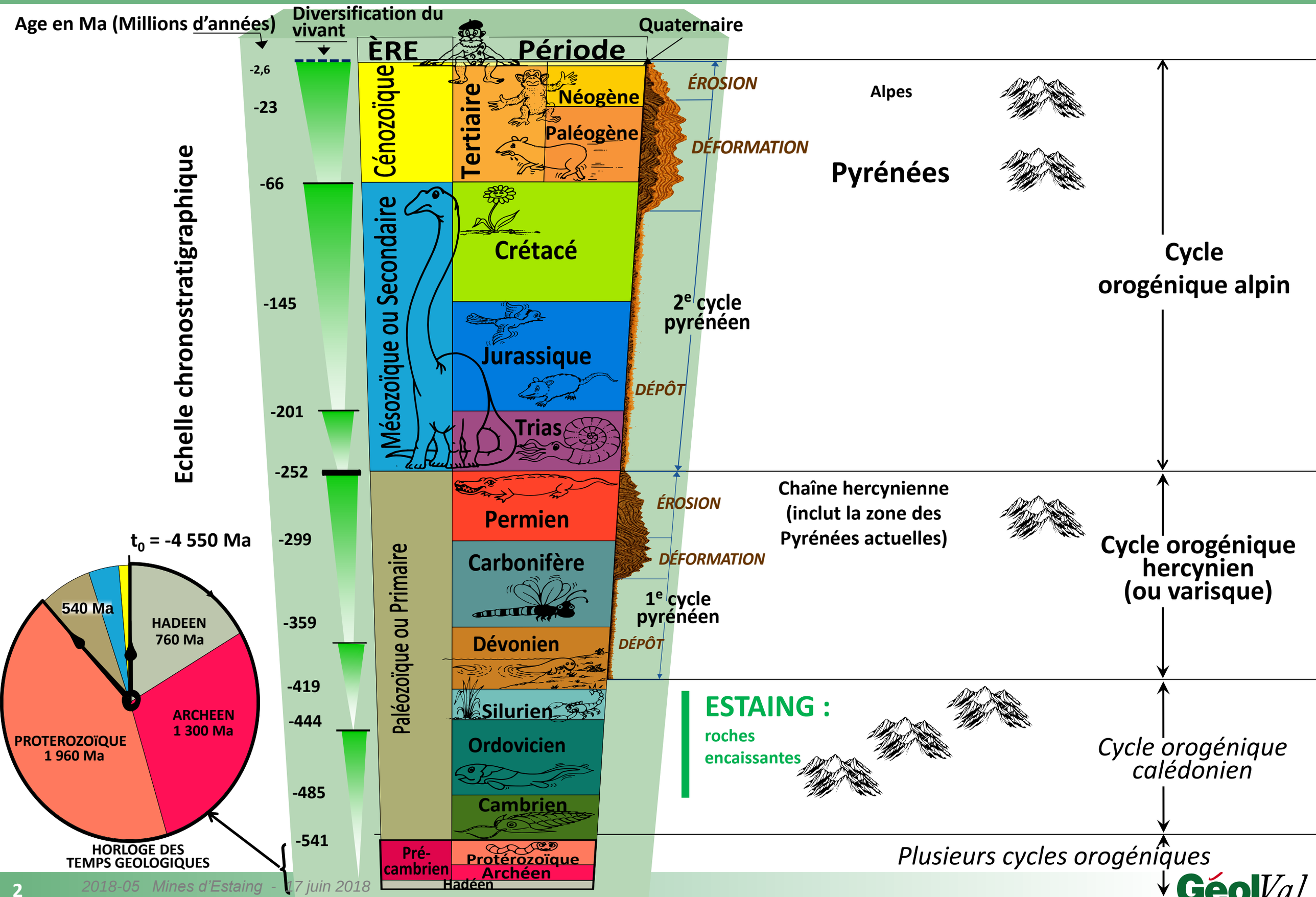
**Ils allaient conquérir le fabuleux métal**
**Que Cipango mûrit dans ses mines lointaines**

