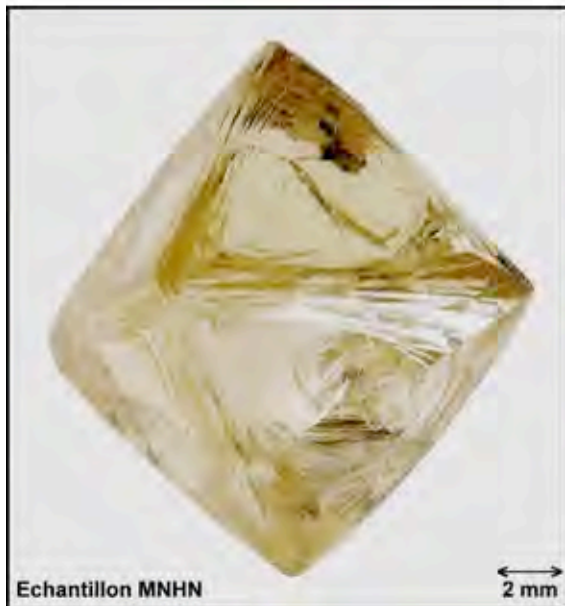


Cours #2

La grande diversité des ressources minérales



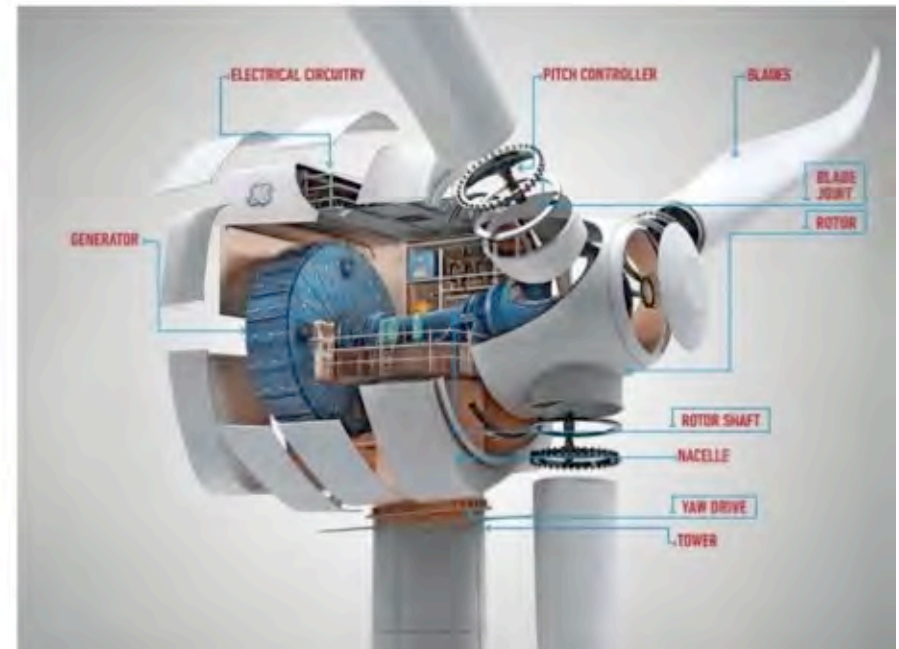
Introduction (1)

- Nature de la ressource: matériaux vs minerais.



Introduction (2)

- Diversité d'usages surtout pour minéraux (et roches) industriels : hautes technologies vs matériaux de base... Un fil directeur : les relations structure (texture) – propriétés.



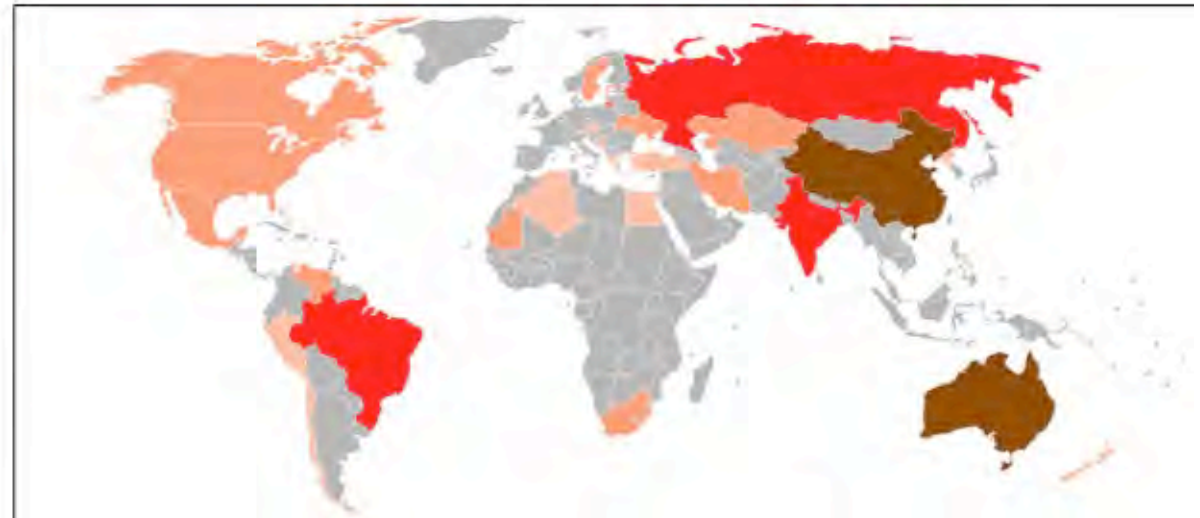
Introduction (3)

- Diversité de gisements: rareté des gisements, distribution de la ressource...



*Réserves de platinoïdes
(66 000 t)*

Production de minerai de fer



1. Diversité des matériaux rocheux

Utilisation spécifique des roches selon leur facilité de travail

La tour (donjon) de Mirabel (07)



Des roches de faible densité: les ponces

- Les ponces volcaniques: roche volcanique acide (rhyolite, dacite...) densité de 0,5-0,7 (au lieu de 2,3-2,8) car bulles de dégazage à basse P;
- Usages: allègement de bétons, briques (isolation thermique/acoustique), horticulture (texture alvéolaire: hydroponie), soins...
- Matériaux naturels modifiés intentionnellement: perlites (verres volcaniques hydratés: $d \searrow 0,1$ après expansion)



Carrières de ponce (Lipari)



