



LES MÉTAUX STRATÉGIQUES : LE NOUVEAU DÉFI DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



Christophe POINSSOT, Patrick D'HUGUES
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)
Directeur Général Délégué et Directeur Scientifique



1 – De la dépendance aux énergies fossiles à celles aux métaux



Les besoins en ressources minérales sont et resteront en croissance ...

Net Zero Carbon



Transition énergétique et écologique

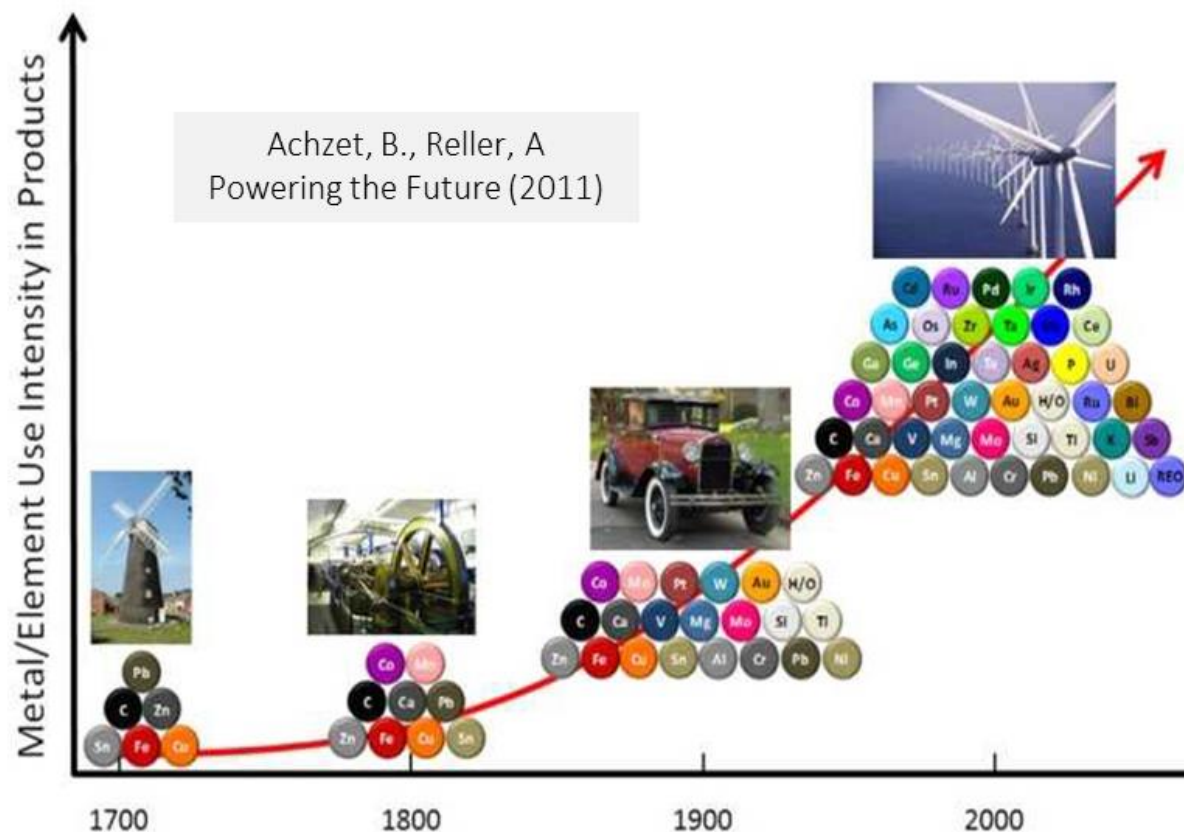


Transition numérique



Croissance économique

- Technologies innovantes reposent sur des matériaux finalisés de plus en plus complexes → **quantité ↗**
métaux mineurs/rares ↗, **exigences de pureté ↗**



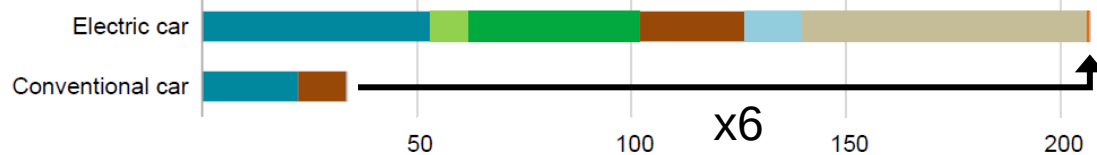
Les nouvelles technologies bas carbone sont avides en ressources minérales (2/2)

- Les nouvelles technos bas-carbone fortement demandeuses en métaux
- Moyens de production comme d'usages

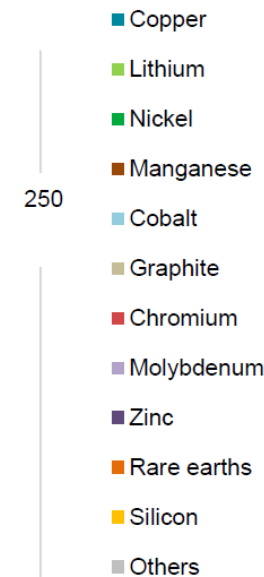
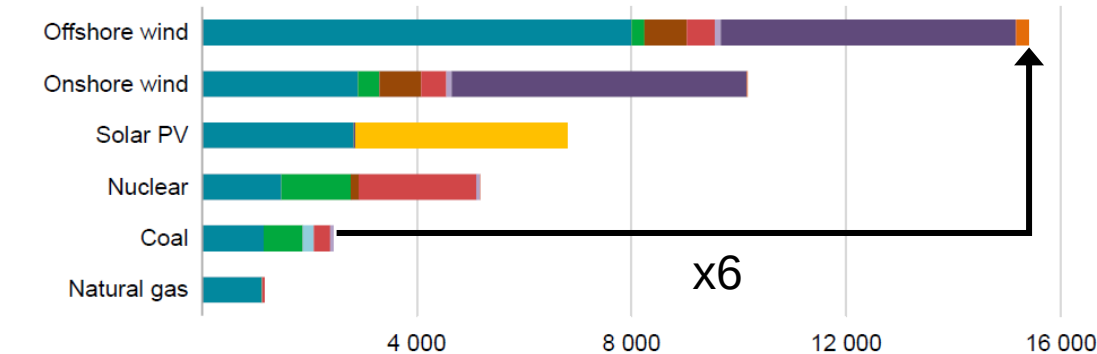
- Forte augmentation des besoins en métaux
- Métaux "historiques" (Cu...) comme "nouveaux" (Li, Mn, Co...)

