

GÉOLOGIE : LE MINIMUM VITAL

Deuxième partie : La Terre anthropisée

Hubert Bril, Université de Limoges

SOMMAIRE

Deuxième partie. La Terre anthropisée

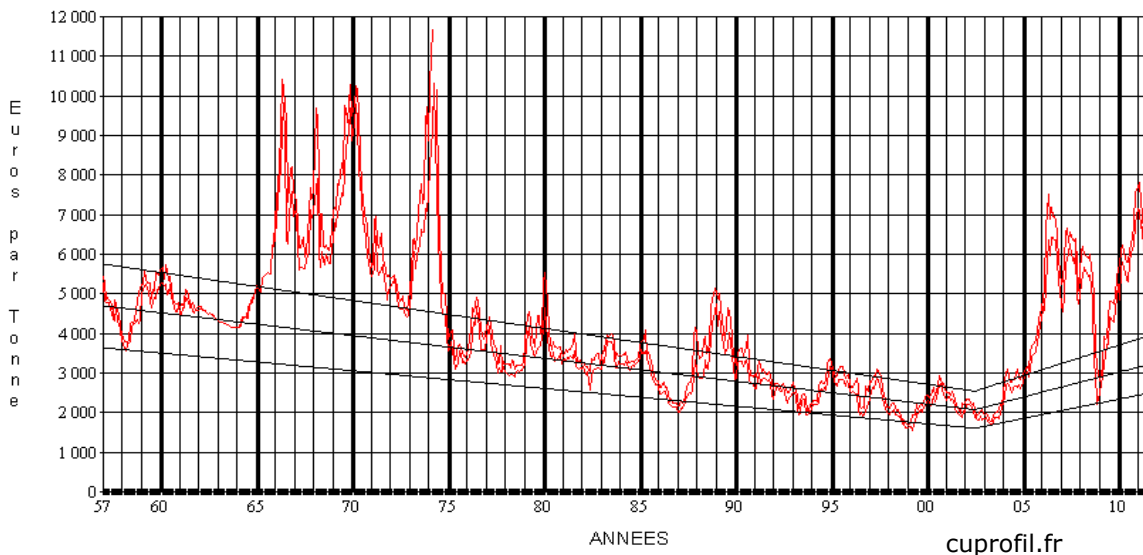
- I. Les matières premières minérales : ressources minières, matériaux,
- II. Les matières premières énergétiques : charbon, pétrole et gaz
- III. Les eaux souterraines : hydrogéologie, géothermie
- IV. Le changement climatique
- V. Les aléas (terre interne, terre externe)
- VI. Aménager la Terre : géotechnique

A QUOI SERT LA GÉOLOGIE ?

- ✗ La géologie intéresse notre vie : les matières premières que nous utilisons, l'énergie ou l'eau que nous consommons, les risques auxquels nous sommes soumis.
- ✗ Les domaines d'intervention du géologue concernent la Terre interne (les séismes ou le pétrole) et la Terre externe (environnement).
- ✗ Les méthodes de la géologie ont changé utilisant les disciplines voisines, la chimie, la physique, la biologie, les mathématiques, l'informatique (modélisation).
- ✗ Cependant **le travail sur le terrain** est un passage obligé pour éviter de tirer des conclusions très justes mais qui n'ont rien à voir avec la réalité.
- ✗ Les diapositives qui suivent vous présentent les principaux domaines d'application de la géologie.

II – 1 MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES : LES RESSOURCES MINIÈRES

- ✗ Il faut assurer l'approvisionnement en métaux (métalloïdes) « métaux » de base (plomb, zinc, cuivre...), « métaux » nobles bijoux (or, platine et pierres précieuses ...), alliages spéciaux (béryllium, tantale, ...), électronique (germanium, terres rares...).
- ✗ Nécessité d'avoir à long terme des gisements rentables d'un point de vue économique, malgré la variation rapide des cours.