*José Maria de Heredia, Les Conquérants*

# AGES GÉOLOGIQUES ET PYRÉNÉES

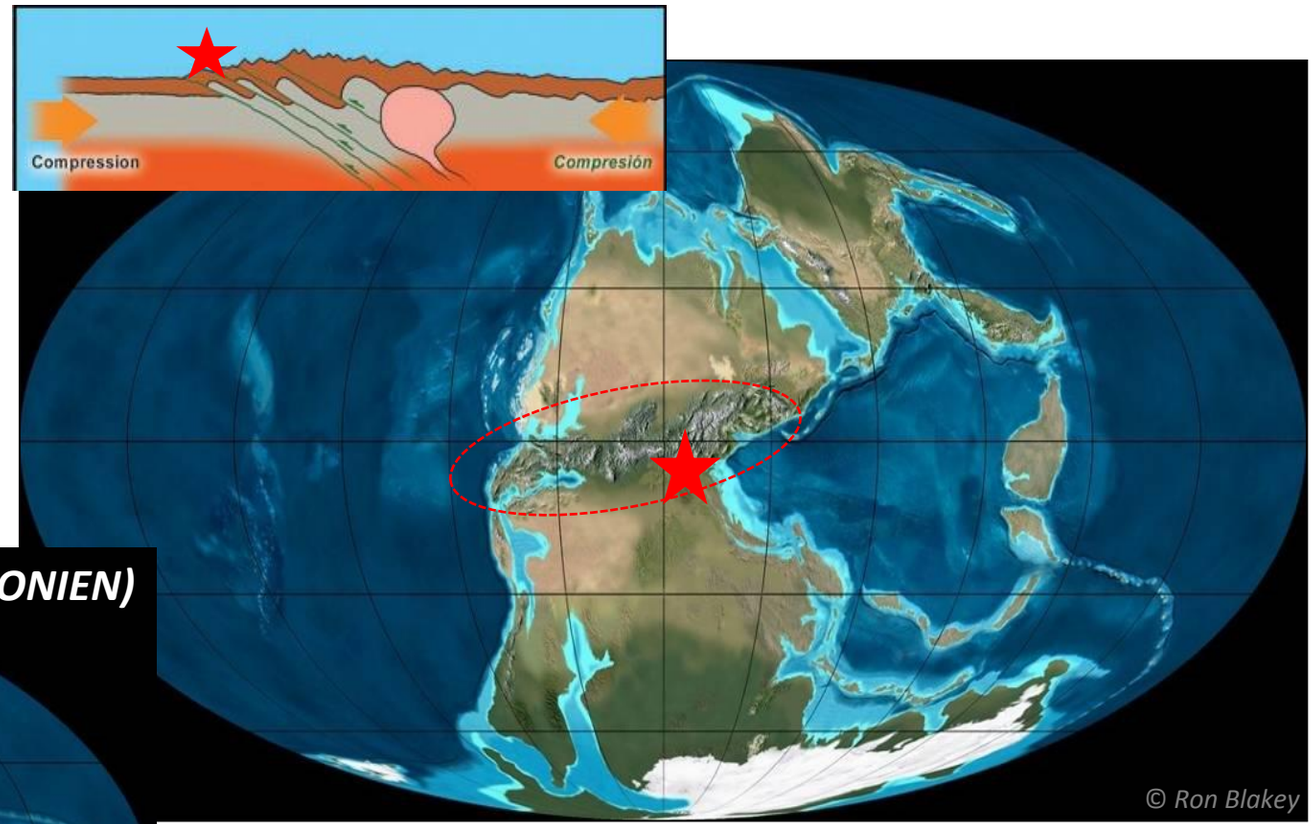





GéolVal

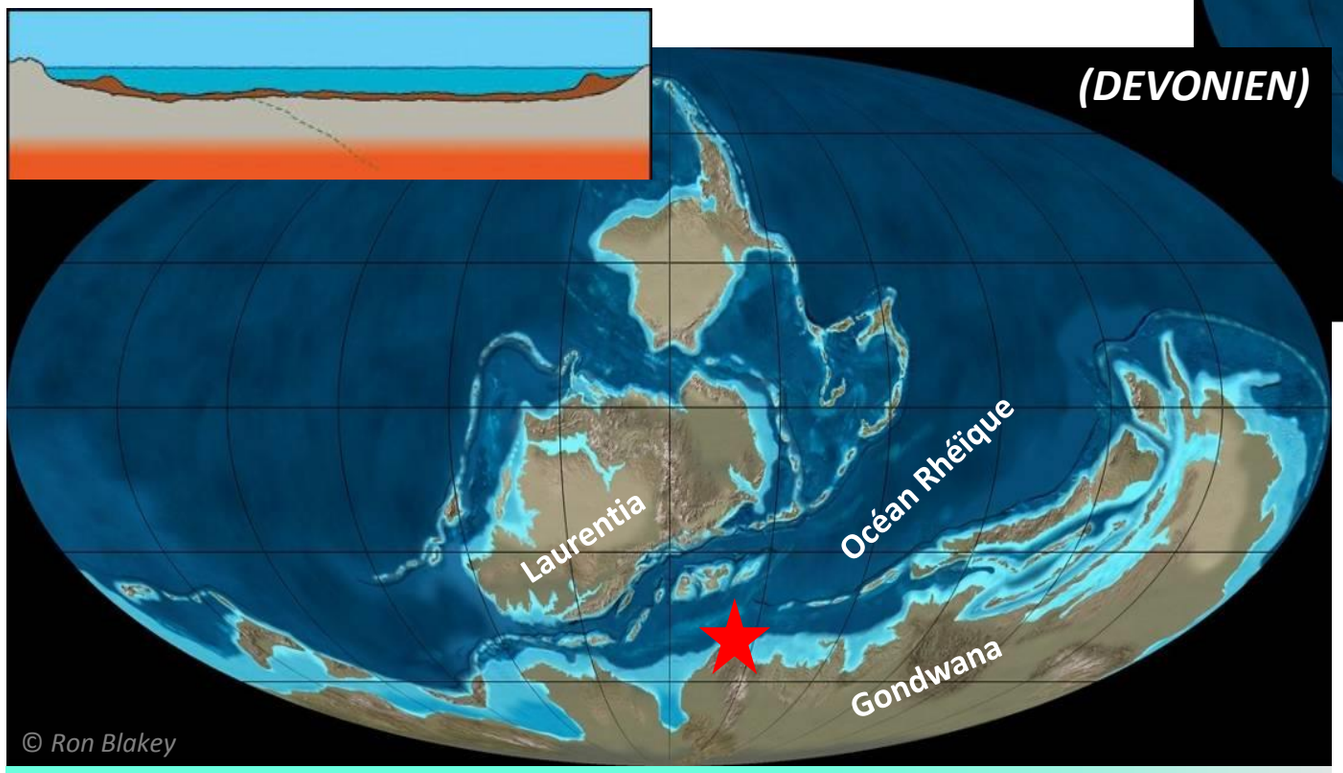
# LE MONDE AU PRIMAIRE, ET LA CHAINE HERCYNIENNE

★ emplacement des (futures) Pyrénées




## - 360/-290 Ma PRIMAIRE – Carbonifère

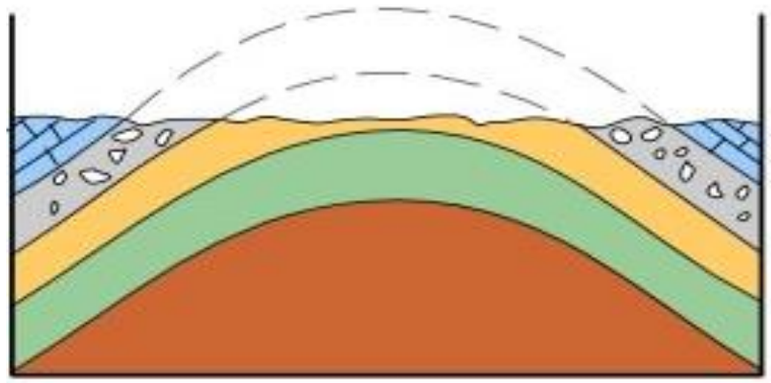
- collision continentale, et formation d'un « méga-continent » : la PANGEE
- une première chaîne de montagnes d'échelle mondiale: **chaîne hercynienne**
- Equateur : végétation luxuriante / Pôle Sud : calotte glaciaire



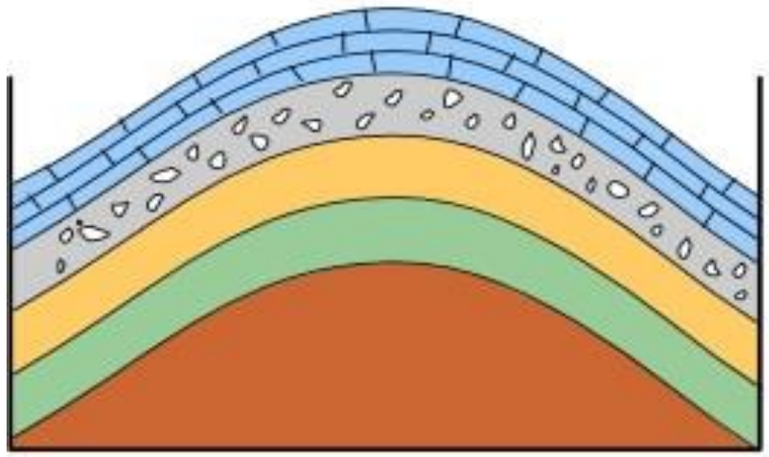

## - 485 / - 428 Ma PRIMAIRE (Ordo. – Sil.)

- des **sédiments** se déposent dans une mer de l'hémisphère sud
- **volcanisme** sous-marin pendant la sédimentation

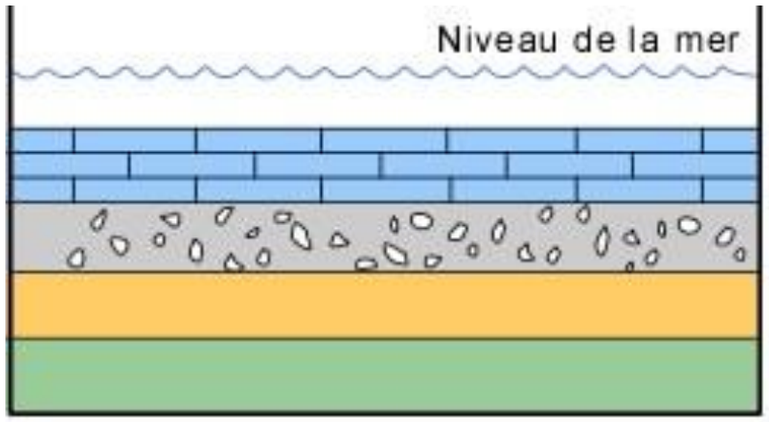
# un -bref- résumé du PRIMAIRE dans les Pyrénées



**3** **érosion → les anciens reliefs sont aplanis**
***(ici : durant le Permien, -300 à – 250 Ma, fin de l'ère Primaire)***

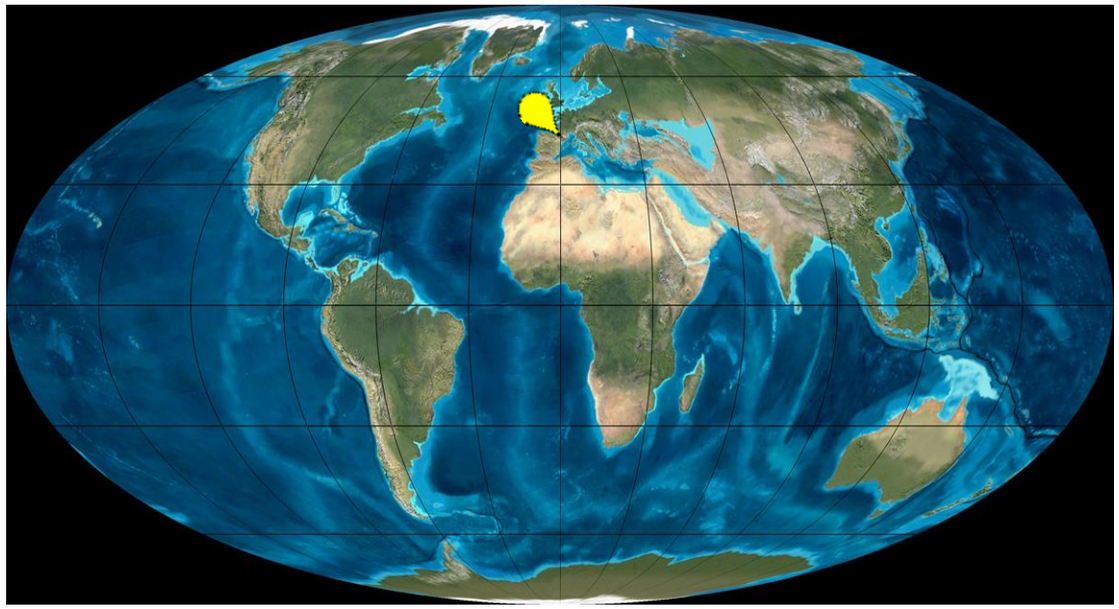


**2** **plissement des couches**
***(ici : durant la fin du Carbonifère, ~ - 300 Ma, ère Primaire → chaîne hercynienne)***