Minerals used in selected clean energy technologies

Transport (kg/vehicle)

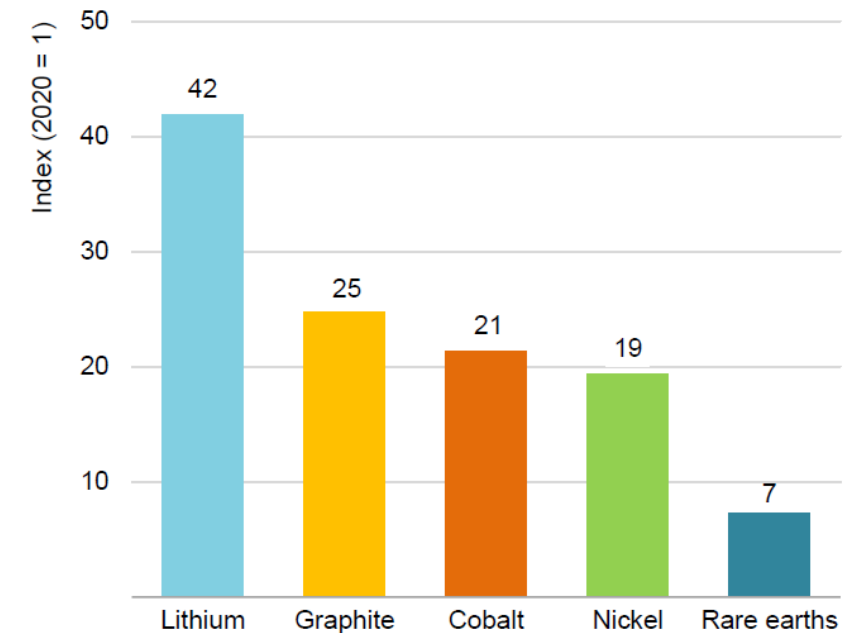


Power generation (kg/MW)



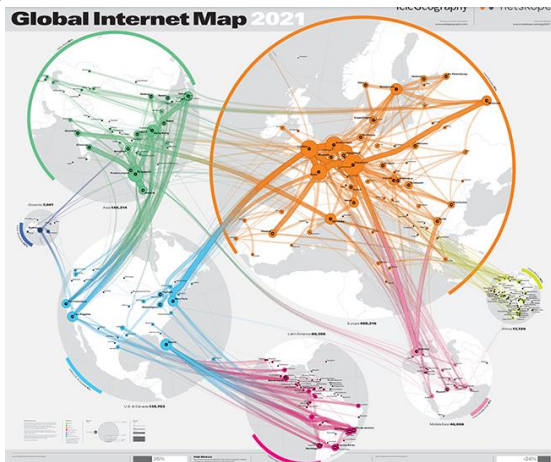
IEA. All rights reserved.

Growth of selected minerals in the SDS, 2040 relative to 2020

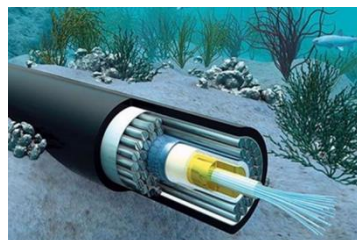


IEA. All rights reserved.

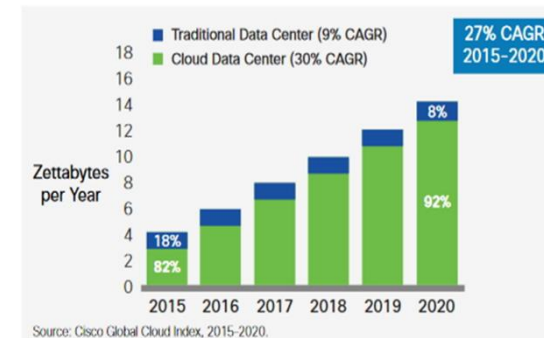
Le monde numérique est un monde très riche en métaux



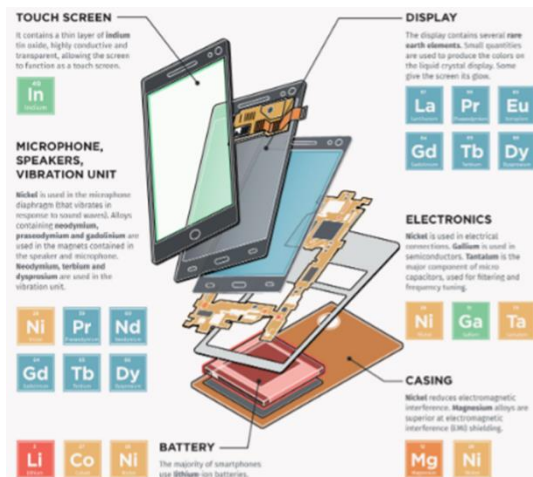
❶ Internet est avant tout un réseau physique



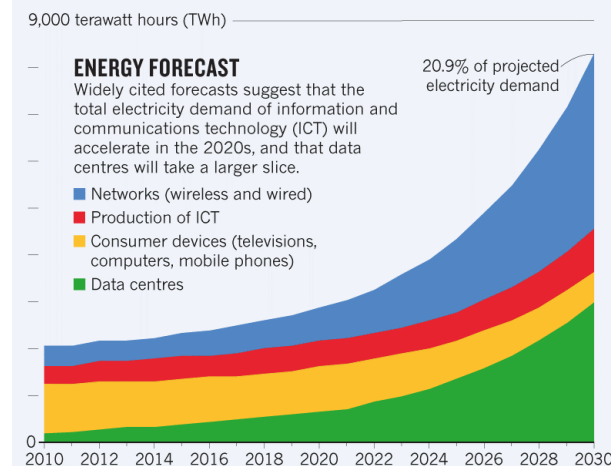
❷ Quantité de données stockées explosent