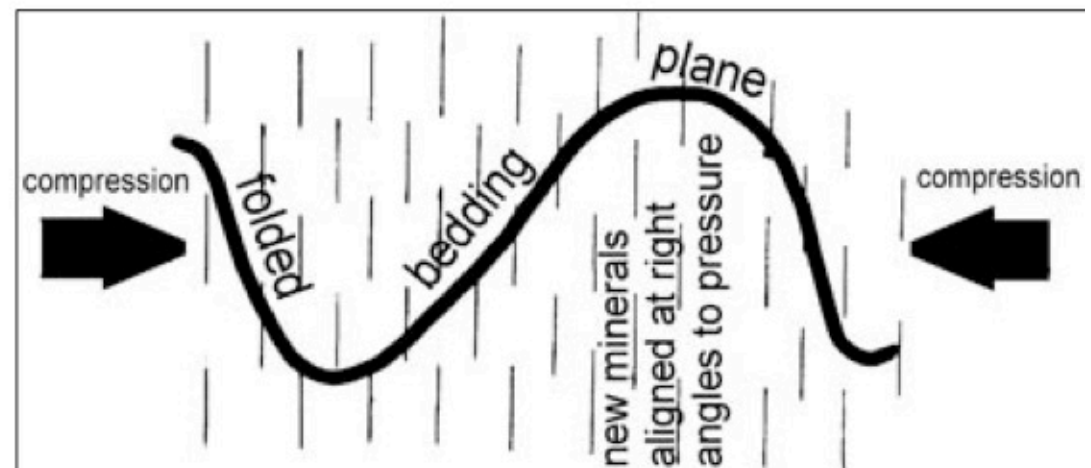
Bulles de dégazage



Perlite

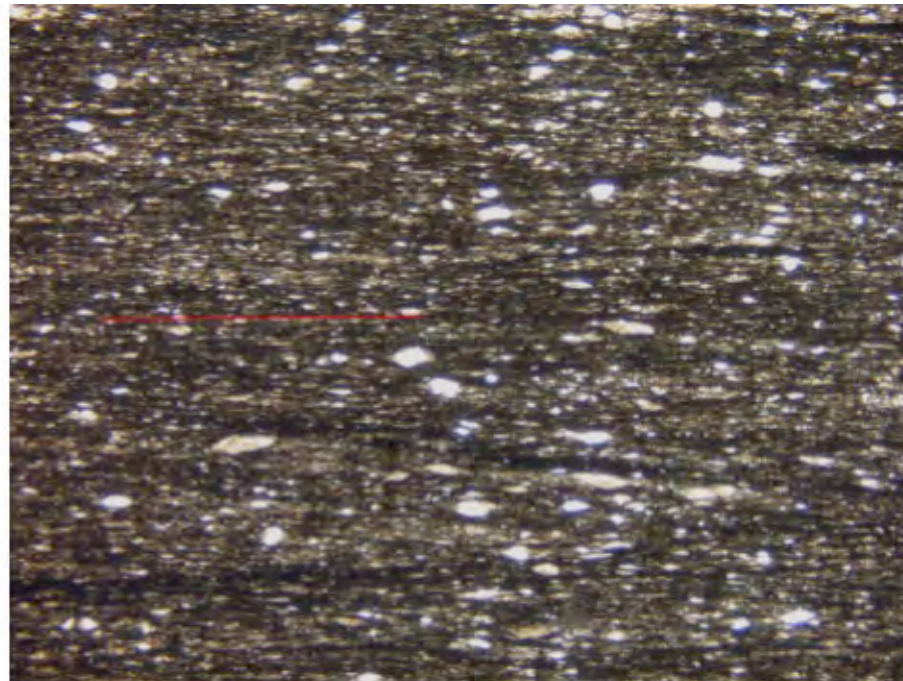
Une roche de faible masse surfacique: l'ardoise

- Epaisseur 3 -9 mm: masse surfacique de 15 kg/m² (2-3 fois plus léger que tuiles, lauzes)
- Argiles (séricite, chlorite +...) orientées
- Roche métamorphique (200-350°C)
- Pb réserves: ardoisières d'Angers



Lame mince (4,5mm)

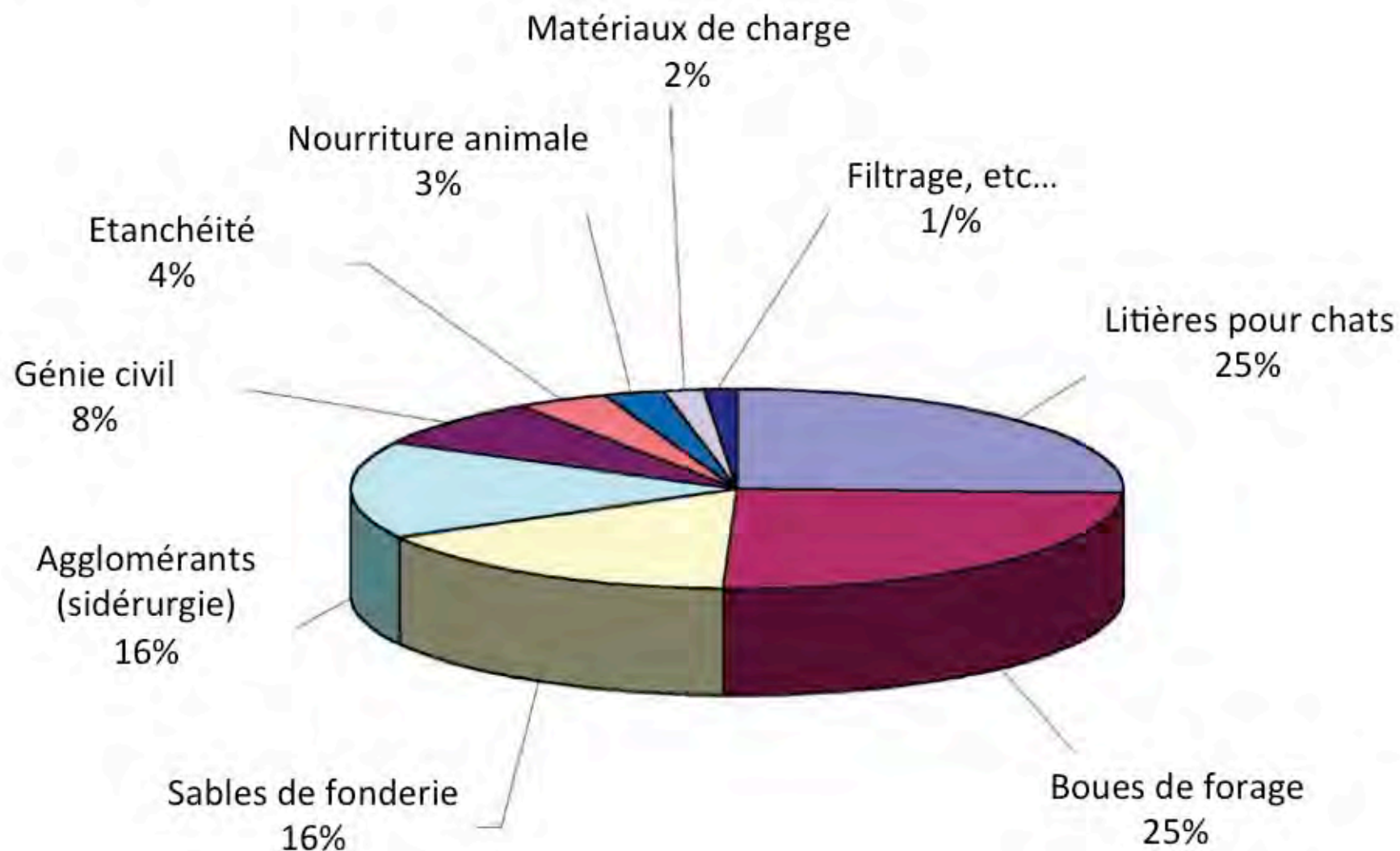
Différents types d'ardoise



2. La grande diversité des usages

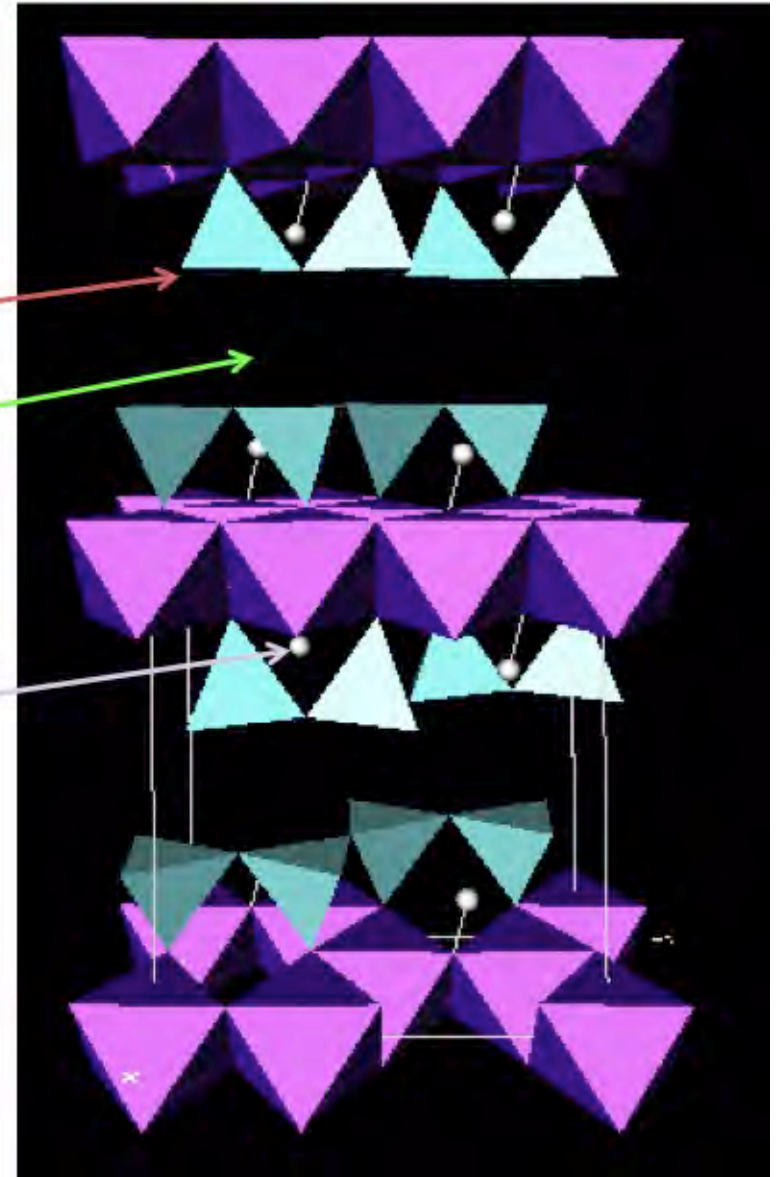


L'exemple des argiles bentonites



L'origine de la diversité des usages: le talc

- Faible énergie de surface (25-55 mJ/m^2 : comparer avec Kaolin: 500-600 mJ/m^2), hydrophobe: groupes siloxane.
- Faible énergie de liaison entre feuillets (attraction Van der Waals): dureté de 1.
- Mais structure détruite vers 800°C (groupes OH).
- Feuillet neutres (Fe^{2+} peut remplacer Mg octaédrique).