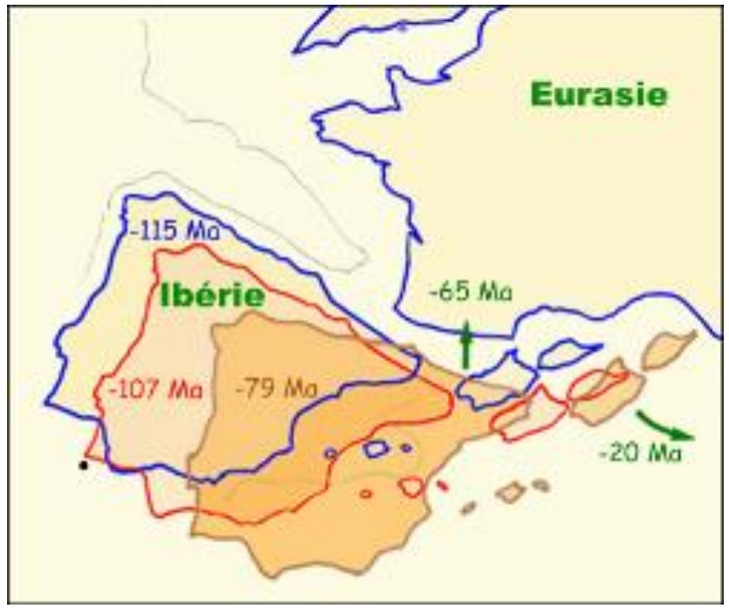



**1** **Dépôt des couches sédimentaires à l'horizontale**
***(ici : durant l'ère Primaire -485 à -430 Ma Ordovicien - Silurien)***

# fin Crétacé - TERTIAIRE (-85 à -20 Ma) : OROGENESE PYRENEENNE



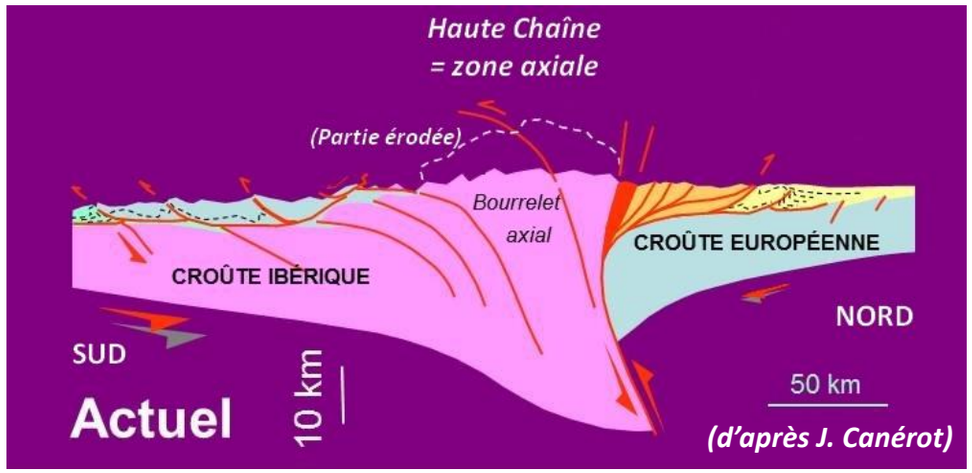
- à partir de la fin du Crétacé et durant le Tertiaire : collision entre les plaques **Ibérique** et **Européenne**




*Source : RSSP – Réseau de Surveillance Sismique des Pyrénées*

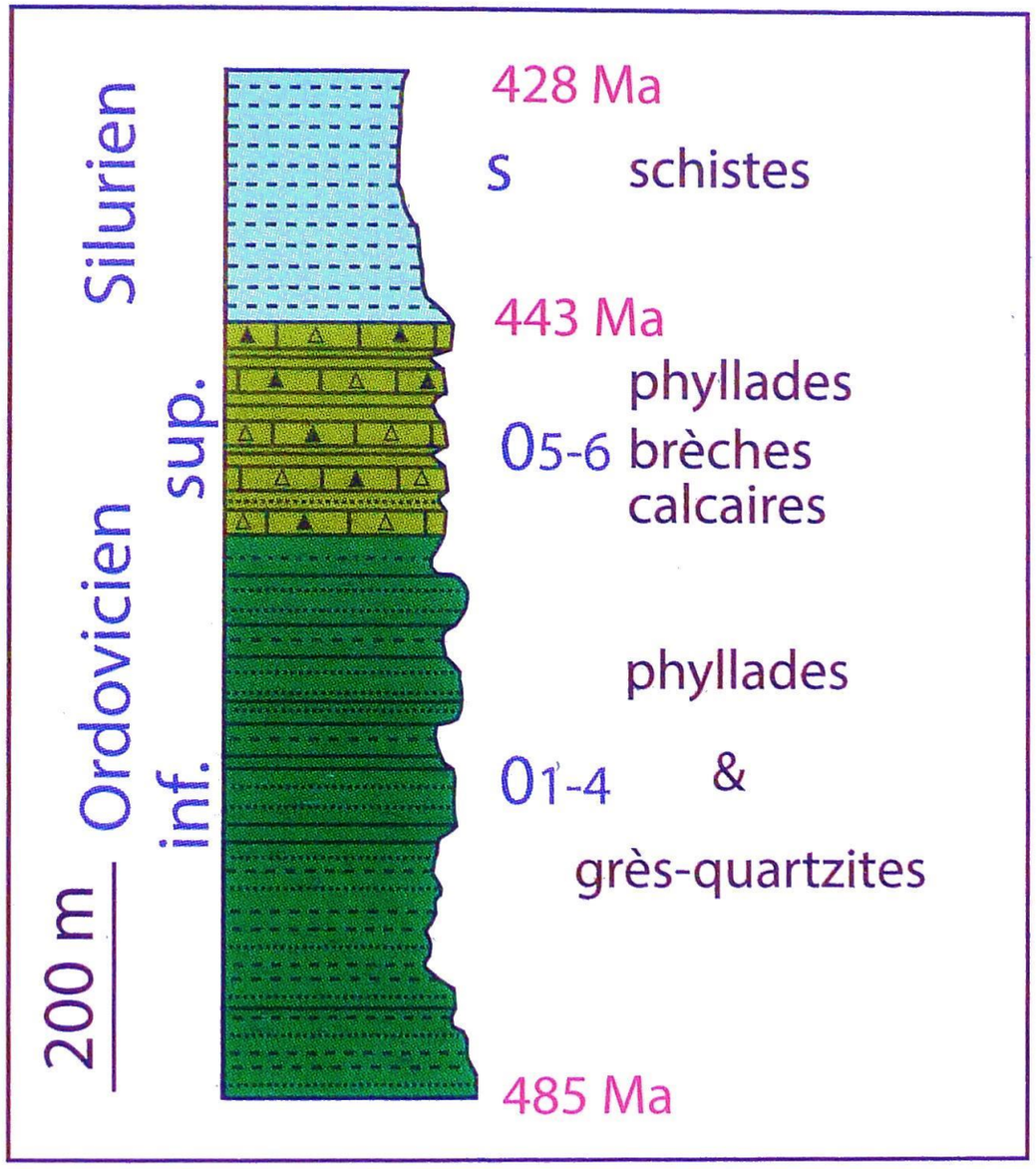
- Dérive de l'Ibérie, puis collision avec l'Eurasie

- cette –nouvelle- collision forme les **Pyrénées** actuelles
- les anciens reliefs (Primaire) érodés, et les nouveaux sédiments déposés ensuite (Secondaire : Crétacé), sont plissés et portés en altitude.




- Résultat de la collision (vu en coupe)

# sentier des mines : les terrains observés (Primaire = Paléozoïque)




**milieux de dépôt**

- schistes noirs, ou « ampélites »
  - matière organique, pyrite
  - ἄμπελος = vigne

mer plus profonde et peu agitée, milieu réducteur - argiles

*érosion ?*

- brèches +/- calcaires, avec des éléments volcaniques

important volcanisme sous-marin, basaltique (rift ?)

