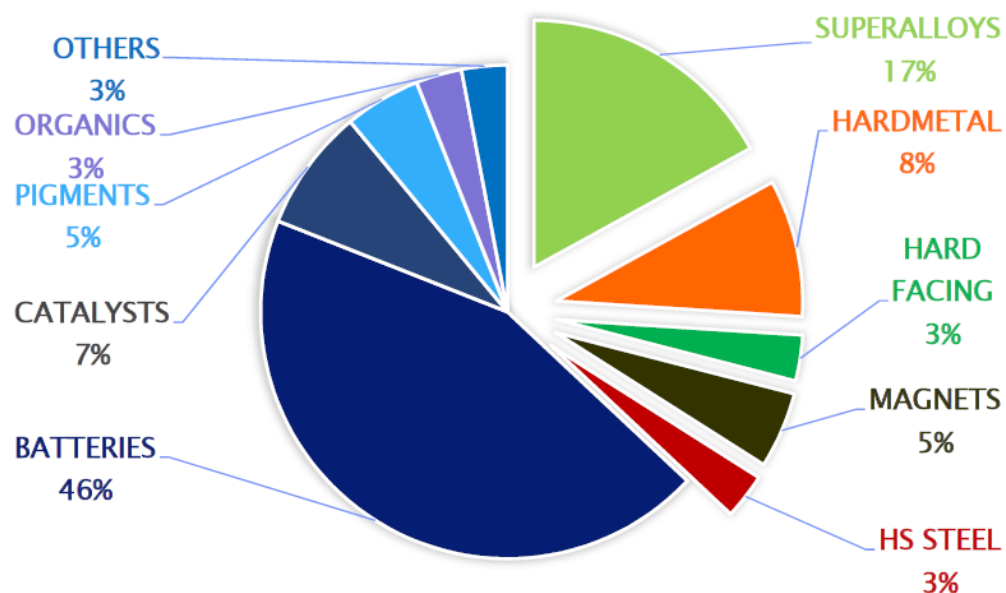


Source : Nickel Institute

Cobalt : situation monopolistique

En 2017 : 110 kt de production

Chemical Applications 64%



SOURCE: CI-CRU (2017)

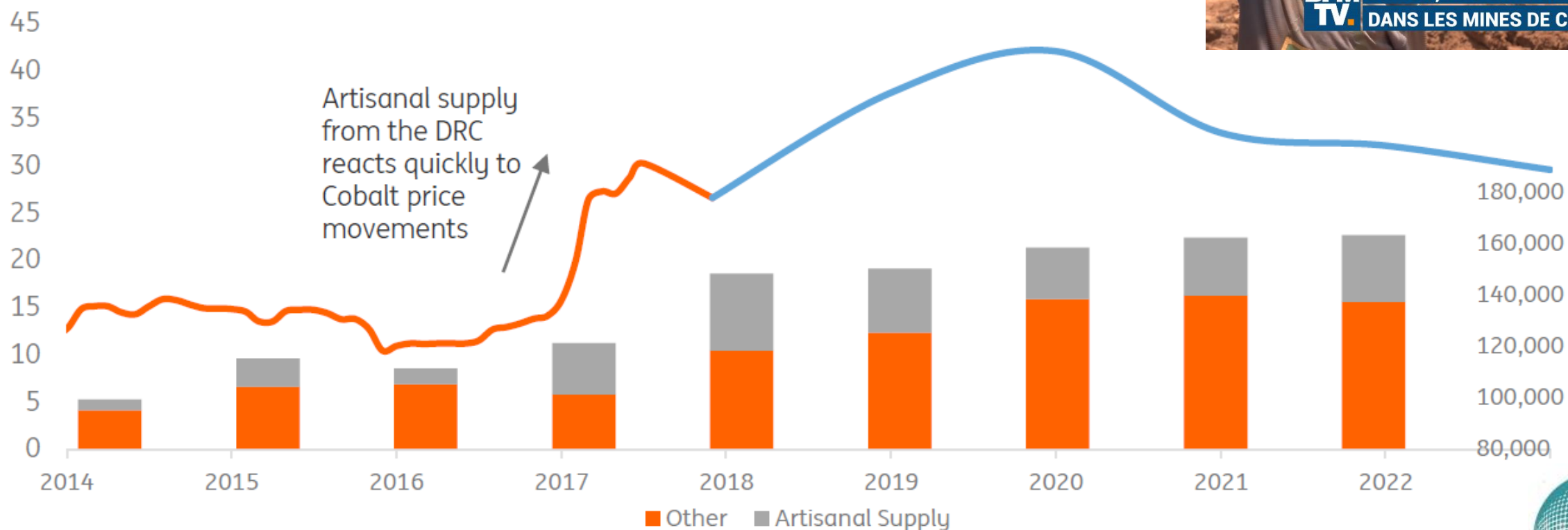
Ressources : 25 Mt

Metallurgical Applications 36%

Major ore producers	DRC (58%) Russia (5%) Australia (5%)
Major refined producers	China (48%) EU (19%) Canada (6%)