❸ Objets connectés sont riches en métaux



❹ Monde numérique consomme une part croissante d'énergie



Les transitions énergétiques et numériques mobilisent des ressources similaires

Les éléments des transitions énergétiques et numériques

1

H

2

He

3

Li

4

Be

11

Na

12

Mg

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

57-71

Lanthanides

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

89-103

Actinides

57

La

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

89

Ac

90

Th

91

Pa

92

U

93

Np

94

Pu

95

Am

96

Cm

1

H

2

He

3

Li

4

Be

11

Na

12

Mg

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

57-71

Lanthanides

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

89-103

Actinides

57

La

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

89

Ac

90

Th

91

Pa

92

U

93

Np

94

Pu

95

Am

96

Cm

1

H

2

He

3

Li

4

Be

11

Na

12

Mg

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

57-71

Lanthanides

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

89-103

Actinides

57

La

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

89

Ac

90

Th

91

Pa

92

U

93

Np

94

Pu

95

Am

96

Cm

1

H

2

He

3

Li

4

Be

11

Na

12

Mg

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

57-71

Lanthanides

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

89-103

Actinides

57

La

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

89

Ac

90

Th

91

Pa

92

U

93

Np

94

Pu

95

Am

96

Cm

1

H

2

He

3

Li

4

Be

11

Na

12

Mg

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

57-71

Lanthanides

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

89-103

Actinides

57

La

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

89

Ac

90

Th

91

Pa

92

U

93

Np

94

Pu

95

Am

96

Cm

1

H

2

He

3

Li

4

Be

11

Na

12

Mg

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

57-71

Lanthanides

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

89-103

Actinides

57

La

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

89

Ac

90

Th

91

Pa

92

U

93

Np

94

Pu

95

Am

96

Cm

1

H

2

He

3

Li

4

Be

11

Na

12

Mg

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

 éléments critiques - forte et très forte criticité

 éléments stratégiques - non critiques

Terres rares légères

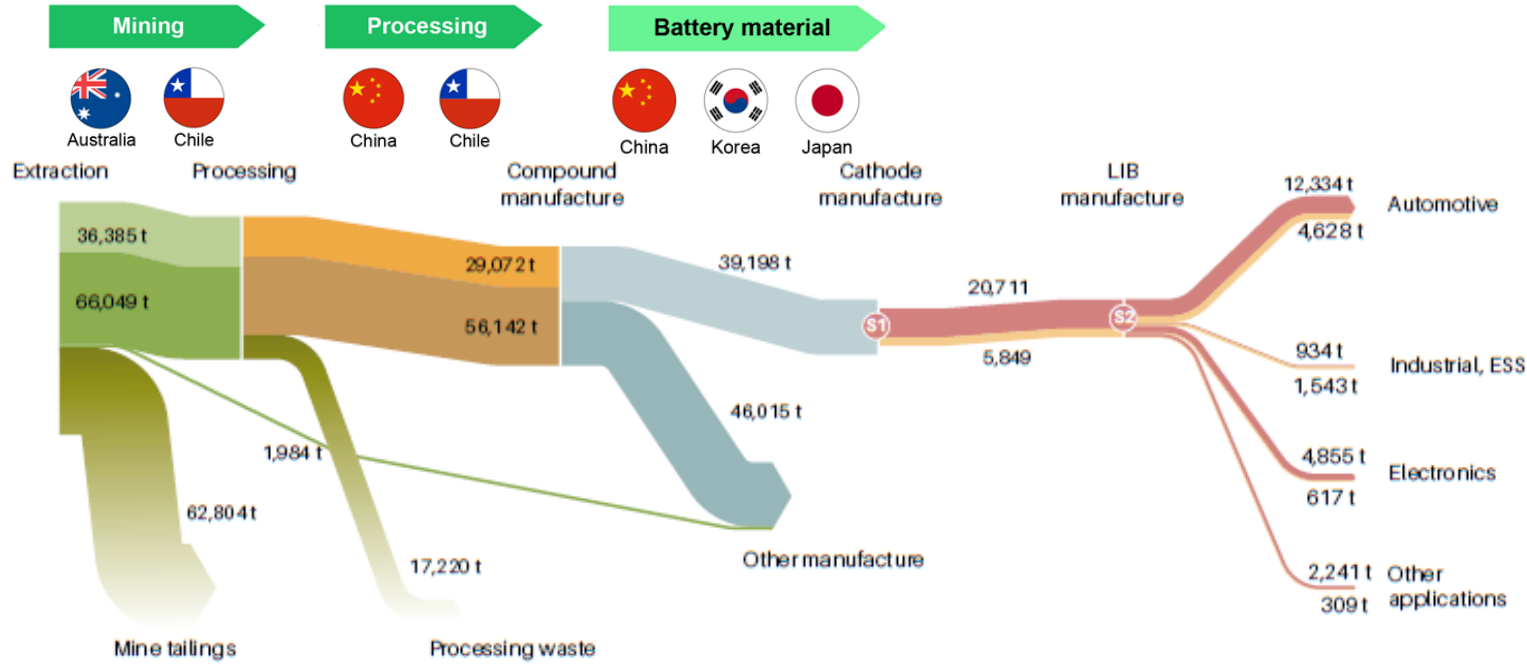
Terres rares lourdes

Transition énergétique

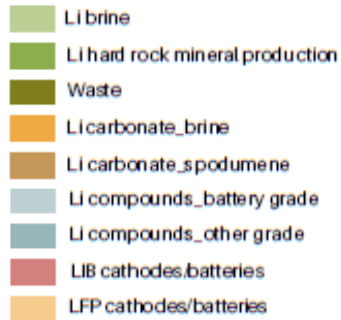
Transition numérique

- **Diversité** : Très nombreux métaux nécessaires pour les technologies décarbonées et numériques
- **Quantité**: il faudra produire plus de ressources minérales d'ici 2050 que depuis le début de l'humanité, y compris pour les métaux majeurs
- **Conflit usage**: explosion de la demande va mettre les différents usages en concurrence

Maîtriser une chaîne d'approvisionnement requiert de maîtriser l'ensemble des étapes