- phyllades =
  - schistes ardoisiers et/ou à séricite et chlorite
- grès et quartzites

mer peu profonde et agitée ; instabilité tectonique et érosion de reliefs

# des GISEMENTS minéraux : pourquoi, comment ?

- une affaire de remontée des éléments lourds
- **et** une affaire de concentration

- ***un gisement, c'est une anomalie !***

**abondance de quelques métaux dans la croûte**

| | **Clarke %** abondance dans la croûte | teneur moyenne exploitée | facteur de concentration |
|---|---|---|---|
| Aluminium | 8 | | 3-4 |
| Fer | 5 | 30-70 % | 5-10 |
| **Zinc** | 0,0013 | 3-11 % | 300 |
| **Plomb** | 0,00015 | 3-11 % | 200 (?) |
| Or | 0,0000005 | 7-30 g/t | 40 000 |

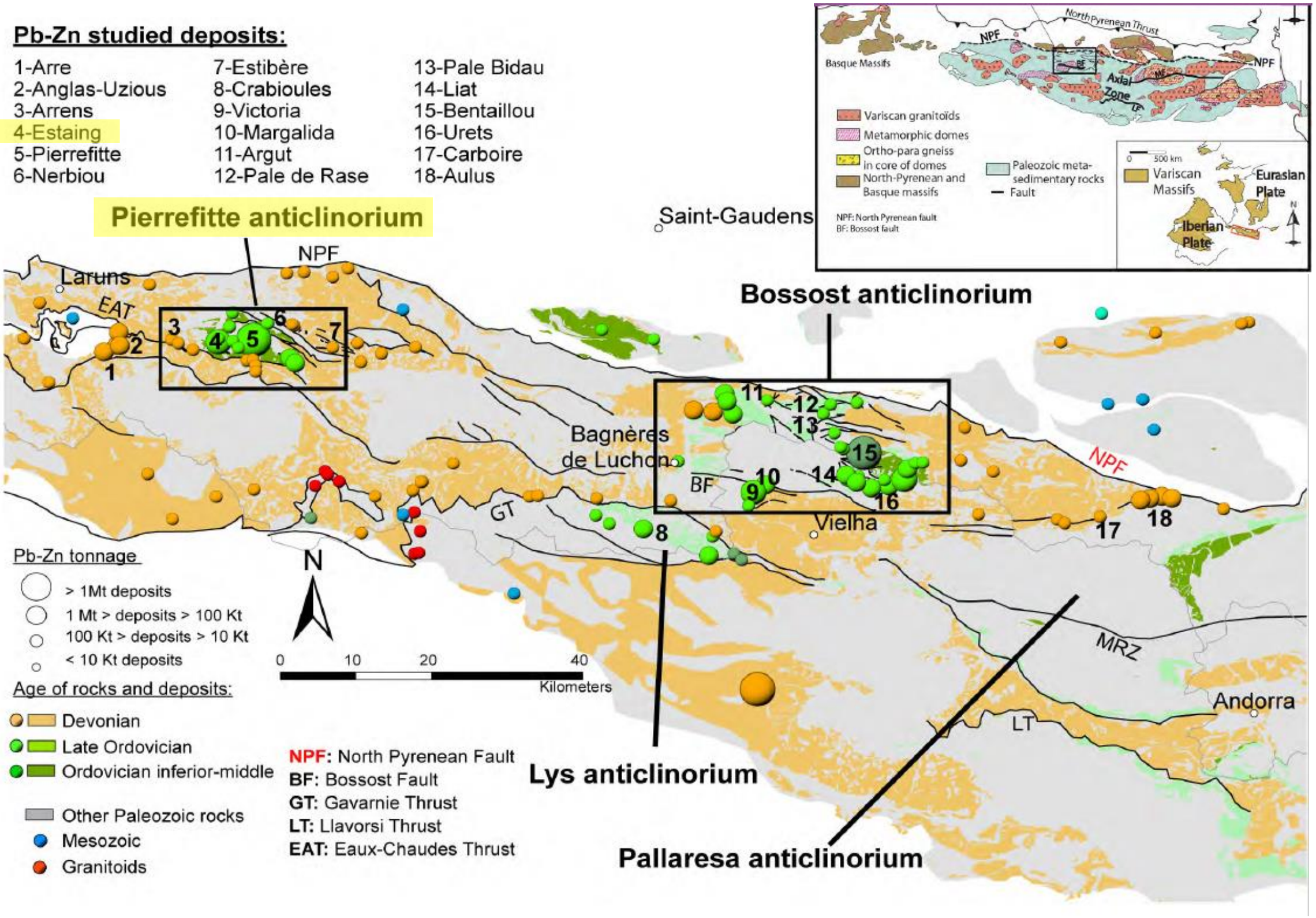
*dans la **garbure**, les éléments lourds sont au fond ; ils ne remontent pas naturellement*

*sur la **plage**, les « trésors » métalliques sont présents, mais disséminés : manque de concentration secondaire*

▲ Prospecteur, une activité « honnête, et souvent utile ».©PHOTO C.-H. G.

**Le soir, lorsque les vacanciers quittent la plage, des chercheurs de trésors armés de détecteurs de métaux apparaissent. Rencontre avec de curieux prospecteurs.**

# PYRENEES centrales : « provinces métallogéniques » à Pb-Zn




A. Cugerone et al., Journées RGF 2018



GéolVal

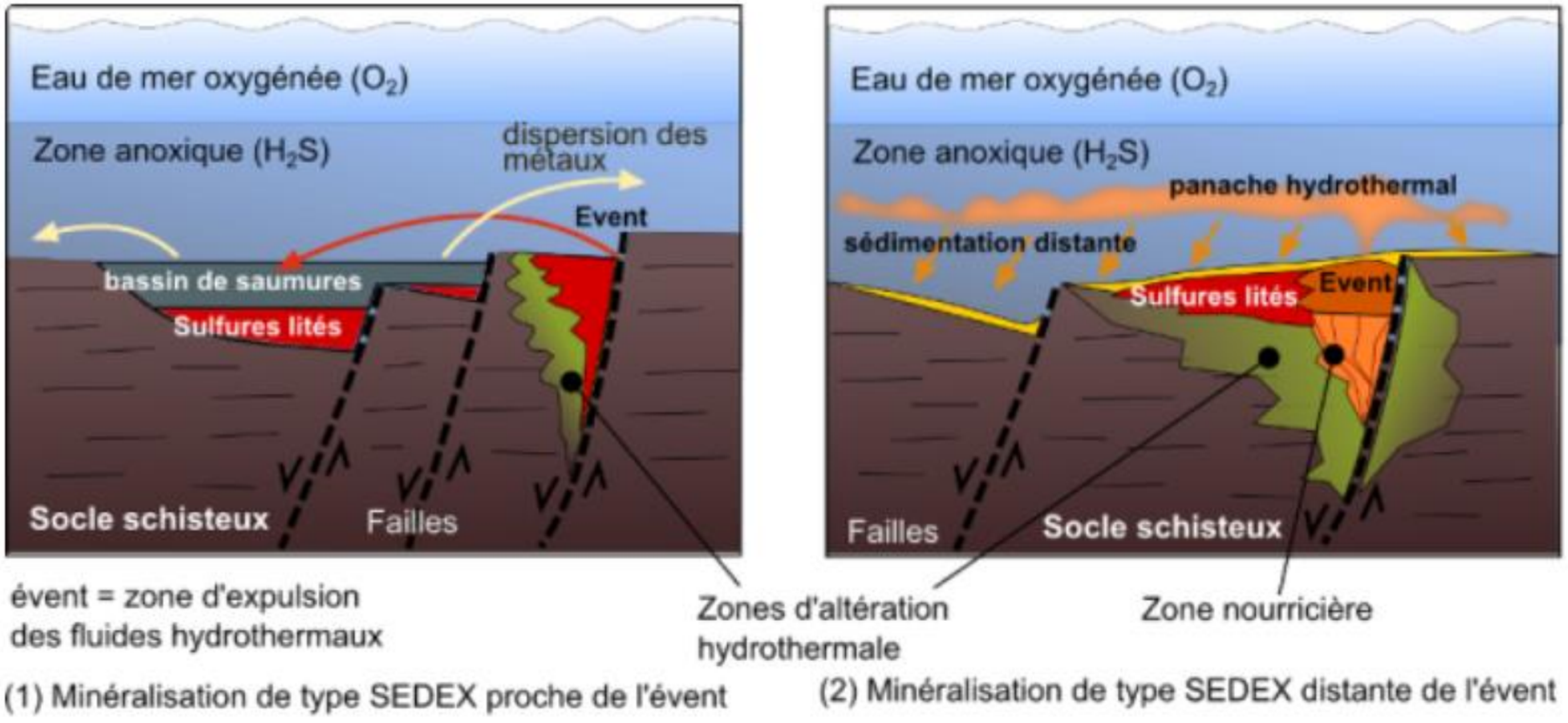
# les gisements hydrothermaux / la source initiale

- principe : le mélange d'un **fluide chaud et chargé en métaux** (hydrothermal, et non magmatique) avec une eau froide (mer) provoque la déstabilisation des complexes métalliques …
- *VMS = amas sulfurés massifs volcano-sédimentaires (Cu, Zn, …)*
  - *analogues actuels : les fumeurs noirs (dorsales océaniques)*

les deux sont **contemporains de la sédimentation** : syngénétiques

- **SEDEX = gisements sédimentaires exhalatifs**
  - **analogues : mer de Salton (Californie), Mer Rouge** (boues hydrothermales : 50 Mt)
  - **50 % des ressources mondiales en Pb - Zn**