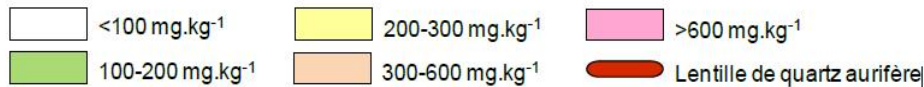
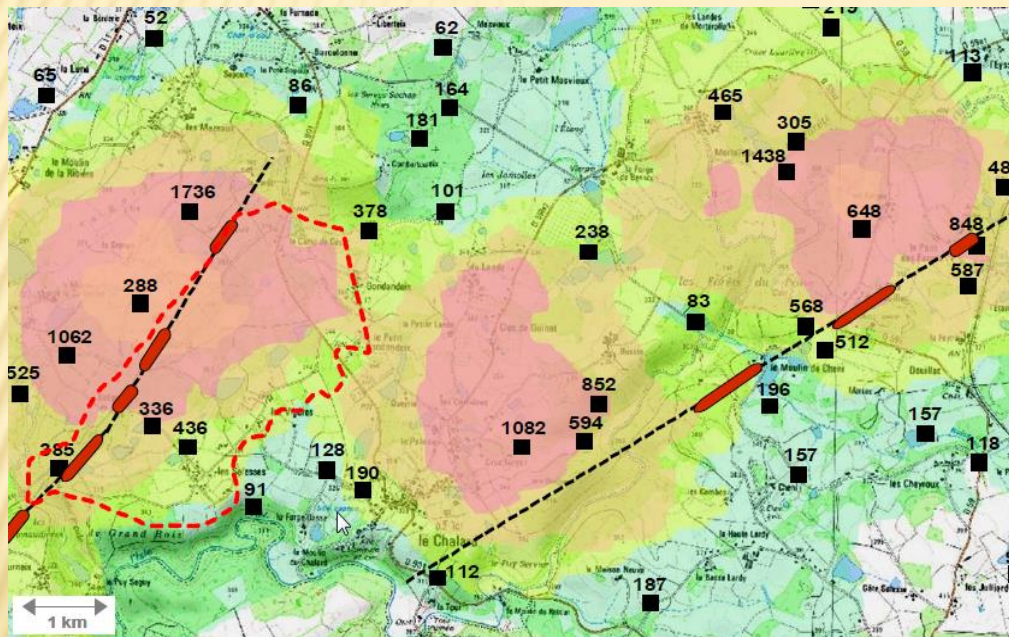
La variation des cours du cuivre depuis 1957 montre la difficulté de prévoir l'approvisionnement en matières premières, les prix de ventes étant très volatils. De 2012 à 2014 par exemple, la baisse est de 25%.

II - 1 MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES : QU'EST-CE QU'UN GISEMENT ?

- ✗ Tous les éléments métalliques sont présents dans toutes les formations géologiques (on les exprime en grammes par tonne pour la plupart des métaux) : c'est le **fond géochimique**.
- ✗ Un **gisement** est une accumulation d'éléments exploitables dans les conditions techniques et économiques du moment.
- ✗ Dans une exploitation, le minerai brut est extrait et concentré pour un coût compatible avec les frais engagés, en incluant les contraintes environnementales et les bénéfices des actionnaires.

Élément	Concentration moyenne dans la croûte terrestre	Concentration dans un gisement	Facteur de concentration
Fer	58 000 g/T	500 000 g/T	8.6
Cuivre	60 g/T	20 000 g/T	333
Nickel	72 g/T	10 000 g/T	139
Zinc	82 g/T	40 000 g/T	488
Plomb	10 g/T	50 000 g/T	5 000
Uranium	1.6 g/T	3 000 g/T	1875
Argent	0.08 g/T	100 g/T	1250
Or	0.002 g/T	10 g/T	5 000

II - 1 DE L'ANOMALIE GÉOCHIMIQUE AU GISEMENT



Carte des anomalies géochimiques naturelles en arsenic dans le socle métamorphique du Massif central, les lentilles aurifères exploitées sont centrées sur des fractures, elles-mêmes centrées sur les zones où les anomalies sont les plus marquées.

Carte AREVA modifiée

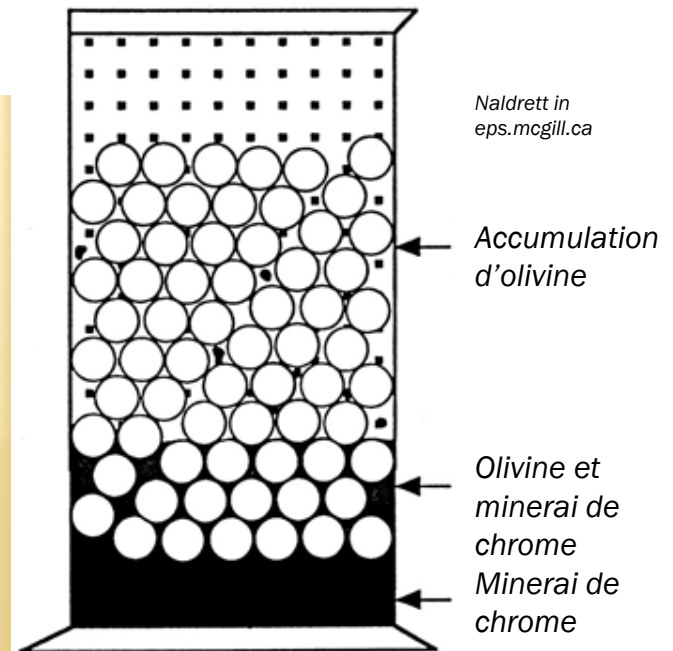
- ✗ Exprimées en mg/kg (ou g/T) de métaux, les anomalies géochimiques concernent plusieurs éléments à la fois; utiles ou non.
- ✗ Certains éléments sont associés : Au-As, Pb-Zn...
- ✗ Les fractures jouent un rôle essentiel dans la formation des anomalies : c'est le résultat de processus de concentration via des circulations de fluides (ou via l'action de l'eau), depuis des zones moins riches vers les zones d'accumulation.