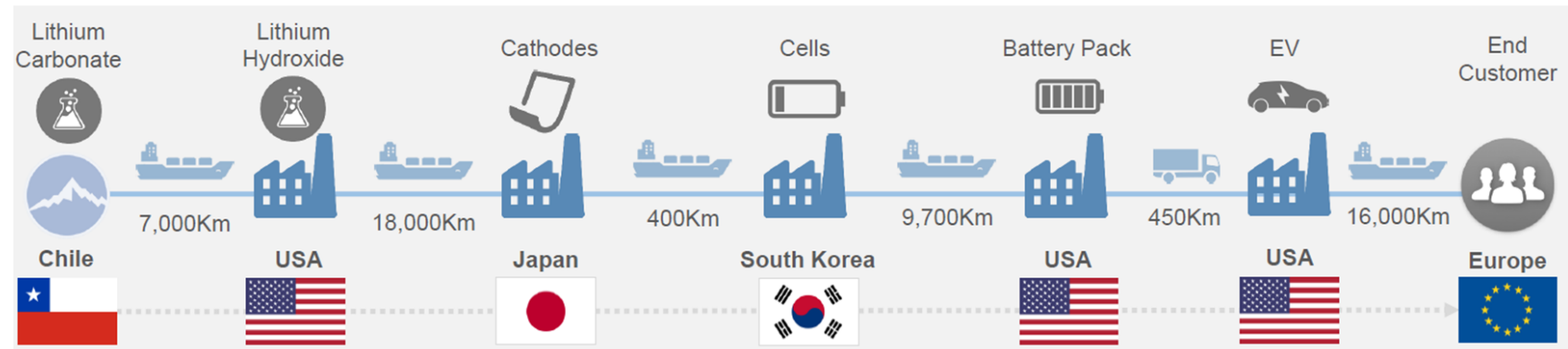
Legend



S1: 18,000 t
S2: 6,750 t

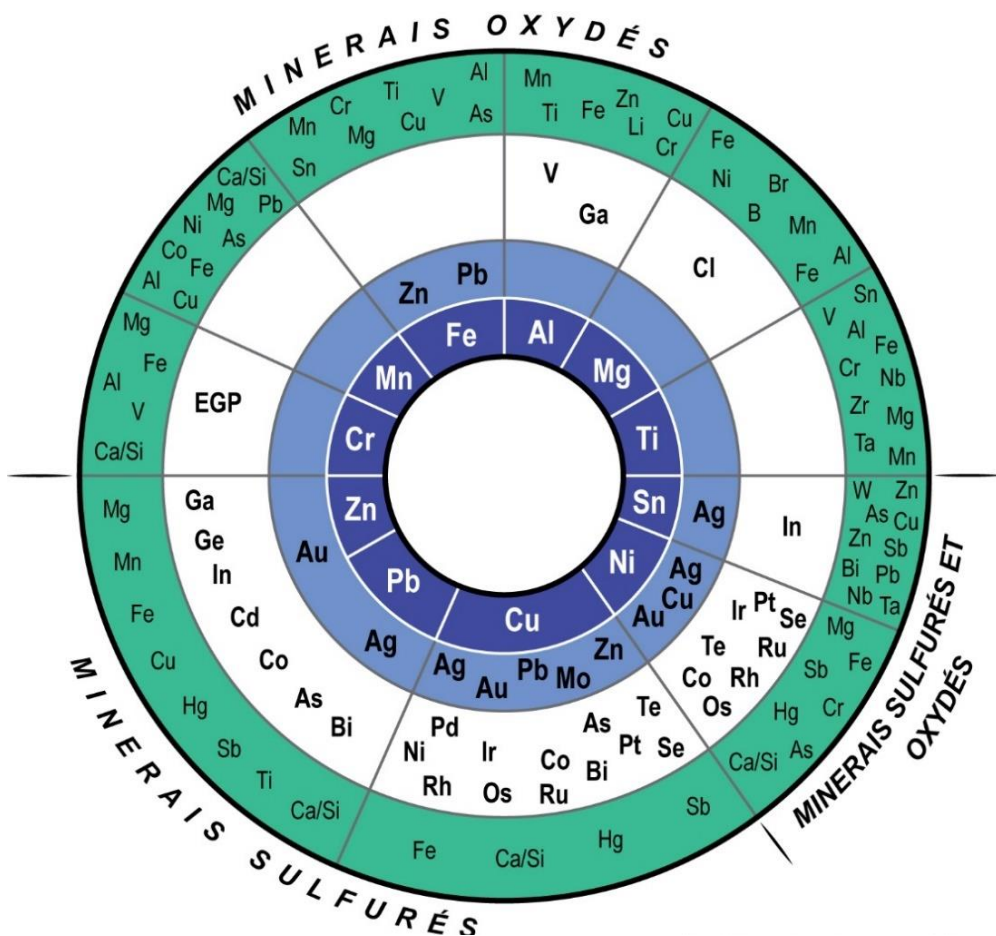
- **Chaîne d'approvisionnement** = succession d'étapes de traitement dépendantes de la nature du minéral
- Opérations supplémentaires souvent réparties dans différents pays → contrôle chaîne de valeurs peut se faire à tous les niveaux
- Chine a progressivement investi sur l'ensemble des chaînes de valeurs

The lithium inside your car travels more than **50,000km** before you even start driving*



Pour une grande part, les métaux stratégiques ne sont pas « extraits pour eux-mêmes »

- Petits métaux dépendent de la production d'un « métal hôte » → **inélasticité de l'offre**



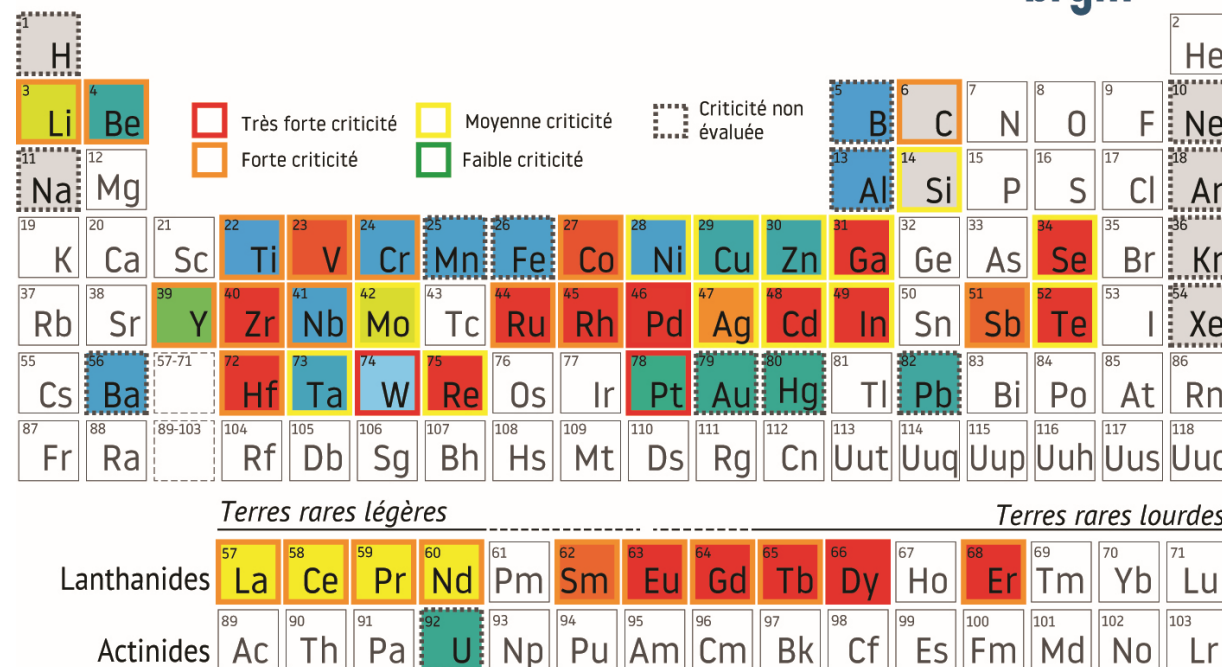
Métaux porteurs. Métaux principaux, généralement de moindre valeur.

Co-éléments qui ont une infrastructure propre conséquente. Valorisables à haute valeur économique: certains utilisés dans les hautes technologies

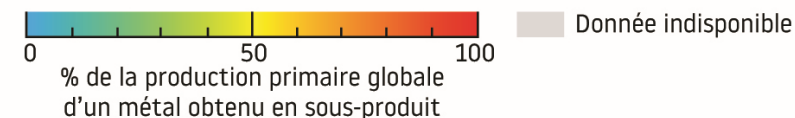
Co-éléments qui ont une infrastructure propre absente ou limitée. La plupart fortement valorisable, métaux de haute-technologie (ex. électronique)

Co-éléments finissant en déchets ou en émissions. Coûteux du fait de la gestion des déchets ou des procédés en fin du cycle de vie.