2 modèles de minéralisation type **SEDEX**




https://www.pairform.fr/doc/17/138/500/web/co/grain2_2_4.html

# les gisements hydrothermaux / la source initiale de métaux

- les fluides hydrothermaux sont des fluides **non** magmatiques :
  - déshydratation des sédiments par compaction, métamorphisme, eaux météoriques, eau de mer
  - ils s'infiltrent en profondeur, se réchauffent et se chargent en métaux
  - puis remontent en surface à la faveur de fractures et/ou de failles

- précipitation des métaux : facteurs déclenchants
  - chute de température
  - (chute de pression en cas d'ébullition)
  - mélange de fluides

- VMS : marges divergentes (rides, rifts d'arrière-arc)
  - Cu – Zn surtout
  - associés au volcanisme sous-marin, indépendants du processus de sédimentation
  - amas et stockwerk *(réseau dense de petits filons)*

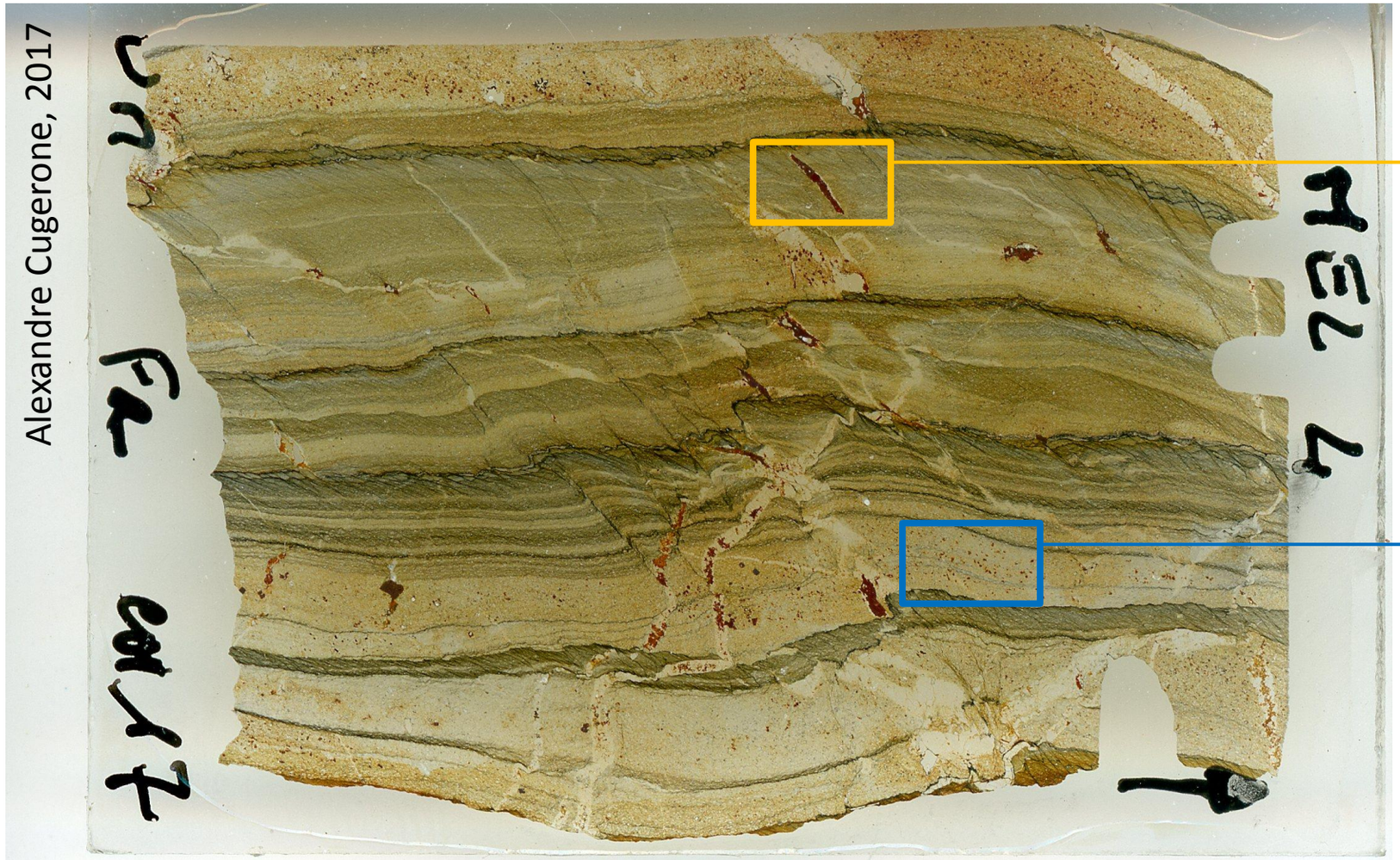
- SEDEX : bassins de rift intracratoniques … *notre cas ici ?*
  - source majeure de Pb, Zn, Ba
  - sans lien direct avec les roches volcaniques
  - dépôt initial stratiforme

- la MER ROUGE (rift = océan en formation) montre des gisements actuels intermédiaires entre VMS et SEDEX – *un analogue possible pour l'Ordovicien sup. ?*

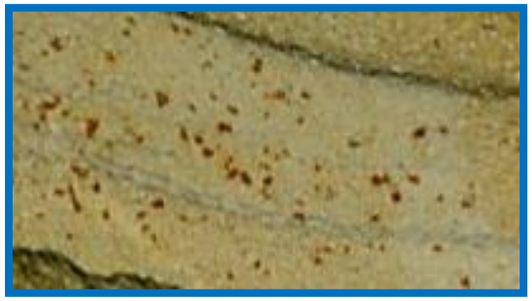
# minéralisation : concentration initiale / remobilisation / concentration finale

- un exemple à l'échelle centimétrique

n x cm




- minerai **remobilisé + concentré** (fractures)