LES GISEMENTS MAGMATIQUES

- ✗ Les éléments intéressants concernés sont le chrome, le nickel, le cobalt, parfois le cuivre et les éléments du groupe du platine ; ils se trouvent au sein de formations magmatiques le plus souvent basiques (ophiolites par exemple).
- ✗ Ils se sont formés à haute température, lors de la mise en place à grande profondeur de magmas basiques, par divers processus (précipitation de minéraux, mais aussi interaction avec l'encaissant etc.) au cours de la différenciation magmatique (voir partie I-4).
- ✗ Ils ont donc souvent un aspect stratiforme.



Aspect stratifié de minéral de chrome
web.uct.ac.za



I - GISEMENTS HYDROTHERMAUX : MÉCANISME GÉNÉRAL

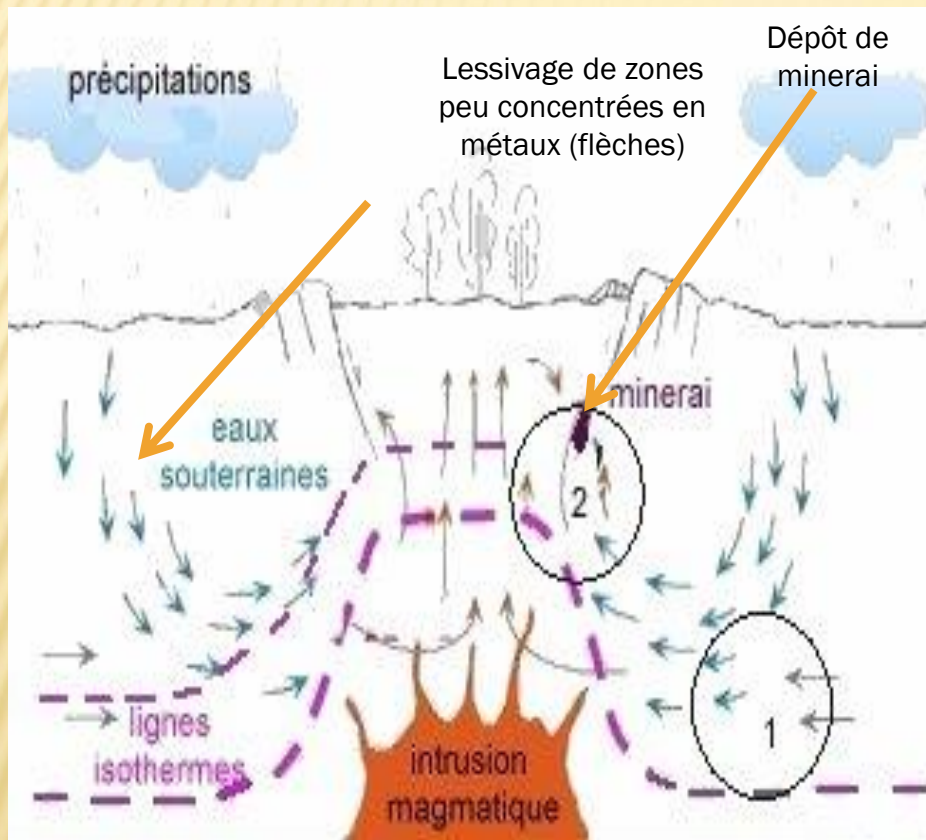


Schéma d'un système hydrothermal ; 1 rencontre de deux fluides différents; 2 rencontre d'un fluide chaud et d'un fluide froid Géosciences Montpellier modifié