Cobalt : éthique contestée

Cobalt price (forecast in constant\$ 2017 in US\$/lb (LHS) and tonnes (RHS))



Source : ING (depuis CRU Research)

A retenir pour les néophytes



Lithium

Pas de substitution possible dans les batteries en l'état technologique actuel

Ressources majoritairement présentes dans le « triangle du lithium » en Am. Du Sud

Raffinage du lithium à plus de 50% en Chine (Tianqi – Ganfeng)



Nickel

Pas de problème de disponibilité du nickel (larges ressources)

Pour les batteries nécessité d'une haute pureté (Ni class I) - Manque de CAPEX dans la filière

La demande de nickel pour les batteries ne va pas *a priori* impacter la structure de la filière



Cobalt

Part décroissante dans les batteries pour véhicules électriques (car coût élevé)

Production et réserves concentrées en République démocratique du Congo (droit de l'homme)

Prise de conscience forte + diversification de l'approvisionnement (Australie, Canada)

Attention : Veille nécessaire importante

Quels sont les grands enjeux ?

- Produire assez pour suivre la demande croissante – cobalt et lithium
- Sensibiliser à l'évaluation des risques des matières premières – Améliorer le transfert de connaissances/données entre les secteurs académiques et industriels
- Utiliser des matières premières produites de manière responsable – nécessité d'un engagement plus fort de la part des OEMs
- Améliorer la transparence sur la chaîne d'approvisionnement – certifications d'origine, normes ISO, Analyse ACV, data acquisition
- Développer des partenariats plus forts le long de la chaîne de valeur – Nécessité d'augmenter les investissements et l'attractivité du secteur minier
- Se protéger contre la volatilité des prix sur les marchés - Développer des produits financiers dédiés sur les marchés
- Travailler sur l'acceptabilité sociale de l'extraction minière auprès du grand public – Développer des éco-étiquetages

Un peu de pub !



Emmanuel
Hache



Gondia Sokhna
Seck



Samuel
Carcanagues



Clément
Bonnet



Marine
Simoën

GENERATE:

Renewable Energies Geopolitics and Future Studies on Energy Transition



Quelques lectures...

- Pourquoi parle-t-on de « criticité » des matériaux ? (The conversation)
- Les matériaux de la transition énergétique : le lithium (The conversation)
- The nexus between climate negotiations and low-carbon innovation: A GEOPOLITICS OF RENEWABLE ENERGY PATENTS (Working paper)
- The Impact of Future Generation on Cement Demand: an Assessment based on Climate Scenarios (Working paper)

<https://theconversation.com/pourquoi-parle-t-on-de-criticite-des-materiaux-105258>

<https://theconversation.com/les-materiaux-de-la-transition-energetique-le-lithium-105429>

<http://www.iris-france.org/wp-content/uploads/2018/12/GENERATE-Working-Paper-1-December-2018.pdf>

<http://www.iris-france.org/wp-content/uploads/2019/01/Working-PAPER-GENERATE-THE-IMPACT-OF-FUTURE-GENERATION-ON-CEMENT-DEMAND-janvier2019.pdf>



Merci pour votre attention !

Contact : Marine Simoën (LinkedIn)



Lithium – Keyfacts

Lithium - Keyfacts

Annual world production (kt)	45
Reserves (kt) (R/P ratio)	16 000 (356 years)
Extraction ore	Main product
Major ore producers	Australia (42%) Chile (31%) Argentina (12%)
Major refined producers	China (> 50%) Chile Argentina
Major end uses	Battery chemicals (46%) Glass, ceramic (27%) lubricating grease (7%)
Substitution	No
Recycling	No
Quotation	No



Nickel - Keyfacts

Nickel - Keyfacts

Annual world production (kt)	1 900
Reserves (kt) (R/P ratio)	100 000 (53 years)
Extraction ore	Main product
Major ore producers	Philippines (24%) Canada (10%) Russia (10%)
Major refined producers	China (30%) USA (18%) Russia (10%)
Major end uses	Stainless steel (67%) Alloys, coating (26%) Others (inc. Bat.) (7%)
Substitution	Limited
Recycling rate	High (34%)
Quotation	Yes (LME)



Cobalt - Keyfacts

Cobalt - Keyfacts

Annual world production (kt)	110
Reserves (kt) (R/P ratio)	7 100 (65 years)
Extraction ore	By-product (Ni, Cu)
Major ore producers	DRC (58%) Russia (5%) Australia (5%)
Major refined producers	China (48%) EU (19%) Canada (6%)
Major end uses	Battery chemicals (50%) Superalloys (17%) Hard materials (8%)
Substitution (for battery)	Limited
Recycling rate	Medium
Quotation	Yes