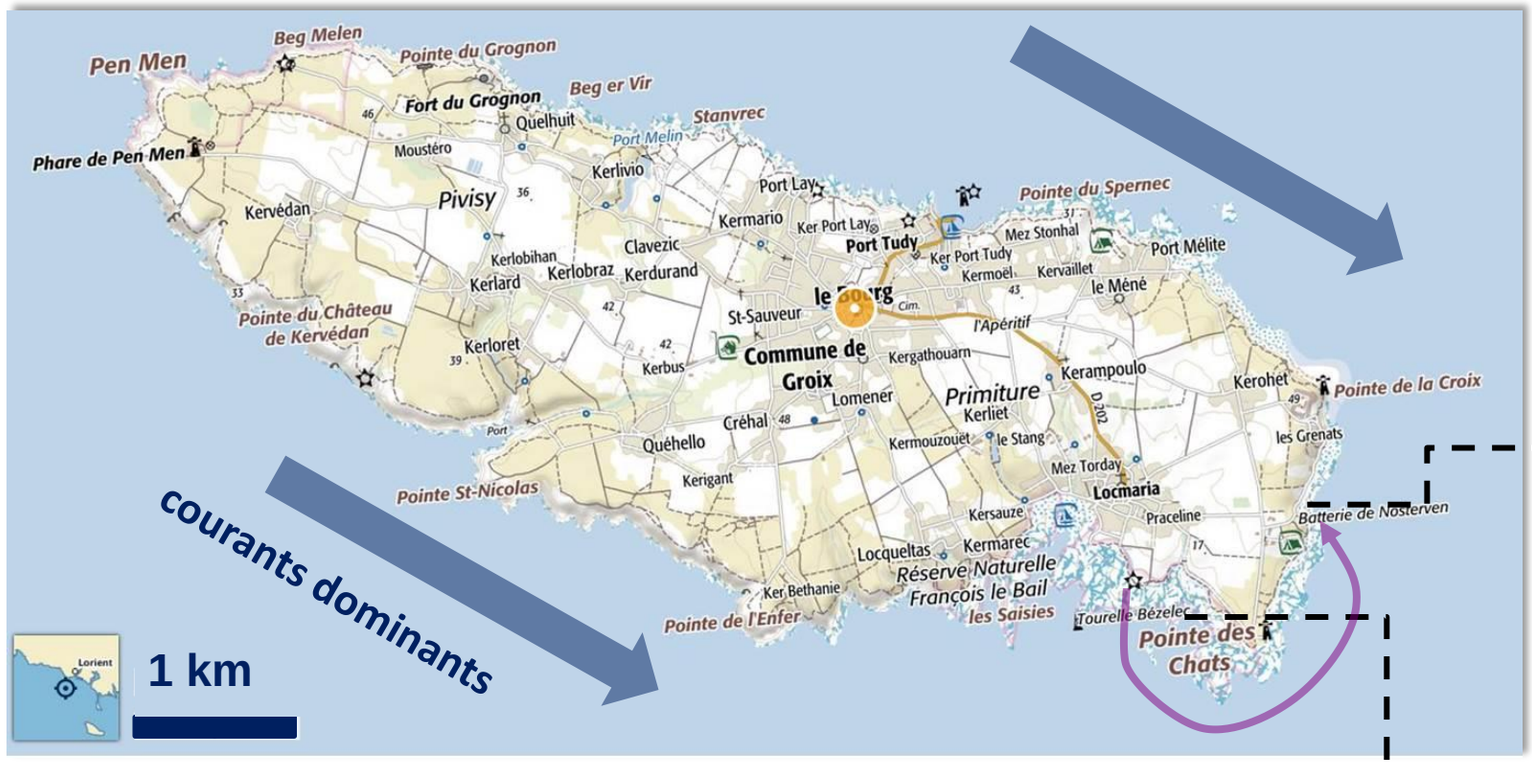


- minerai **disséminé**, +/- parallèle au litage

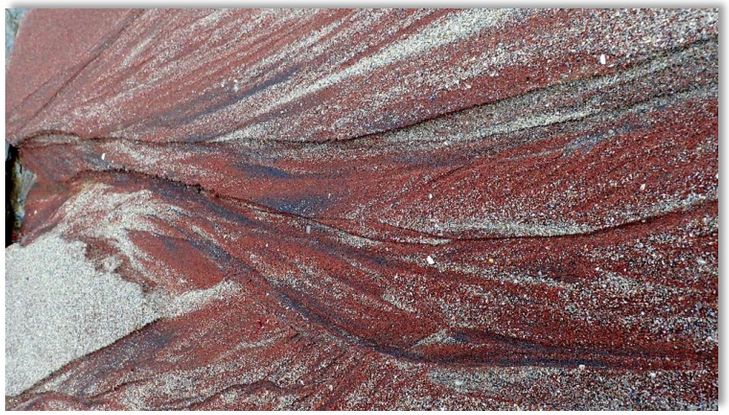
- lame mince : **sphalérite** (ZnS) colorée en **rouge**

*(Pale Bidau, Melles, 31)*

# remobilisation + concentration : analogue des grenats à GROIX (56)




**grenats** remobilisés et déposés dans la crique

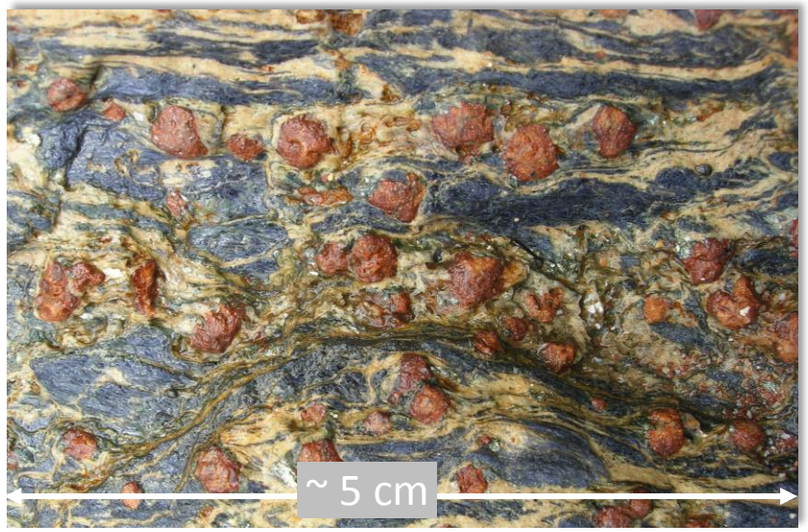


~ 1 m

plage des **« sables rouges »**

Un modèle simple :

- les **grenats** en place sont érodés par les vagues sur l'estran
- les grains sont transportés par les **courants** vers l'est
- ils viennent se **redéposer** dans la zone calme à l'abri du courant
- les grenats sont plus denses que le quartz : les marées et les vagues finissent le travail de poli, et de tri des grains par densité




**grenats** en place dans les schistes bleus *(métamorphisme)*

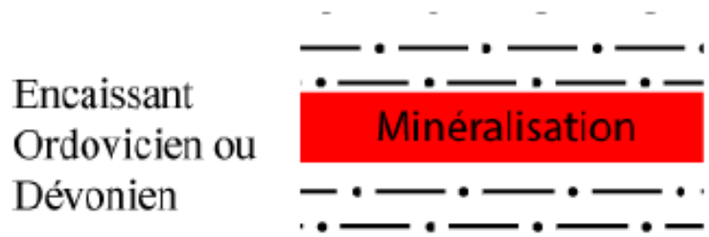


GéolVal

# 1. dépôt synsédimentaire // 2. mobilisation, piégeage + concentration ??

- les hypothèses actuelles (2018)

**Minéralisations déposées en même temps que l'encaissant = syngénétique**




-->Ages de mise en place ordovicien ou dévonien?

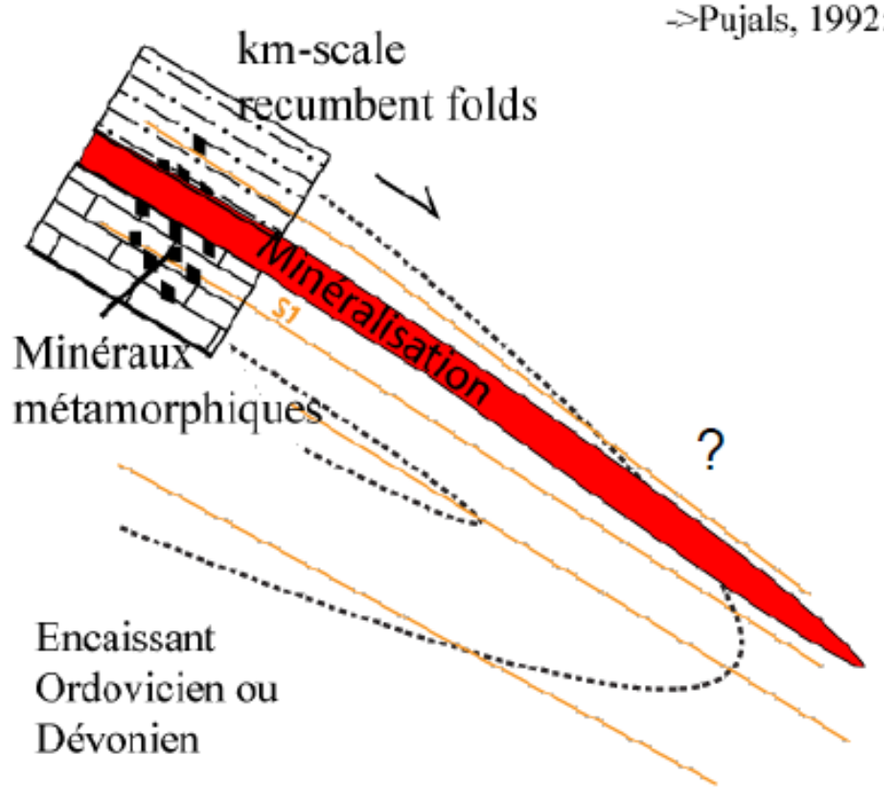
->Pouit & Bois (1980's): Pierrefitte, Bossost

->Pesquera & Velasco, 1989: Pb-Zn massifs basques

->Pujals, 1992: Pb-Zn Bossost (Sud)

ET/OU

**Minéralisations post-sédimentations = épigénétiques**




--> Ages de mise en place Varisque?