Des fluides d'origines variées s'infiltrent dans la croûte terrestre; progressivement réchauffés notamment près des intrusions magmatiques, ils s'enrichissent en métaux,

les **transportent en solution**

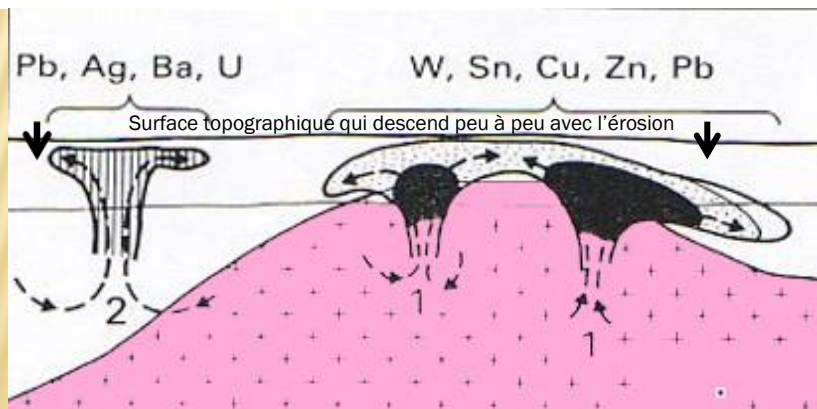
puis les **déposent** de manière plus ou moins sélective à la faveur de processus chimiques ou physiques (mélange avec un autre fluide, baisse brutale de la pression...)

dans un **piège géologique** (faille, couche particulière, zone de brèches...).

Le moteur de la circulation des fluides est une anomalie thermique (zone + chaude...).

I - LES GISEMENTS HYDROTHERMAUX

- ✗ Ce sont les gisements les plus importants pour de nombreux métaux.
- ✗ Ces gisements sont plus ou moins distants de la source (chaude) des circulations hydrothermales. Ils diffèrent selon que les roches magmatiques associées sont acides (granites) ou basiques (basaltes).
- ✗ L'étain ou le tungstène et certains gisements de cuivre ou d'uranium sont disposés près des granites, le plomb et le zinc plus loin.
- ✗ Au fond des océans existent des gisements qui seront exploitables dans le futur.



Zonation schématique de la position des gisements de métaux autour d'un granite.

d'après Moore 1982, simplifié

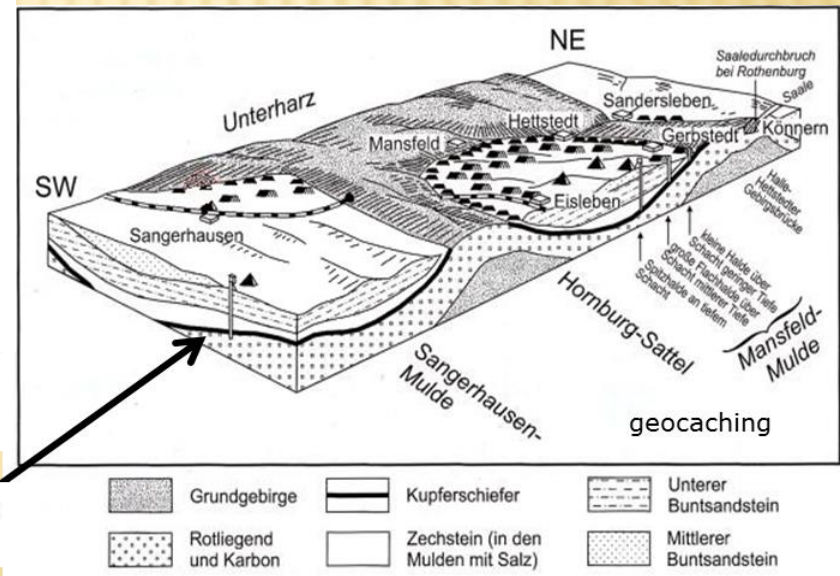
I - GISEMENTS EN CONTEXTE SÉDIMENTAIRE

Ils sont souvent disposés en couches : leurs formes sont calquées sur celles des formations géologiques au sein desquelles ils se trouvent. Ils peuvent être d'origine hydrothermale ou purement sédimentaire.

Des métaux déjà déposés peuvent être repris par des processus de surface (sédimentaires) et être piégés à nouveau lorsque changent les conditions du milieu (exemple arrivée de fluides riches dans un milieu sans oxygène) ; c'est le cas de certains gisements d'uranium ou de cuivre (ci-contre).

Gisement stratiforme de cuivre (dit de type Kupferschiefer)

Couche (strate) de minéral de cuivre



I - GISEMENTS SÉDIMENTAIRES



Gisement de bauxite (mélange d'hydroxydes de fer et d'aluminium; 50 % Al_2O_3) : ces concentrations sont dues au départ par lessivage en climat tropical (l'altération est plus rapide) de la silice d'un granite qui est exportée au loin par les eaux. Le gisement peut être résiduel (l'aluminium reste sur place, les éléments « inutiles » sont exportés) ou secondaire (l'aluminium seul est exporté).