Faible énergie de surface, faible forces de liaisons entre feuillets: charges dans plastiques

- polyéthylène basse densité (LLDPE) (blocage de la croissance des chaînes)
- polymères PP (rigidité, stabilité) et semi-cristallins (PP/POE/MT composites: agent nucléant)
- caoutchoucs, cables ...



Hydrophobie des groupes siloxanes:
cosmétique, alimentation...

Faibles liaisons entre feuillets= particules restent dispersées:
Charges papiers et peintures car diffusion de la lumière (blancheur, opacité des feuilles)

Feuillets peu liés, parallèles à la surface de la peau, associés à la texture de l'épiderme. Cosmétique: aspect satiné, opacité (selon milieu).

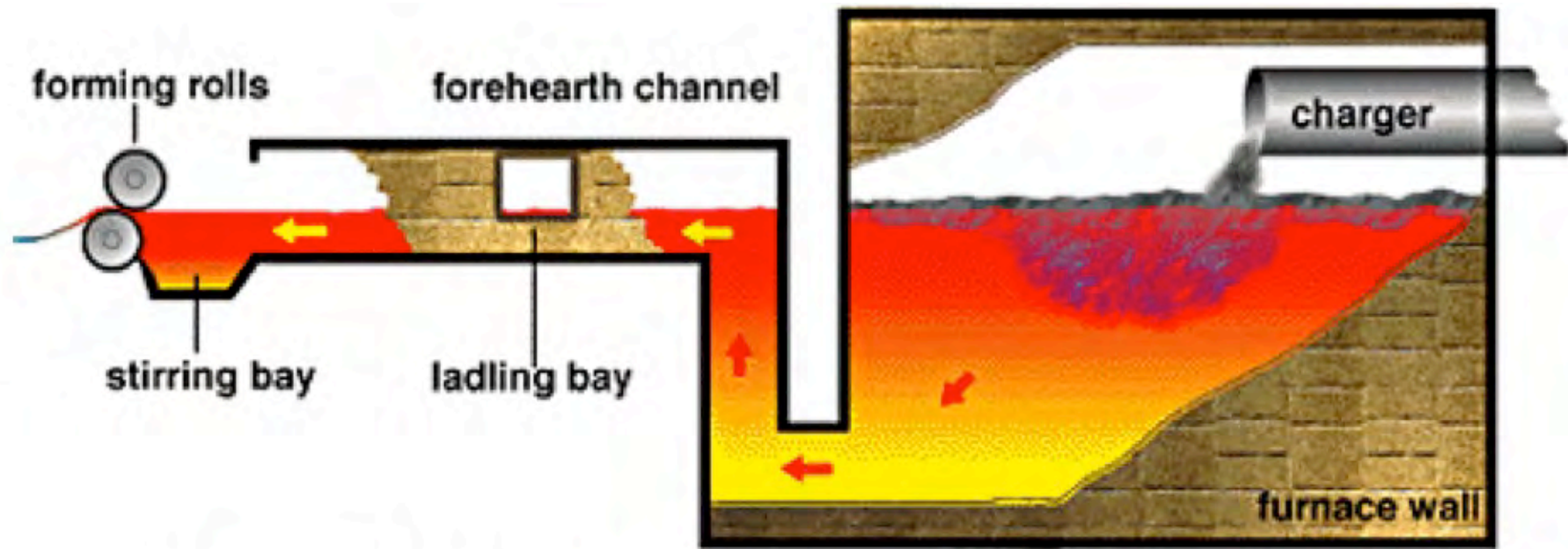


Réflectance diffuse variant en K/S : K = coefficient d'absorption (varie selon les minéraux) et S = coefficient de diffusion optique (diminue avec la taille des particules diffusantes).

L'exigence de qualité: les sables

- Sables pour le verre. Impureté fer selon les usages: verre extra blanc (<0,015 %), blanc (<0,04 %), mi-blanc (<0,10 %), coloré (de 0,1 à 1 % selon la couleur)
- Paramètres physiques (humidité, granulométrie...)
- Phases réfractaires: défauts (vitrage)

	Sable Fontaine-bleau	Sable Aisne	Sable Oise	Sable Gironde	Sable Feldspathique	Quartz filonien	Cristal de roche Brésil	Sable de rivière
SiO ₂	99,7	99,6	99,6	98,5	95,0	99,8	99,99	87,00
Al ₂ O ₃	0,05	0,11	0,10	0,80	2,7	0,04	0,007	6,61
Fe ₂ O ₃	0,013	0,02	0,015	0,04	0,055	0,002	0,001	0,45
K ₂ O	0,01	0,04	0,01	0,40	1,9	0,1	0,001	3,51
Perte au feu	0,10	0,20	0,20	0,20	0,02	-	-	-0,03



Le four verrier: éviter les défauts (infondus...)



3. Une ressource minérale

Plusieurs origines géologiques

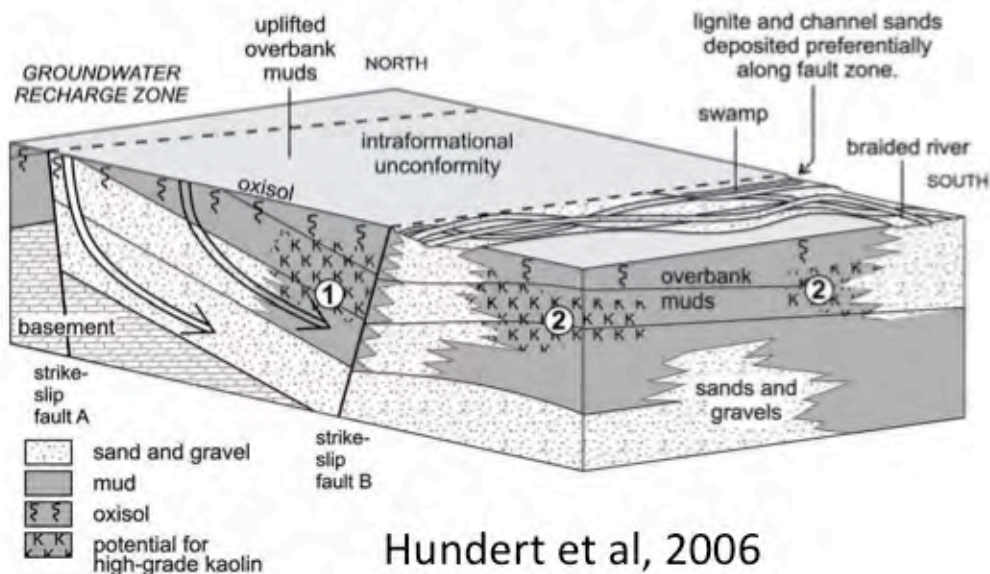
- Exemple du kaolin (kaolinite: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$): une gamme de températures de formation variées, indiquant une origine sédimentaire ou une altération hydrothermale.



Les kaolins sédimentaires (1)

Kaolins de Géorgie (limite Piedmont-plaine côtière)

Anciens sols tropicaux remaniés dans sédiments côtiers: cristallinité, couleur...