->Nicol, 1997: Pierrefitte

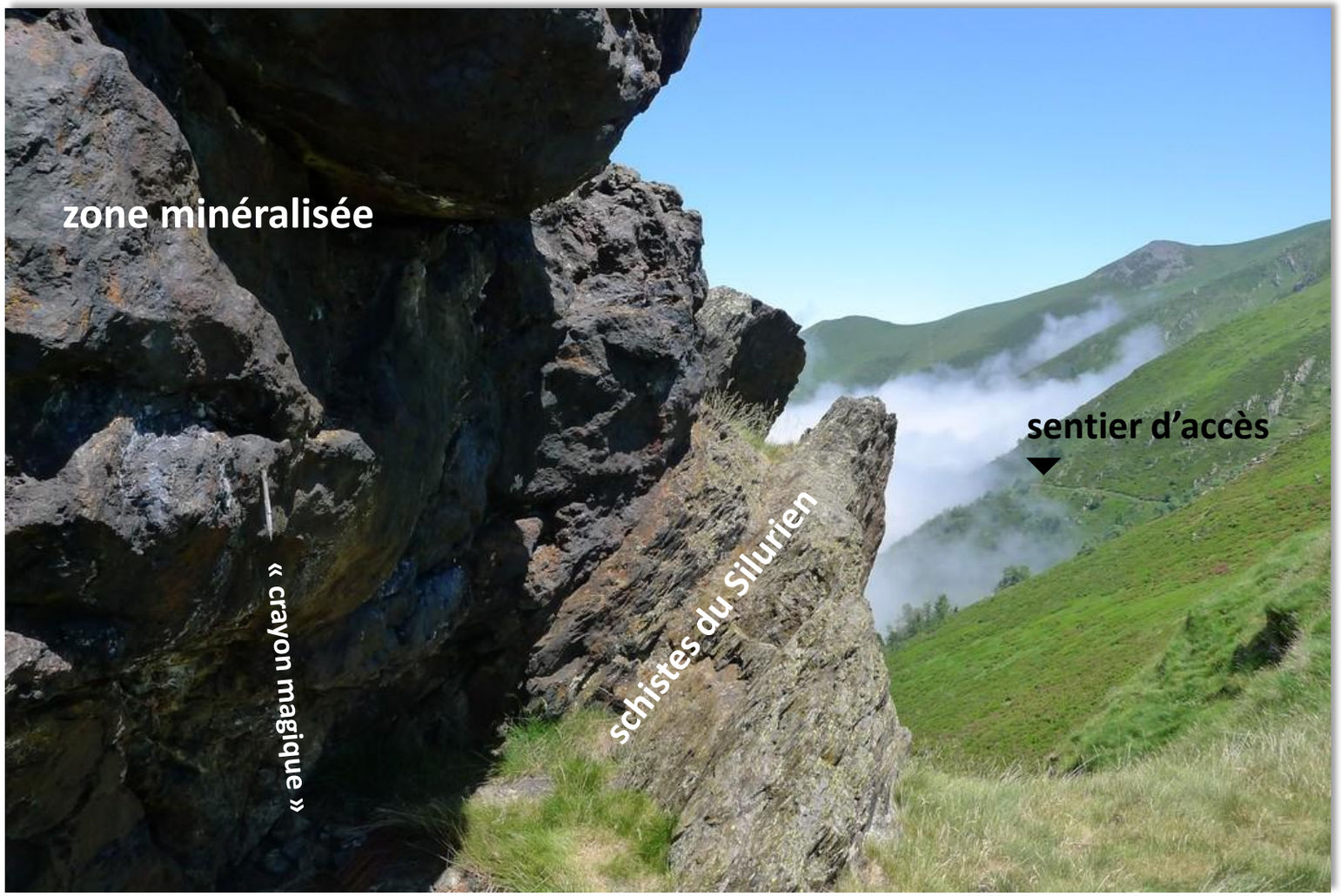
->Reyx, 1973: Anglas-Arre

->Alonso, 1979: Pb-Zn Bossost (Sud)

->Cugerone et al., 2018: Bossost (Nord)

*A. Cugerone et al., Journées RGF 2018*

# les PIEGES probables à ESTAING (Espujos – Arrouy)

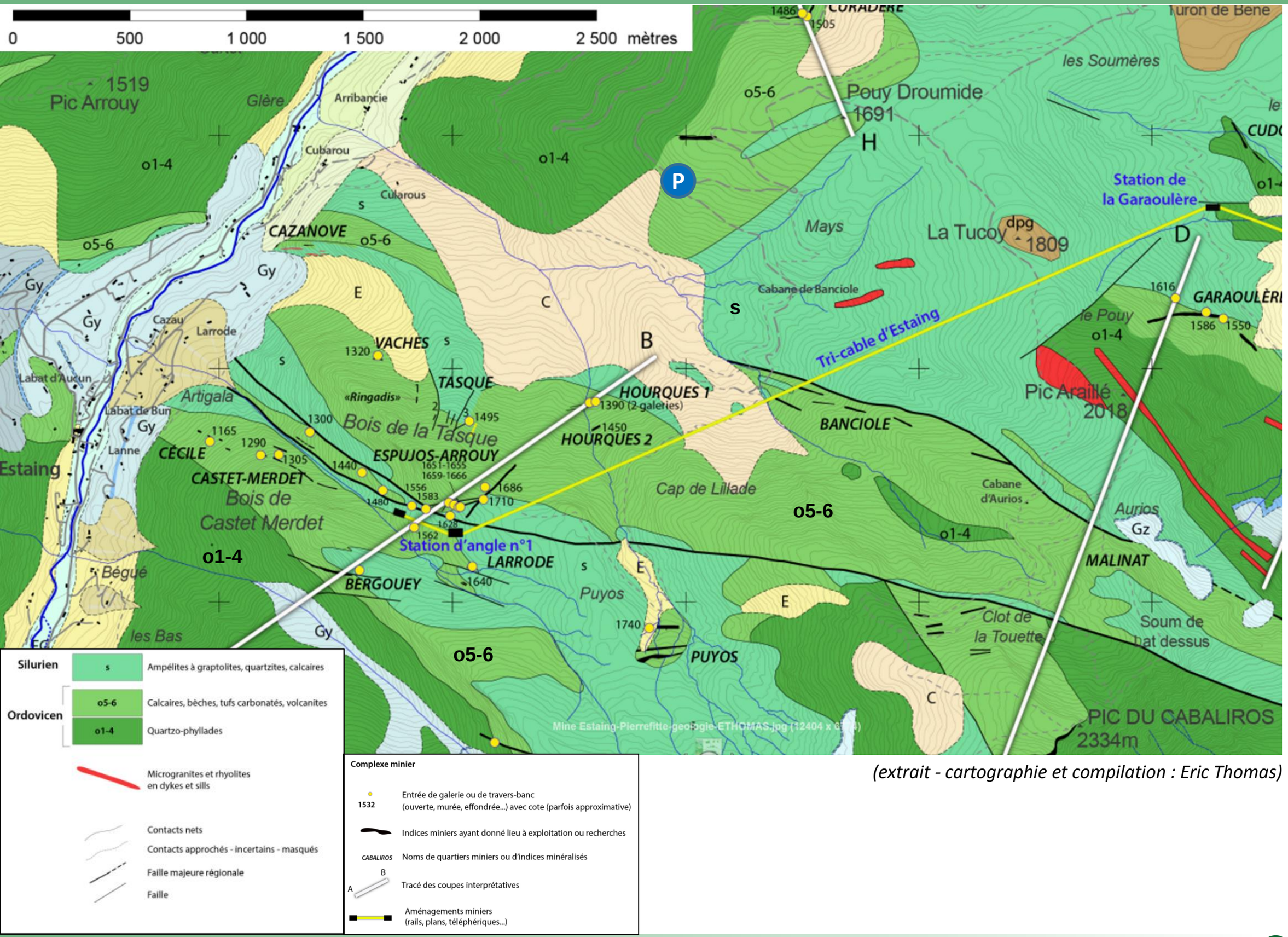



la « roche mère » de la minéralisation serait donc la brèche volcano-sédimentaire de l'Ordovicien (l'hypothèse reste à confirmer).

- **failles** ~ E-W (N 110 °), et réseau de **fractures**
- contact lithologique avec les **schistes noirs** (Silurien) = barrière ?

*« la majorité des minéralisations est de type tardif filonien, et proviendrait d'une remobilisation. Probablement d'âge Varisque. Elle se trouve dans des filons sécants, parfois légèrement concordants avec la stratigraphie, à la limite Ordovicien sup. / schistes du Silurien. » (A. Cugerone, fév. 2018)*

# CARTE GEOLOGIQUE et MINIERE (Cabaliros ouest)



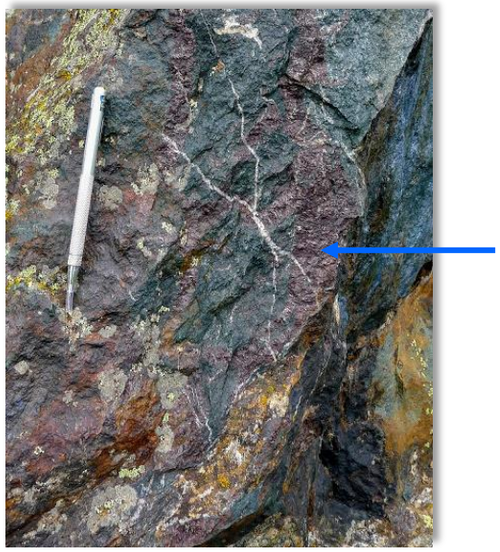

*(extrait - cartographie et compilation : Eric Thomas)*



GéolVal

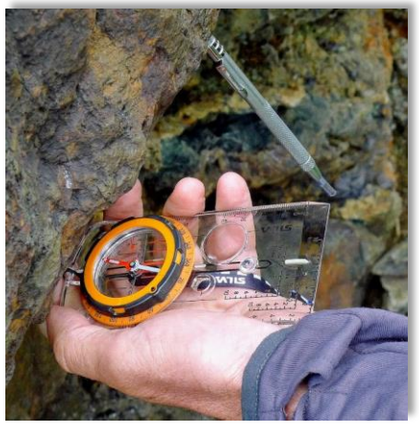
# les MINERAIS exploités

- **sphalérite**, ou blende : **ZnS**
  - σφαλερος (grec ancien) = trompeur, incertain
  - blenden (all.) = éblouir, tromper