Les gisements de ce type se situent dans des **pièges sédimentaires qui se sont** constitués par suite de l'altération pédologique sélective de roches mères riches à l'origine par exemple en nickel (roches du manteau). Ailleurs, c'est l'alimentation de zones bien définies par un transport particulière de certains éléments (karsts avec la bauxite pour Al, alluvions avec l'or), ou par l'évaporation de solutions enrichies (sel...).

LES « PIERRES » PRÉCIEUSES (GEMMES)

Diamant, rubis, saphir, émeraude, béryl (...) sont des minéraux rares, très recherchés car utilisables en joaillerie et donc avec une très forte valeur ajoutée.

Ces minéraux se forment dans des zones très métamorphiques (très hautes pressions pour le diamant) ou à la fin de la cristallisation des granites (filons de pegmatites).

L'altération climatique de ces roches permet souvent de récupérer ces gemmes dans les alluvions des rivières.



Émeraude dans une calcite
Cl. IRD G. Giuliani

I – CHERCHER DES GISEMENTS

- ✗ Des méthodes diverses (infra) sont utilisées ; le principe est de mettre de plus en plus de moyens sur des volumes de plus en plus réduits.
- ✗ Il faut compter 10 ans entre le début d'une prospection et la mise en exploitation.

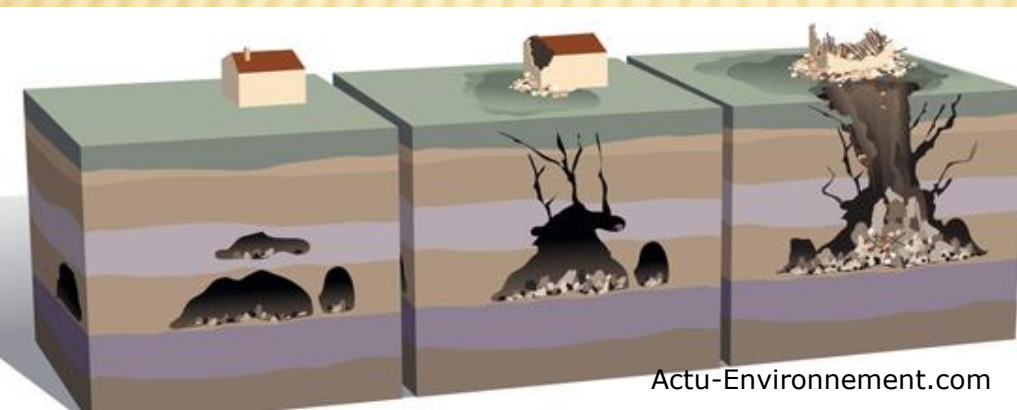
- Télédétection
- Cartographie géologique
- Géophysique (électrique, gravimétrie, radioactivité ...)
- Campagnes de géochimie
- Échantillonnage et analyses
- Forages destructifs
- Forages carottés
- Travaux miniers reconnaissance

temps
De + en + cher



I – APRÈS LA MINE

- Les exploitations minières ont de forts impacts sur l'environnement longtemps sous-estimés. A **long terme** en plus des catastrophes type Aznalcollar (1998) on citera la **stabilité des terrains** et ce qui est moins visible, les **dégâts géochimiques** : pour extraire 1g d'or on extrait aussi 1Kg d'arsenic. Les problèmes sont identiques pour les métaux accompagnateurs laissés sur place parce que non rentables.
- Le **drainage minier acide** est une acidification des eaux (pH 1-2) due à l'altération des sulfures par les eaux superficielles ou souterraines : sulfure + eau → métal en solution + H_2SO_4 .



Impacts géotechniques : Les cavités souterraines créées par les galeries de mine constituent un appel au vide qui se manifeste des années après l'arrêt de l'extraction par des affaissements ou des effondrements.

I- APRÈS LA MINE : PROBLÈMES ET SOLUTIONS

- Drainage minier acide : eaux à pH très bas.
- Envois de particules, exportation de métaux en suspension dans les cours d'eau, ou en solution.
- Stérilisation de terrains qui deviennent impropres à toute utilisation.
- Plusieurs catastrophes écologiques récentes : Chine, Espagne, Roumanie, Brésil.



Solutions

- ☐ Imperméabilisation des sites.
- ☐ Traitement des eaux.
- ☐ Phyto extraction ou phyto remédiation (mais que faire ensuite des végétaux ?).
- ☐ **Intervention obligatoire de la collectivité** (législation contraignante).