Les éléments de la transition énergétique



D'après Nassar et al., 2015



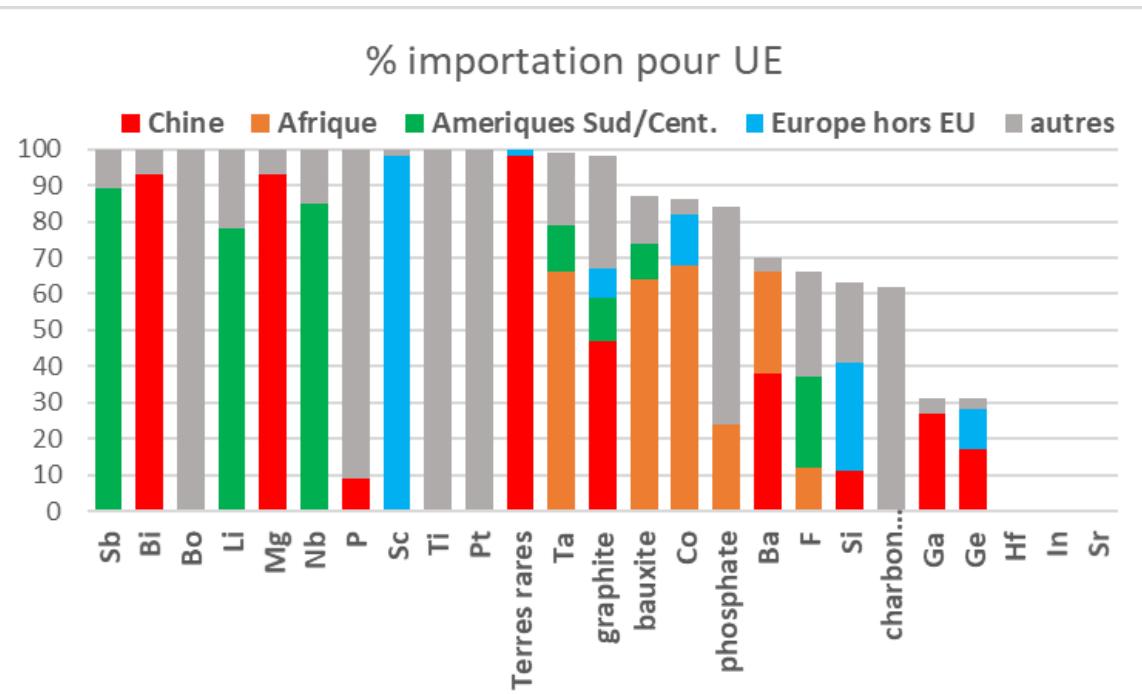
→ **Grande complexité et opacité des chaînes de valeurs minérales**

2 – Quelles solutions pour sécuriser des approvisionnements en France et en Europe ?

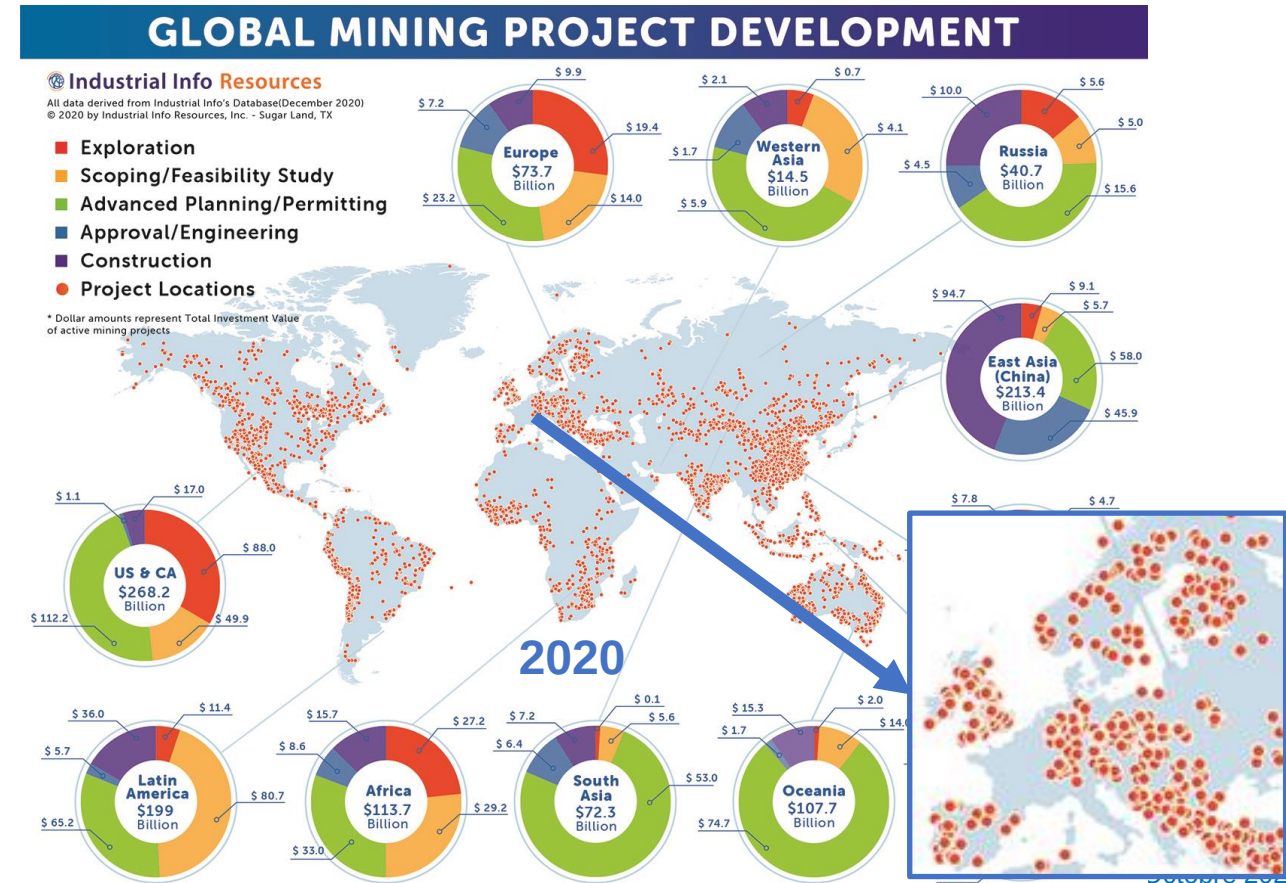


La France et l'Europe ont perdu leur souveraineté minérale

- Activités extractives et de premières transformations ont été **progressivement transférées** vers pays à bas coût de main d'œuvre et moins regardants sur l'impact environnemental → forte dépendance
- L'absence visible d'industrie extractive en métropole a modifié le **regard de la société** française sur cette industrie "*dénigrée*"



- Sous-sol reste **riche en ressource minérales** mais leur exploitation représente un défi énergétique, environnemental, politique et sociétal
- Cours des matières → réserves exploitables = f(temps) et ampleur des investissements



- **Impossibilité de couvrir 100% des besoins** (*croissance de la demande, difficultés de la collecte, limitation physique et énergétique, nouveaux besoins ...*) ➔ **ne résoudra pas la question des approvisionnements**

Aggregates	Bentonite	Coaking Coal	Diatomite	Feldspar	Gypsum	Kaolin Clay	Limestone	Magnesite	Natural Cork	Natural Graphite	Natural Rubber	Natural Teak Wood	Perlite	Sapele wood	Silica Sand	Talc
7%	50%	0%	0%	10%	1%	0%	58%	2%	8%	3%	1%	0%	42%	15%	0%	5%