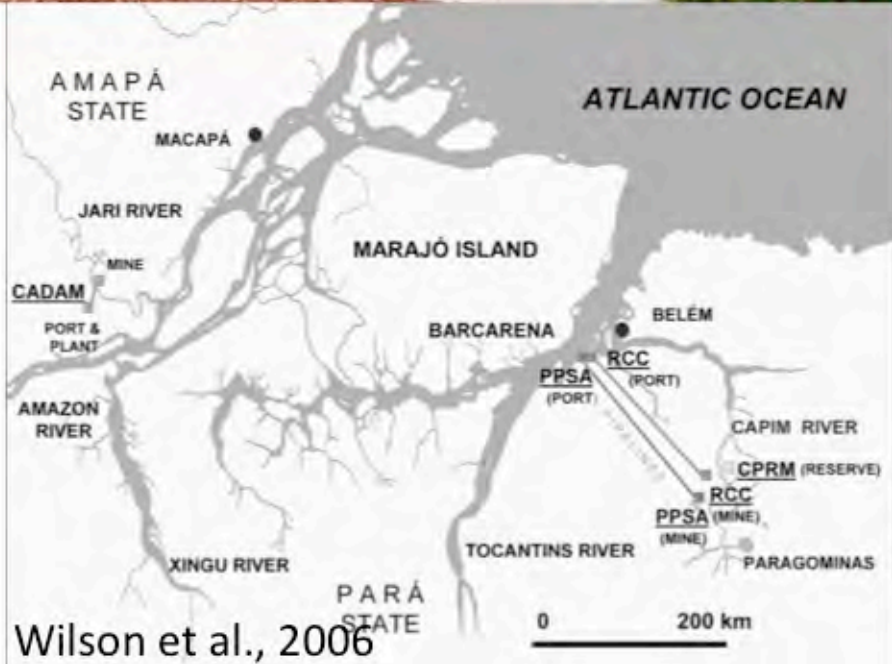
Hundert et al, 2006



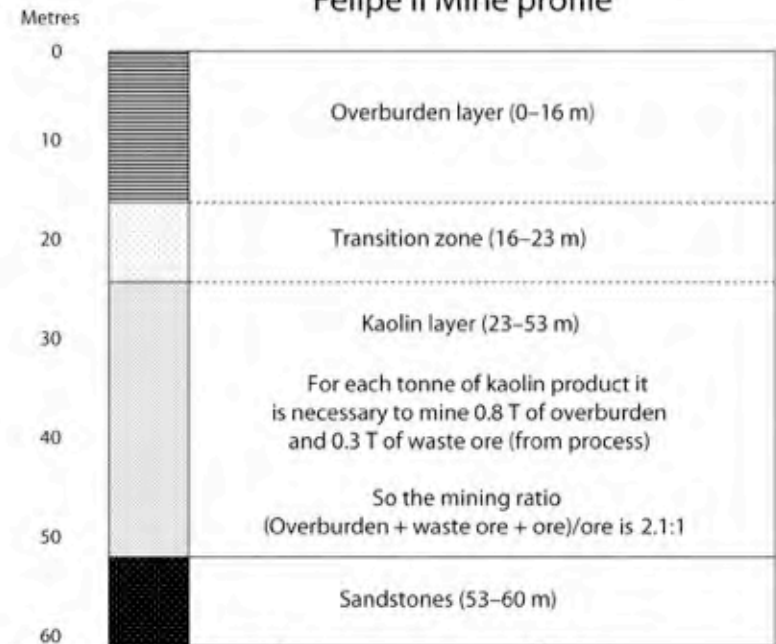
(ocf product, 2015)



Les kaolins sédimentaires (2)



Felipe II Mine profile

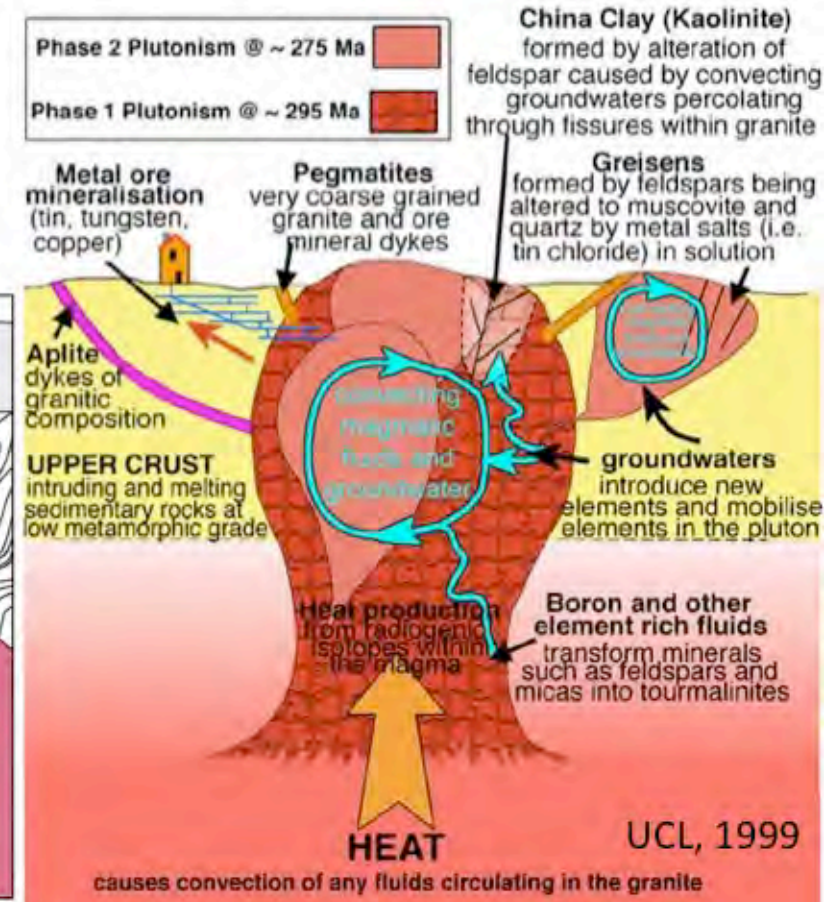
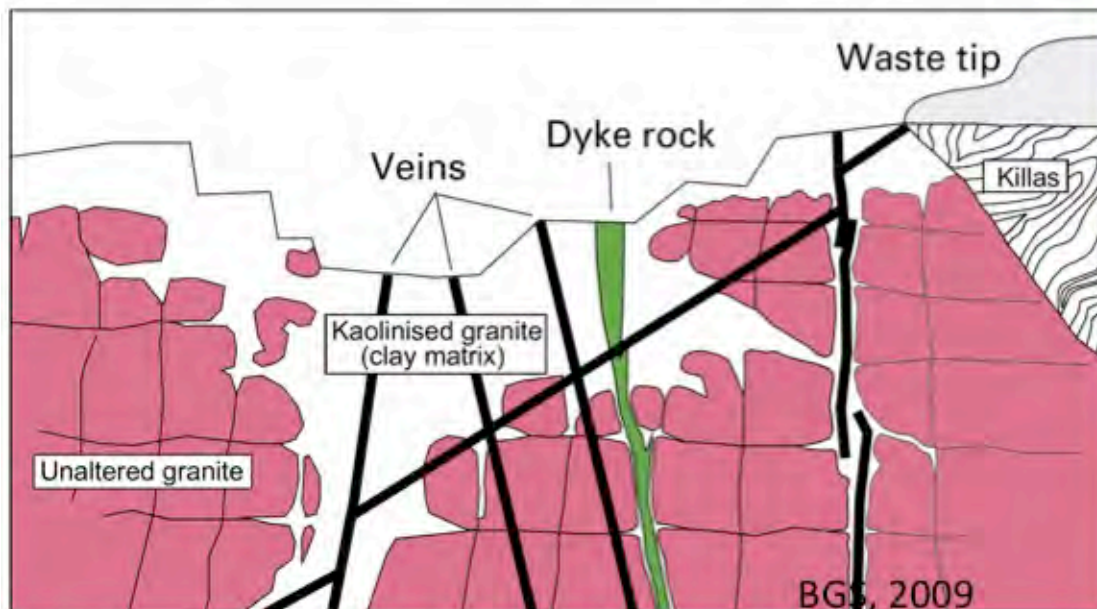


Un contexte similaire pour les gisements de classe mondiale du Brésil (Rio Capim)

Les kaolins hydrothermaux

Kaolins de Cornouailles

- Altération profonde de granites hercyniens (300 - 275 Ma): circulation d'eaux météoriques + solutions hydrothermales (granite).
- Puis érosion : le gisement affleure.