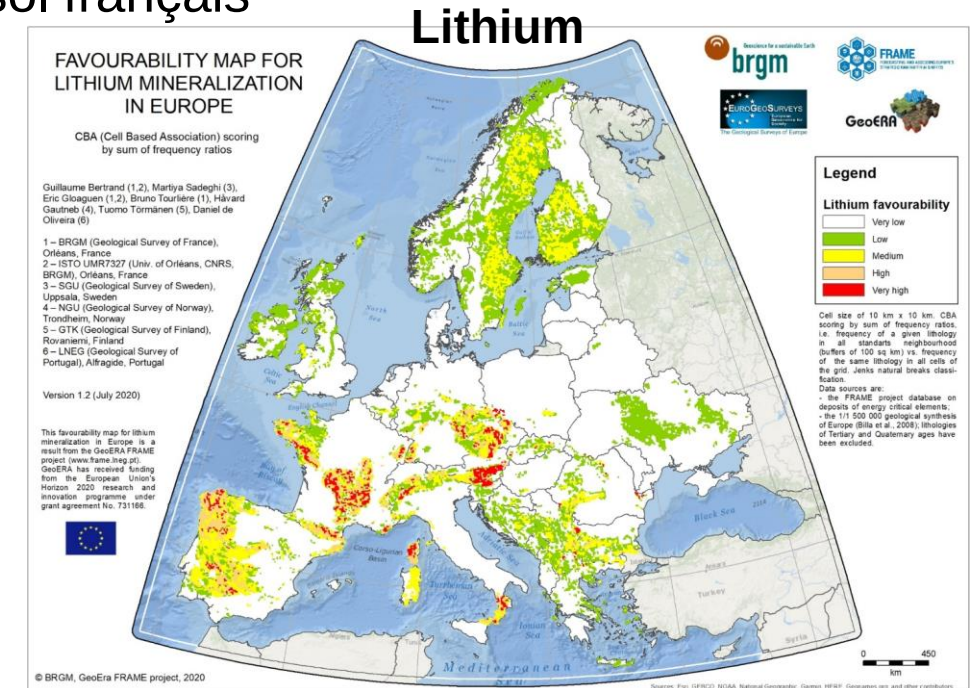
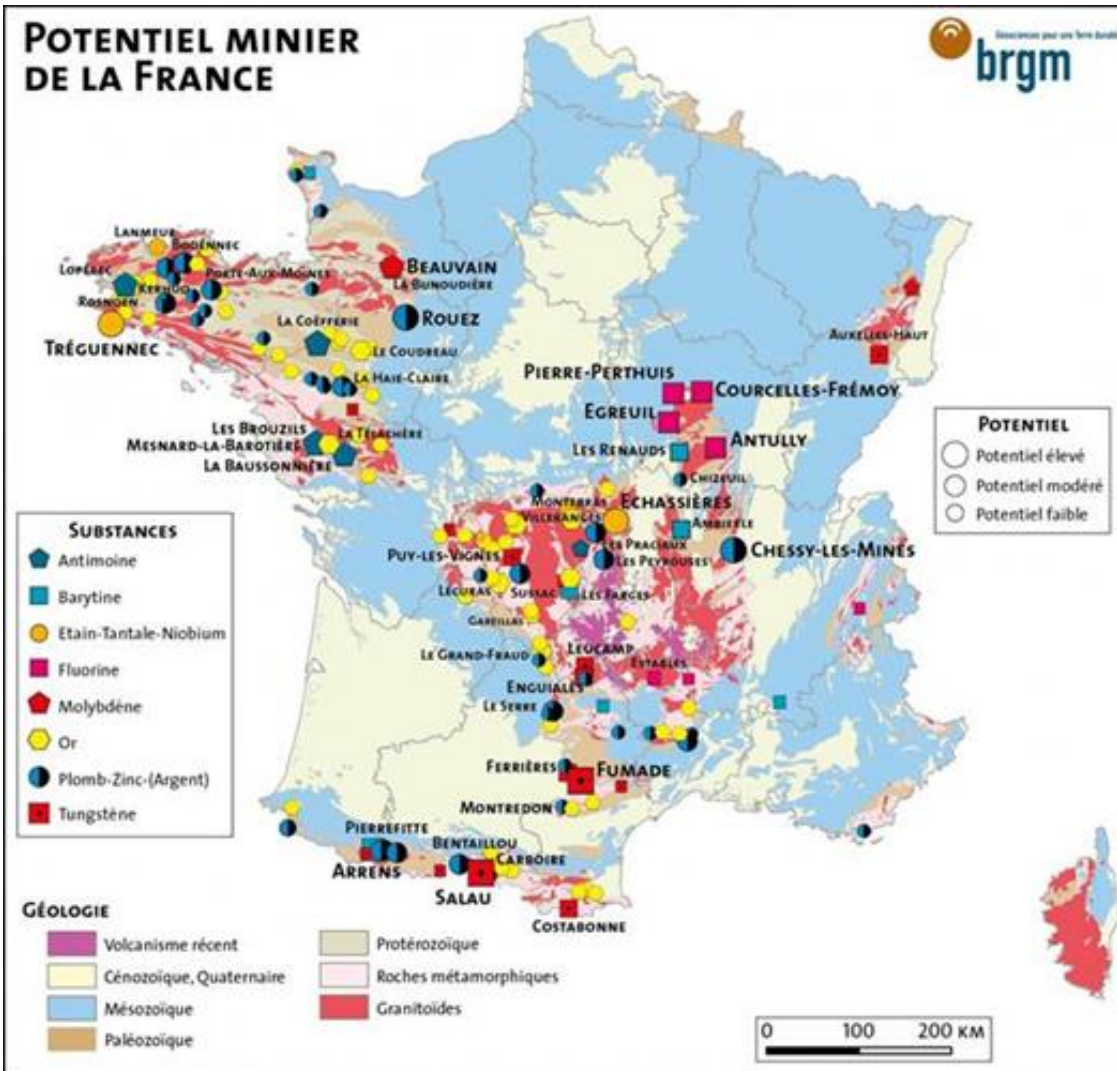
Le graphique illustre la demande en cuivre (courbe rouge) et le cuivre disponible dans les déchets (courbe verte) jusqu'en 2100. L'axe vertical mesure les tonnes de cuivre (0 à 250 000 000) et l'axe horizontal mesure l'année (2000 à 2100). Les points 1 à 9 marquent des données spécifiques. Les flèches bleues indiquent des décalages temporels, et la flèche orange pointe vers le point 9, soulignant que la demande ne peut être entièrement satisfaite par le recyclage.