StAustell



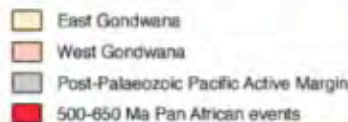
Wilcock, 2008



Symonds, 2015

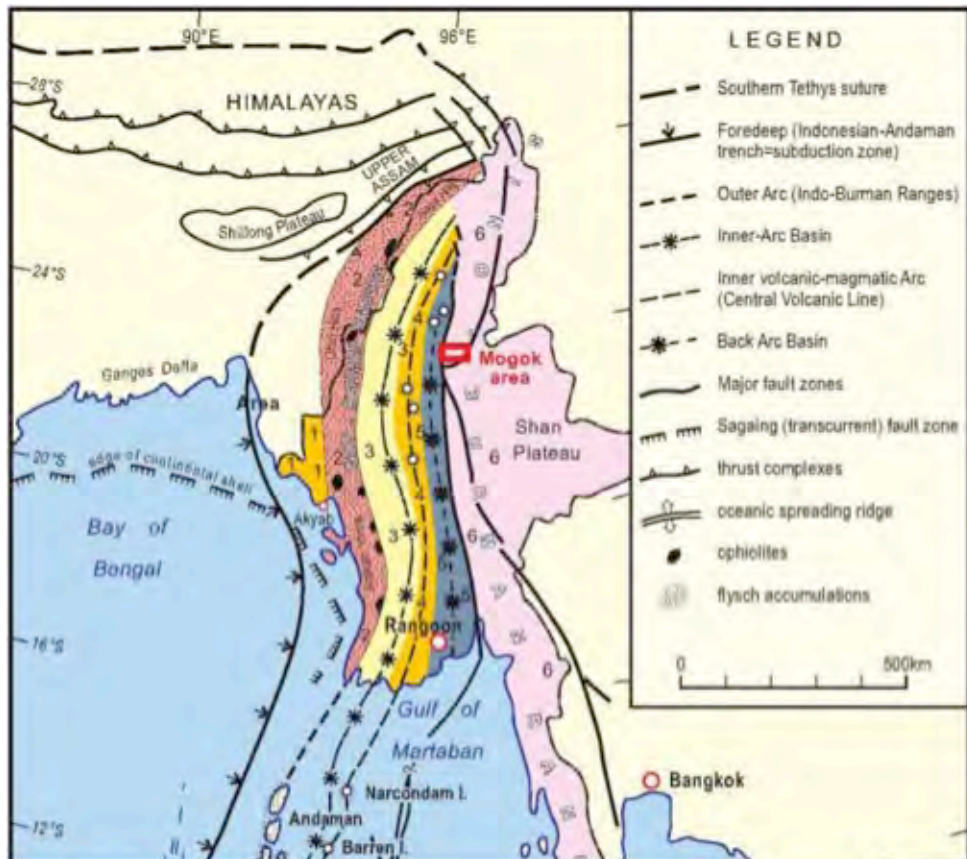
Les kaolins
de Cornouailles

Les gemmes: l'exemple du rubis



- Orogénèse Panafricaine (750-450 Ma)
- Métamorphisme de sédiments alumineux
- La coordinance de Al dépend de P et T

(Atchat, 2013; Garnier, 2004)



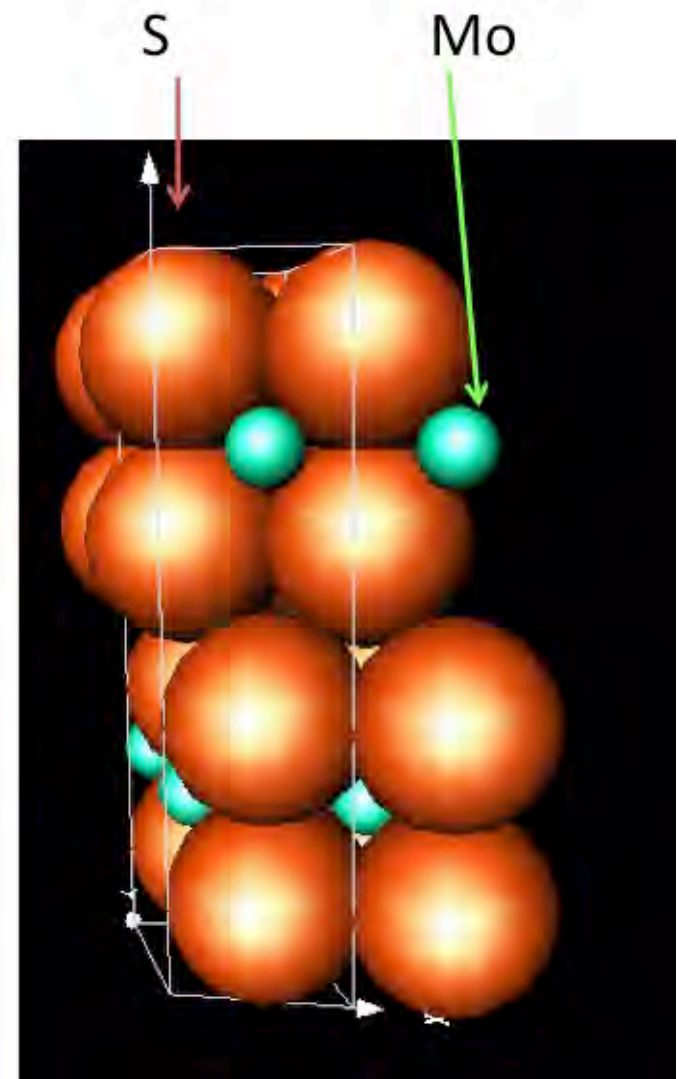
- Cristallisations de qualité exceptionnelle en milieu fondu (cf méthode des flux en croissance cristalline)
- Gisements associés à l'orogénèse Himalayenne (45 Ma-5 Ma): Mogok (Myanmar)
- Sédiments argileux (Al-rich) transformés en oxydes Al (spinnelle, rubis). Carbonates + évaporites: milieu fondu = marbre
- Transformation de spinnelle ($MgAl_2O_4$) en rubis (Al_2O_3): Mg permet la formation de dolomie à partir de la calcite.



Rubis
"Sang de Pigeon"

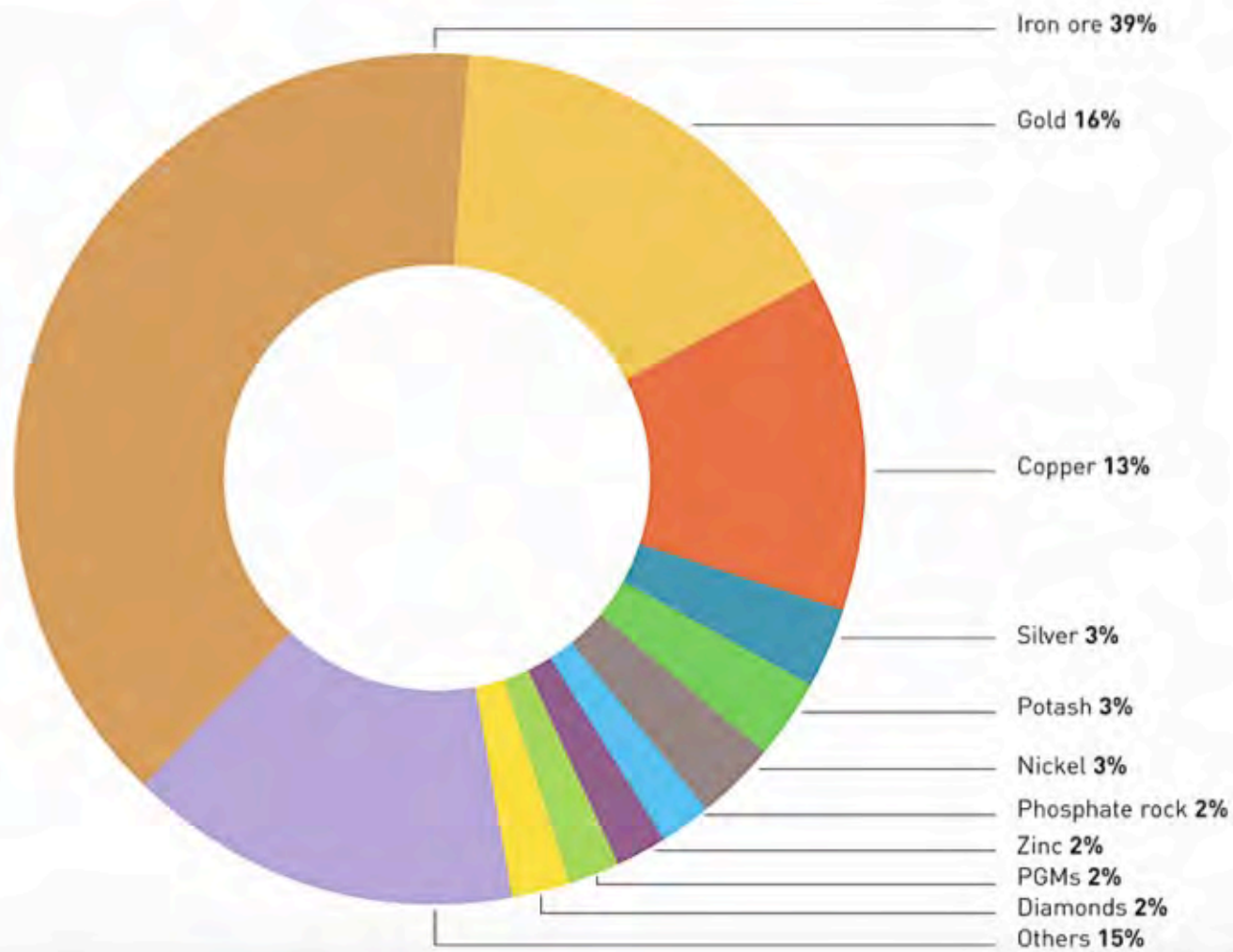
4. Minéraux industriels ou minerais?