Point	Année	Type	Tonnes de cuivre (approx.)
1	2020	Demande	20 000 000
2	2040	Déchets	20 000 000
3	2040	Demande	40 000 000
4	2060	Déchets	40 000 000
5	2060	Demande	70 000 000
6	2080	Déchets	70 000 000
7	2080	Demande	125 000 000
8	2100	Déchets	125 000 000
9	2100	Demande	225 000 000

- Complexité des usages fera émerger une **rationalisation des usages** (spécifications décroissantes le long des chaînes de valeur)

La France reste un pays avec un potentiel minier important

- Inventaire minier français **obsolète** et restreint à la proche surface (<300m) et pourtant on connaît déjà des gisements, certains de rang mondial (*W, Sb, Au, Mo, F, Pb-Zn, Ge, Sn-Ta-Nb, Li ...*)
- Métallogénie prédictive confirme la **richesse** potentielle du sous-sol français



➔ Reprise de la prospection et réouverture de mines en France sera un passage obligé

L'Europe dispose également de ressources importantes

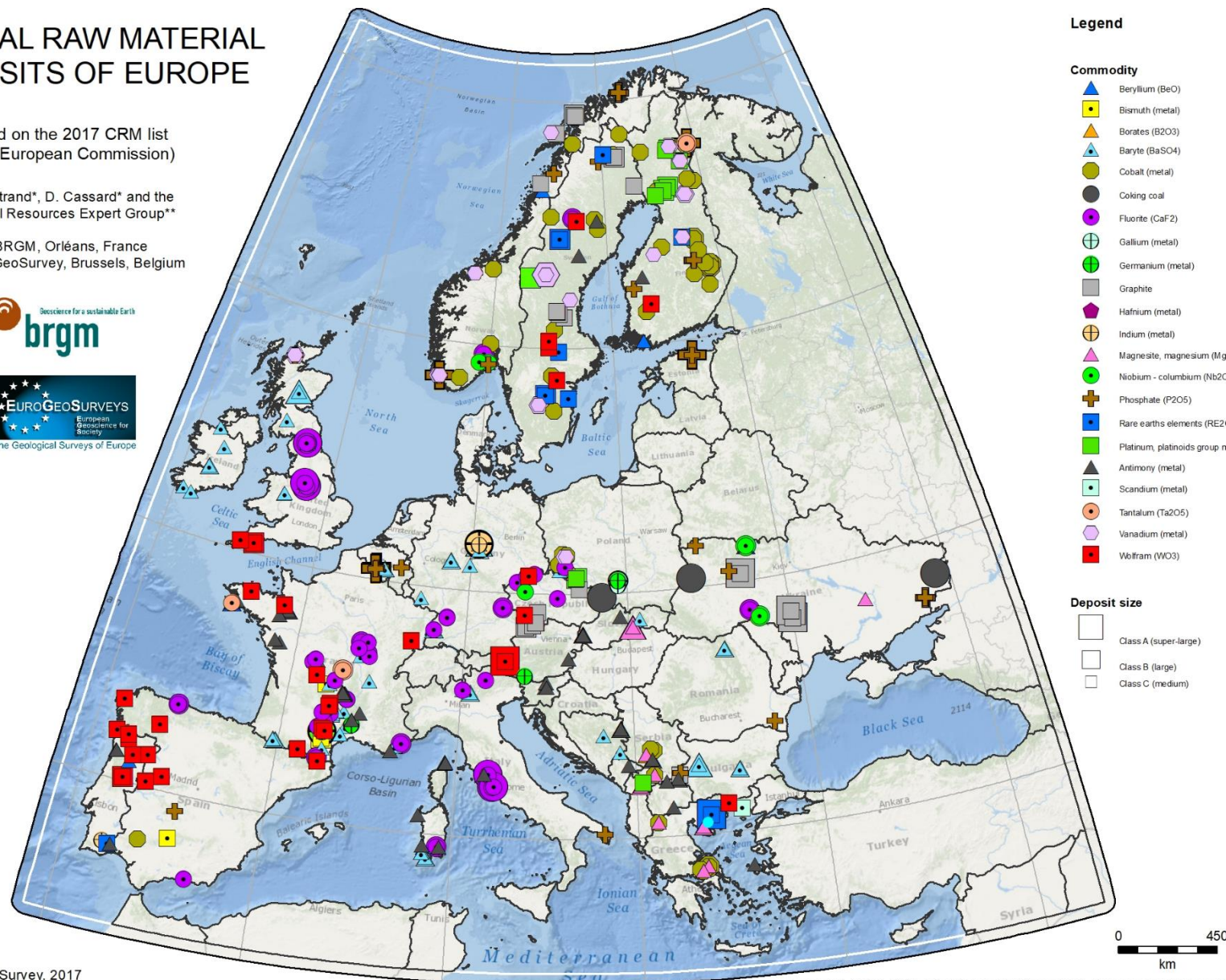
CRITICAL RAW MATERIAL DEPOSITS OF EUROPE

(based on the 2017 CRM list of the European Commission)

G. Bertrand*, D. Cassard* and the Mineral Resources Expert Group**

* BRGM, Orléans, France

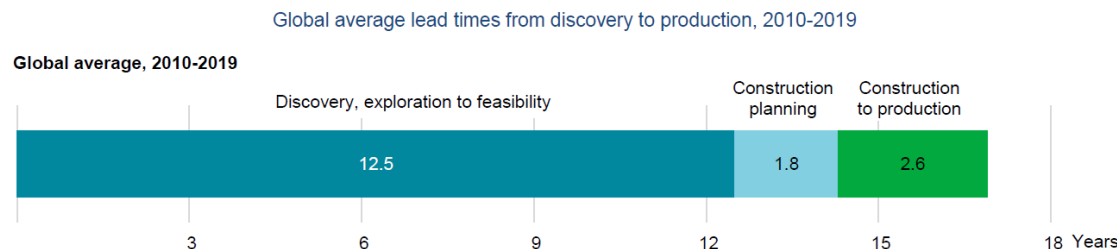
** EuroGeoSurvey, Brussels, Belgium



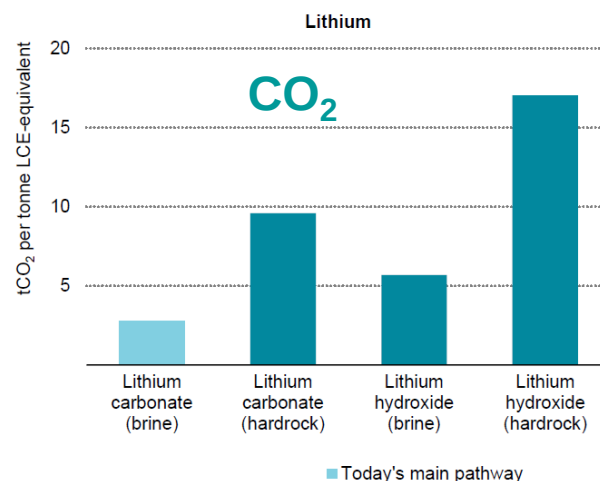
- Europe dispose de ressources qui permettraient de réduire la dépendance aux importations et regagner en souveraineté
- Complémentarité des ressources disponibles dans différents pays.
- Intérêt à se rapprocher des pays scandinaves qui ont su maintenir une activité extractive en intégrant les enjeux socio-environnementaux

Ouvrir de nouvelles mines, un défi de plus en plus complexe

❶ **Phase d'exploration** longue et coûteuse,
17ans en moyenne (exception = salars)



❷ Nécessité d'évaluer et
réduire **l'impact
environnemental** qui est
spécifique à chaque
minerais/site : CO₂, eau,
pollution, landuse ...