- Molybdenite, MoS_2 .
- Le minerai de Mo (porphyres liés aux cordillères)
- Excellent lubrifiant jusqu'à 350°C dans l'air (1100°C en l'absence d'oxygène), notamment en conditions critiques (aéronautique)
- Molybdénite; dégrippant (oxydation au dessus de 350°C , alors qu'il fond vers 1800°C)
- S-S = forces "Van der Waals"



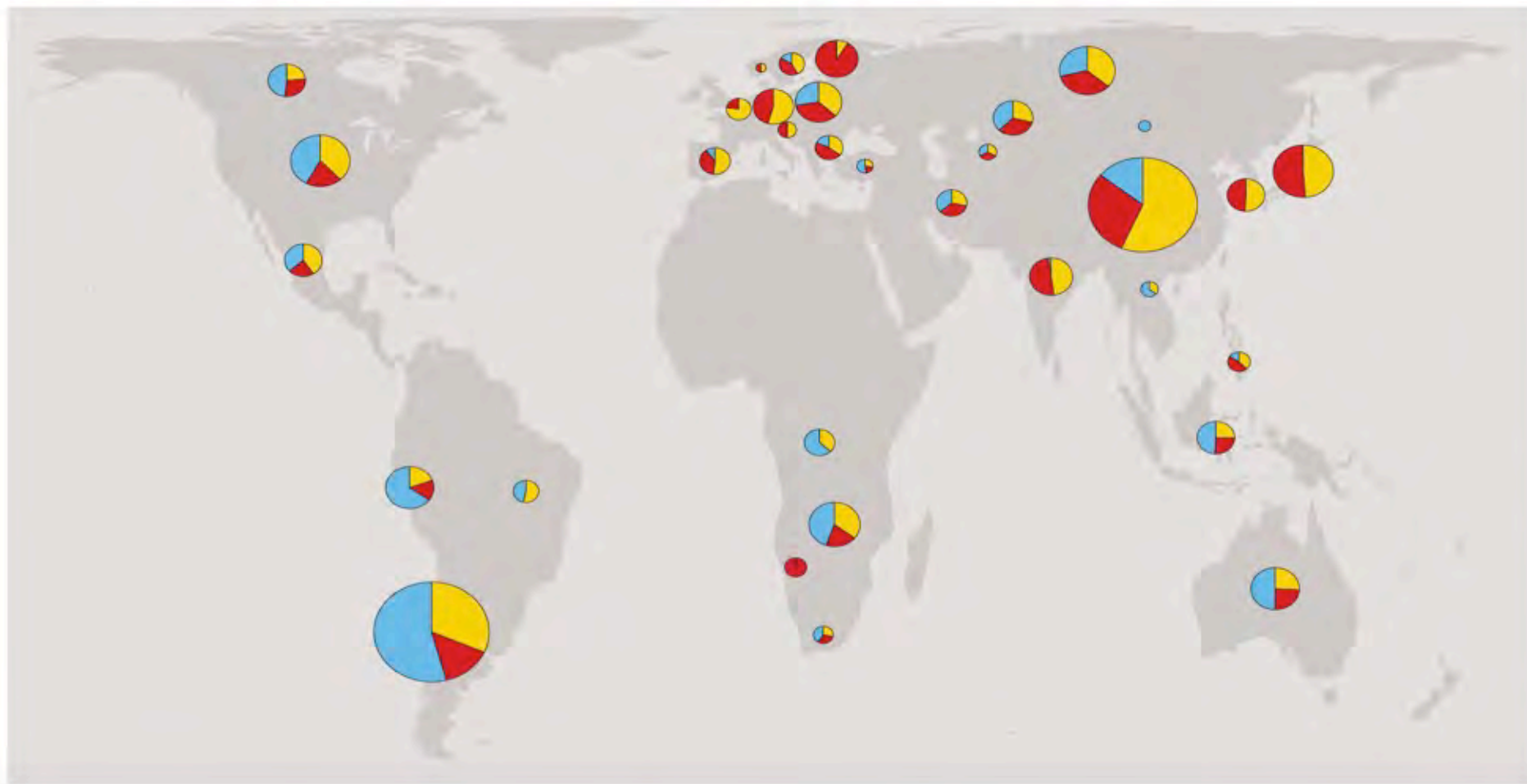
5. La diversité des métaux





Valeur des métaux extraits
(\$ 650 Milliards en 2010 vs 250 Milliards en 2000)

● Mine production ● Smelter production ● Refinery production



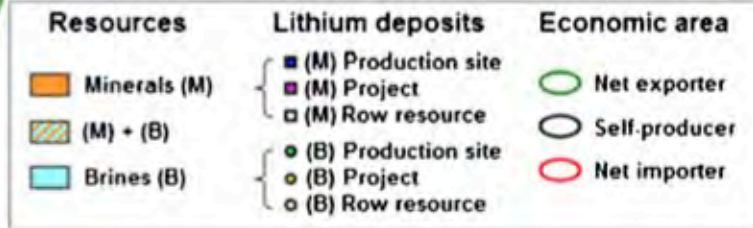
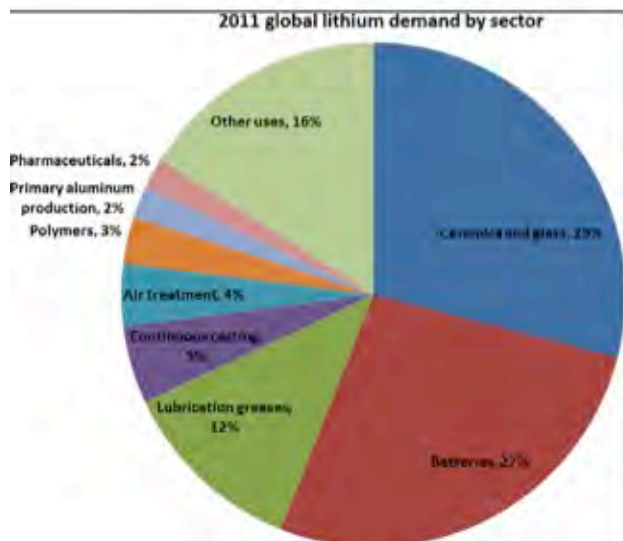
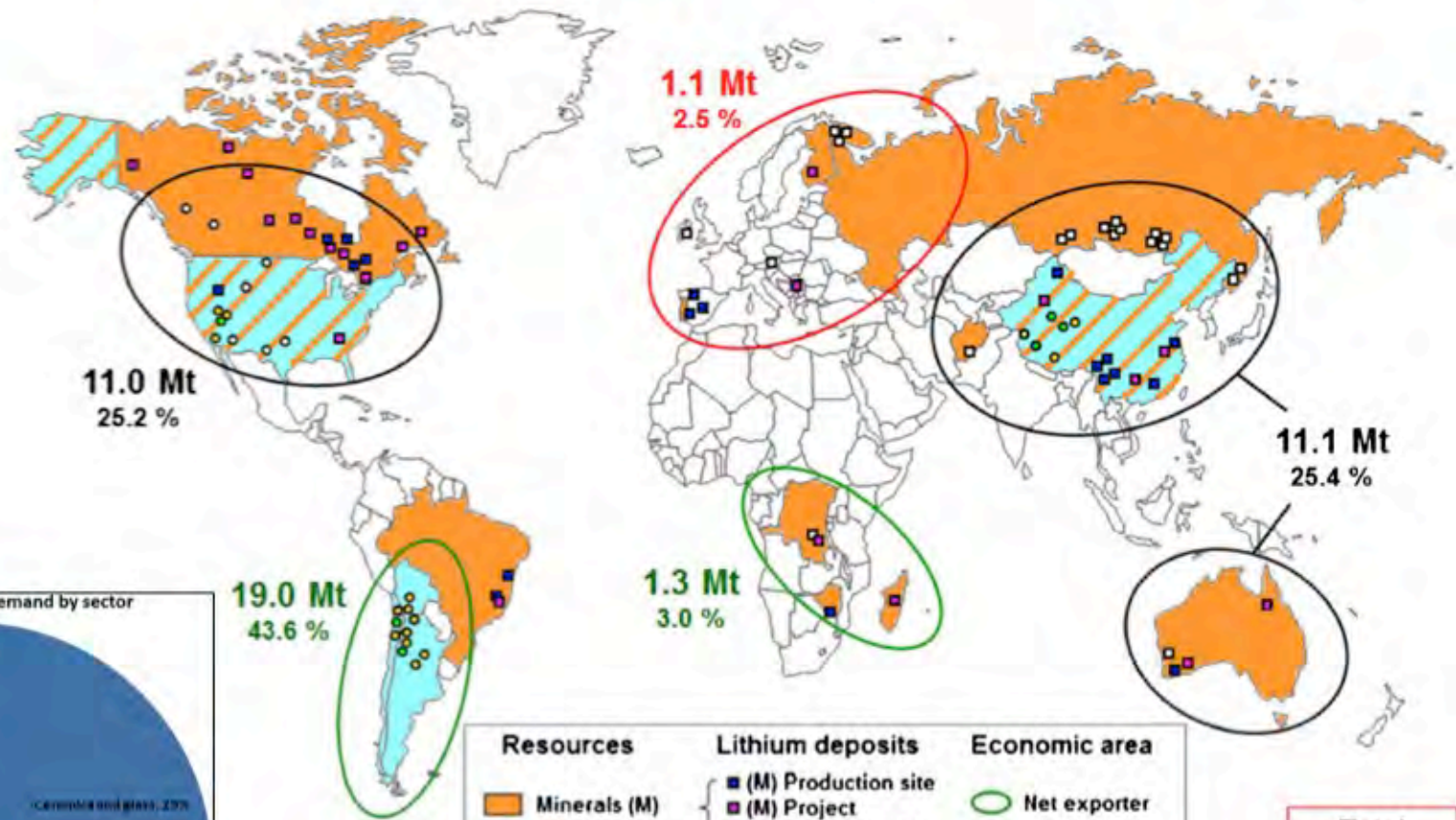
De forts contrastes dans l'utilisation de la ressource.