❸ Nécessité d'associer les **populations locales** aux
prises de décision pour éviter les blocages, mais
complexité à trouver compromis intérêt collectif vs
intérêts locaux



- ➔ **Nécessité d'une norme EU "mine responsable" pour l'ensemble des approvisionnements (en cours)**
- ➔ **Applicable aux approvisionnements EU comme étrangers**
- ➔ **Soutien au développement d'une diplomatie des ressources minérales**

- Approvisionnements en ressources minérales sont sur le **chemin critique de la transition énergétique** du fait de l'explosion des besoins à l'échelle mondiale et du contexte géopolitique
- **Trajectoire de décarbonation n'est pas compatible avec les ressources disponibles à date** du fait des temps caractéristiques des industries extractives et de transformation
- Besoin d'une **instance d'analyse stratégique et prospective** de ces enjeux cruciaux → observatoire national OFREMI confié au BRGM sous l'égide du CSF Mines & Métallurgie

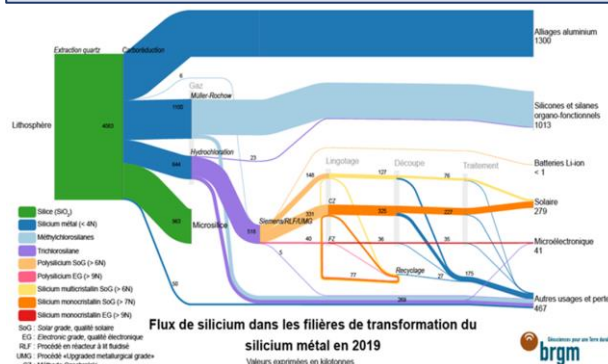


Remise du rapport
Varin (janvier 2022)



- Pluridisciplinaire (BRGM, CEA, IFPEN, IFRI, ADEME, CNAM)
- Financement public (60%) – privé (40%)
- Gouvernance partagée
- Lancement officiel Novembre 2022

❶ Décrypter et suivre les chaînes de valeurs minérales à l'échelle mondiale

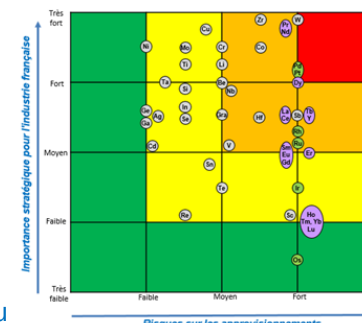


❷ Evaluer l'impact des évolutions technologiques → offre/demande



❸ Quantification des risques, stress-test, propositions de plan d'action

ÉVALUATION DE LA CRITICITÉ DES SUBSTANCES OU GROUPES DE SUBSTANCES ÉTUDIÉS PAR LE BRGM
Positionnements actualisés à fin 2020 ("Fiches de criticité")



Merci



SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Géosciences pour une Terre durable

brgm

SIÈGE - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél.: (33) 2 38 64 34 34
Fax: (33) 2 38 64 35 18

www.brgm.fr



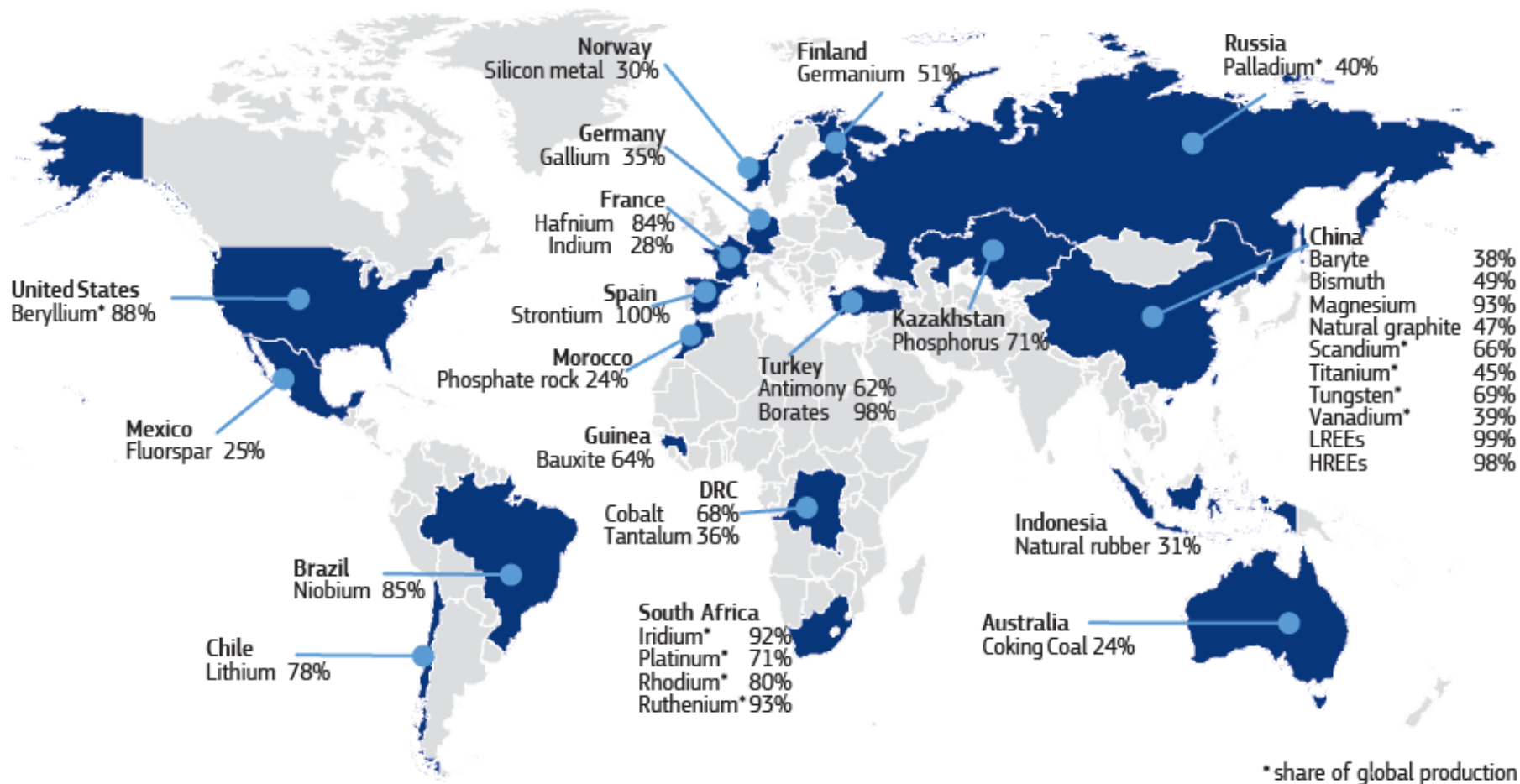
**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Pour tout complément, c.poinssot@brgm.fr

L'Europe reste fortement dépendante des importations en ressources minérales

Figure 5: Global suppliers of EU critical raw materials⁴⁶



Origine des *matières premières critiques* utilisées en Europe (RM scoreboard 2021)

- **Russie:**
 - % production mondiale
 - Pd: 42%
 - Diamants: 33%
 - Ti (éponge): 20%
 - V : 20%
 - Sb: 17%
 - % importations EU
 - Ni: 30% brut
 - Al: 30% brut
 - Cu: 27% brut
 - FeTi: 40%
- **Ukraine** possède aussi de nombreuses ressources minérales
- Risque de déstabilisation des satellites Russes (Kazakhstan...)