Deux exemples:

- Le lithium
- Le nickel



Les régions productrices de lithium

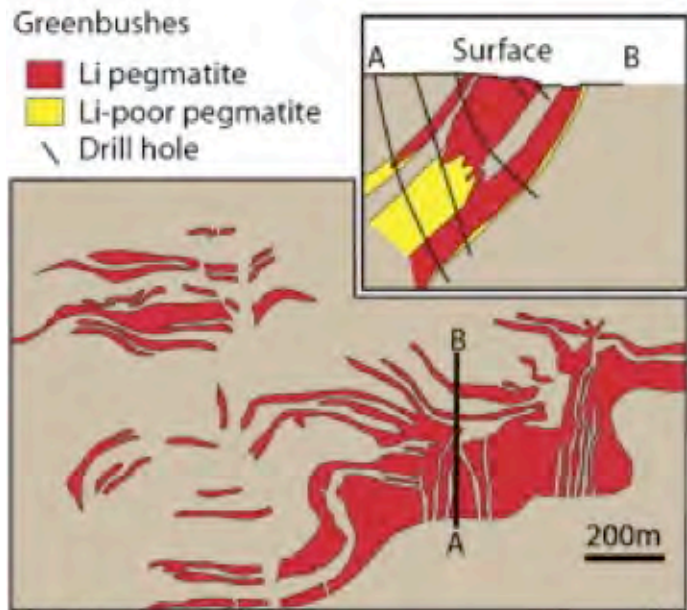


Total
43.6 Mt
100.0 %

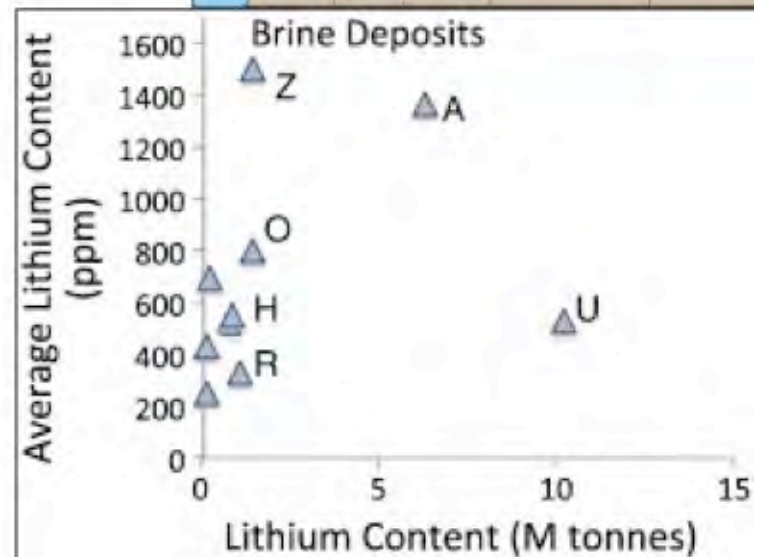
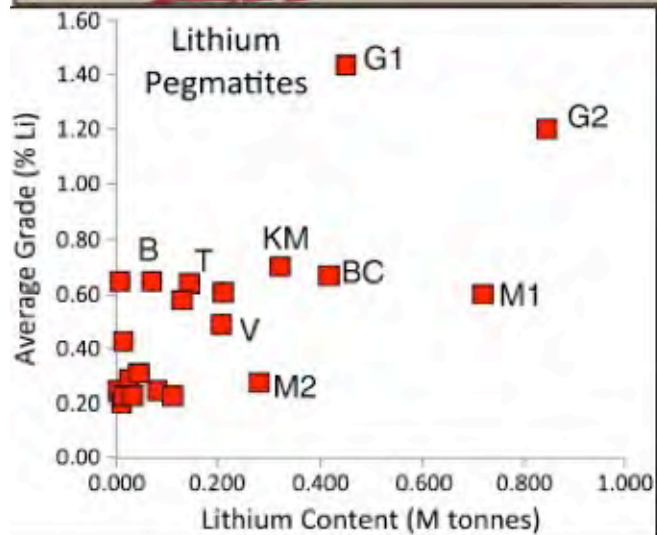
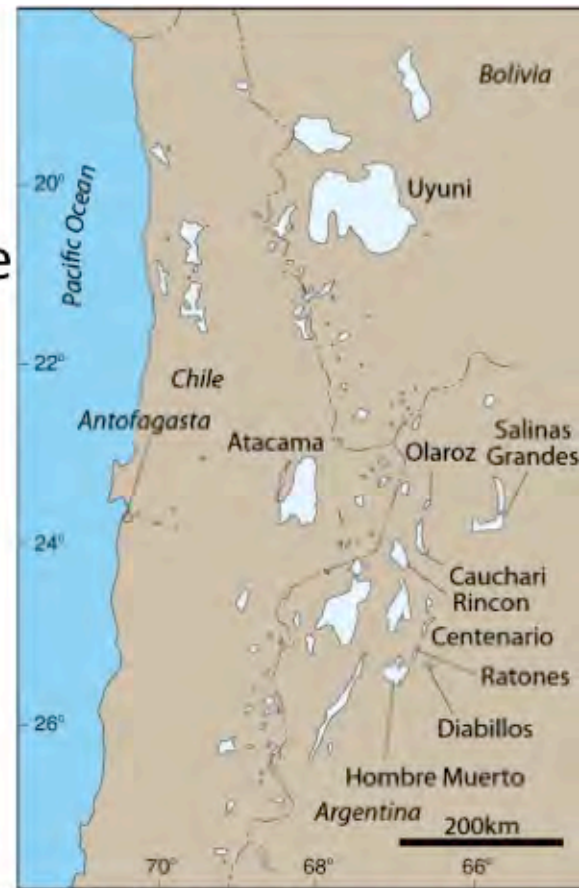


Les deux grands types de gisements de lithium: pegmatites, salars (1)





Les deux grands types de gisements de lithium: pegmatites, salars (2)



Les régions productrices de nickel



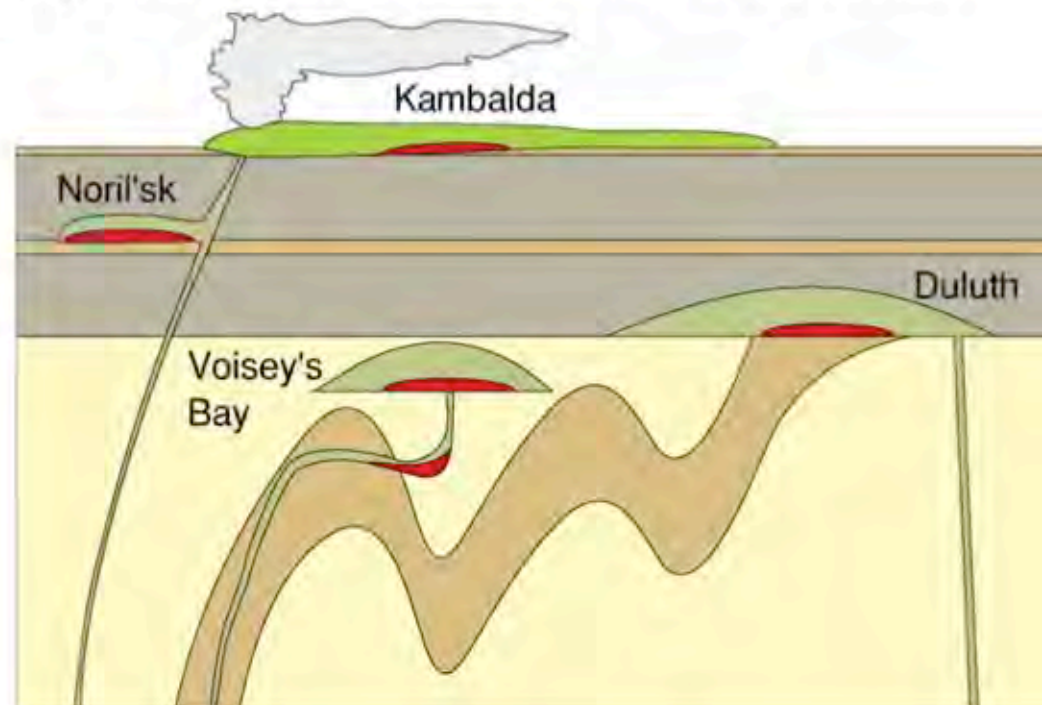
Top 10 producers % of world total

	Philippines	17%
	Russia	14%
	Indonesia	13%
	Australia	13%
	Canada	11%
	New Caledonia	7%
	China	5%
	Brazil	5%
	Cuba	4%
	Colombia	3%

(BGS, 2012)

Gisements Ni-Cu magmatiques (1)

- Séparation de sulfures fondus (S assimilé à partir de l'encaissant) concentrant Cu, Ni, Co et PGE=platinoïdes.
- Contextes/profondeurs de formation variés:
 - Roches volcaniques (Mg-rich): Kambalda (Australie); Archéen (2,7-3 Ga)
 - Basaltes et gabbros (chambres magmatiques): Noril'sk (Russie); Trias (250 Ma)
 - Roches plutoniques (Gabbros):
Duluth (USA; 1,1-1,2 Ga)
Voisey's Bay (Canada; 1,3 Ga)



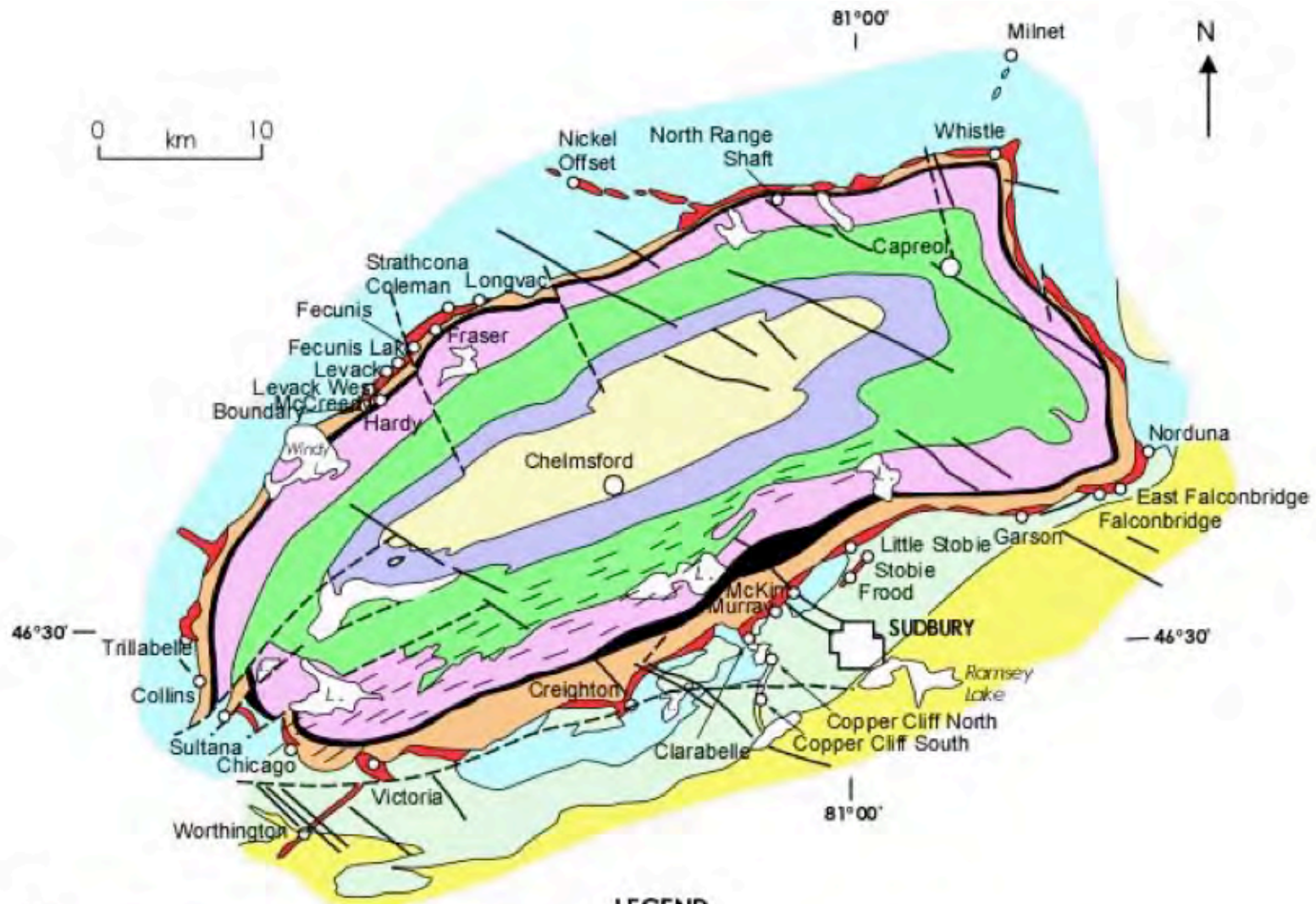
Gisements Ni-Cu magmatiques (2)

Un cas exceptionnel: l'impact météoritique de Sudbury, Ontario

-1850 Ma = cratère de 200 km (actuel: 65 km x 27 km).
Fusion massive avec norites à la base, et granophyres au dessus (= 2.5 km). Fusion des sulfures crustaux = extraction de Ni, Cu et PGE du magma.

-Une disposition caractéristique d'un impact géant.

-Minerais= pyrrhotite (FeS), pentlandite ((Fe,Ni)S), chalcopyrite (CuFeS₂) et pyrite (FeS₂).



Sudbury Igneous Complex

- Granophyre
- Quartz-rich gabbro
- Norite
- Sublayer

- Chelmsford Formation
- Onwatin Formation
- Onaping Formation
- Granite and gneiss

- Quartzite
- Greywacke, volcanic rocks
- South Range Shear Zone
- Fault
- Olivine diabase dykes

LEGEND

Gisements de nickel de basse T

- 65 % des réserves connues du nickel se trouvent dans des environnements de basse T: exemple de la Nouvelle-Calédonie.
- Phyllosilicates: garniérite résulte de l'altération de péridotites
- Oxydes de Fe^{3+} (goethite: FeOOH): plus pauvres, mais énormes réserves



Merci de votre attention!