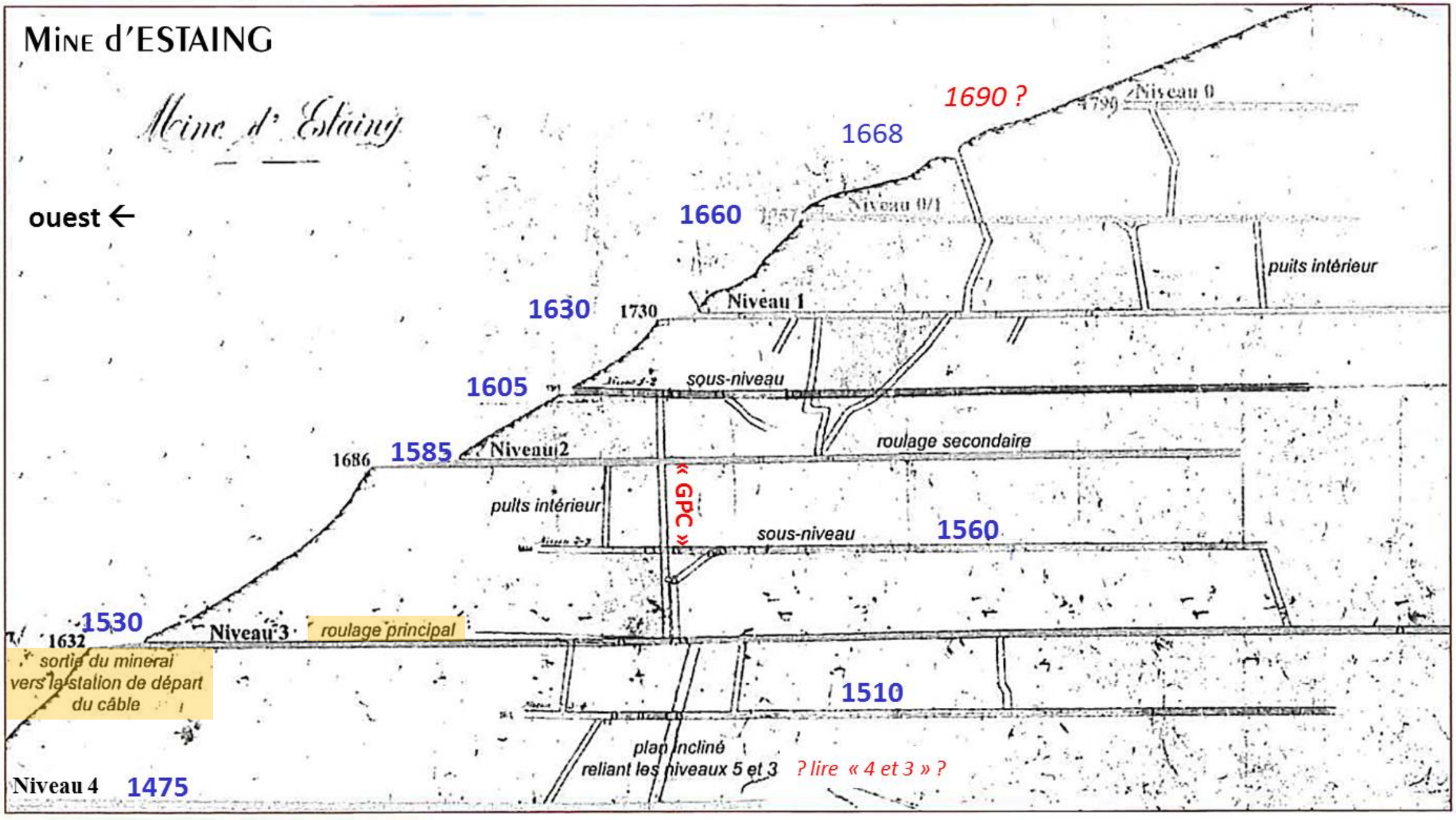


- **galène : PbS**
  - γαλήνη (grec ancien) = minerai de plomb

- *magnétite* : $Fe_3 O_4$



# ESTAING : les niveaux d'exploitation, début XXe siècle




▸ **coupe schématique de l'exploitation, plans d'époque**

*Schéma général de la mine (doc. M.D.)*

*source du schéma :*
*doc. MC Dupont, in « Chemins de Fer régionaux et tramways », N° 336, nov-déc 2009*
*les cotes en NOIR sont des mesures d'époque non déterminée*
*– cotes « époque » - 100 m = **cotes IGN***



GéolVal

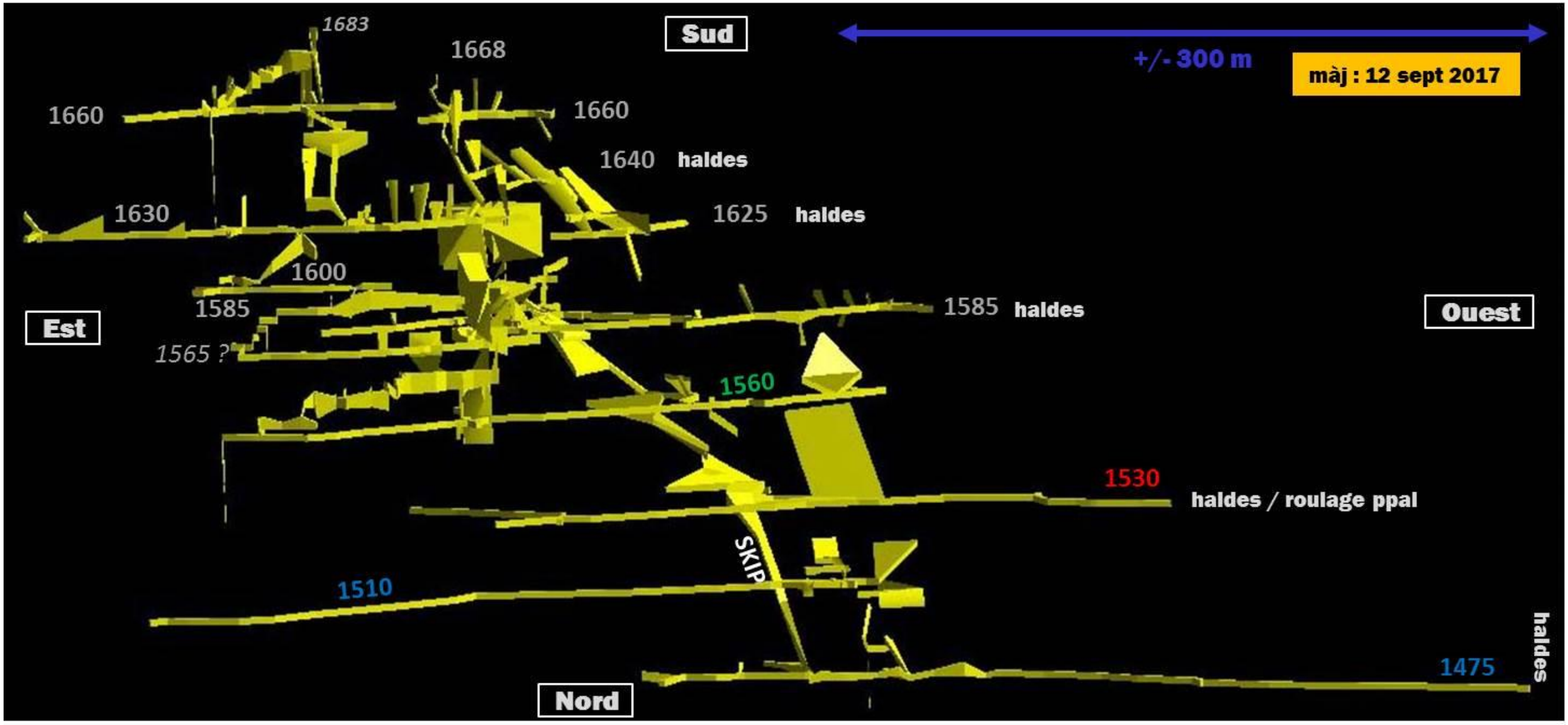
# ESTAING : aperçu des techniques d'exploitation

**zone de dépilage** = chantier d'abattage du minerai

**berlines** (wagonnets) dans une galerie de roulage secondaire

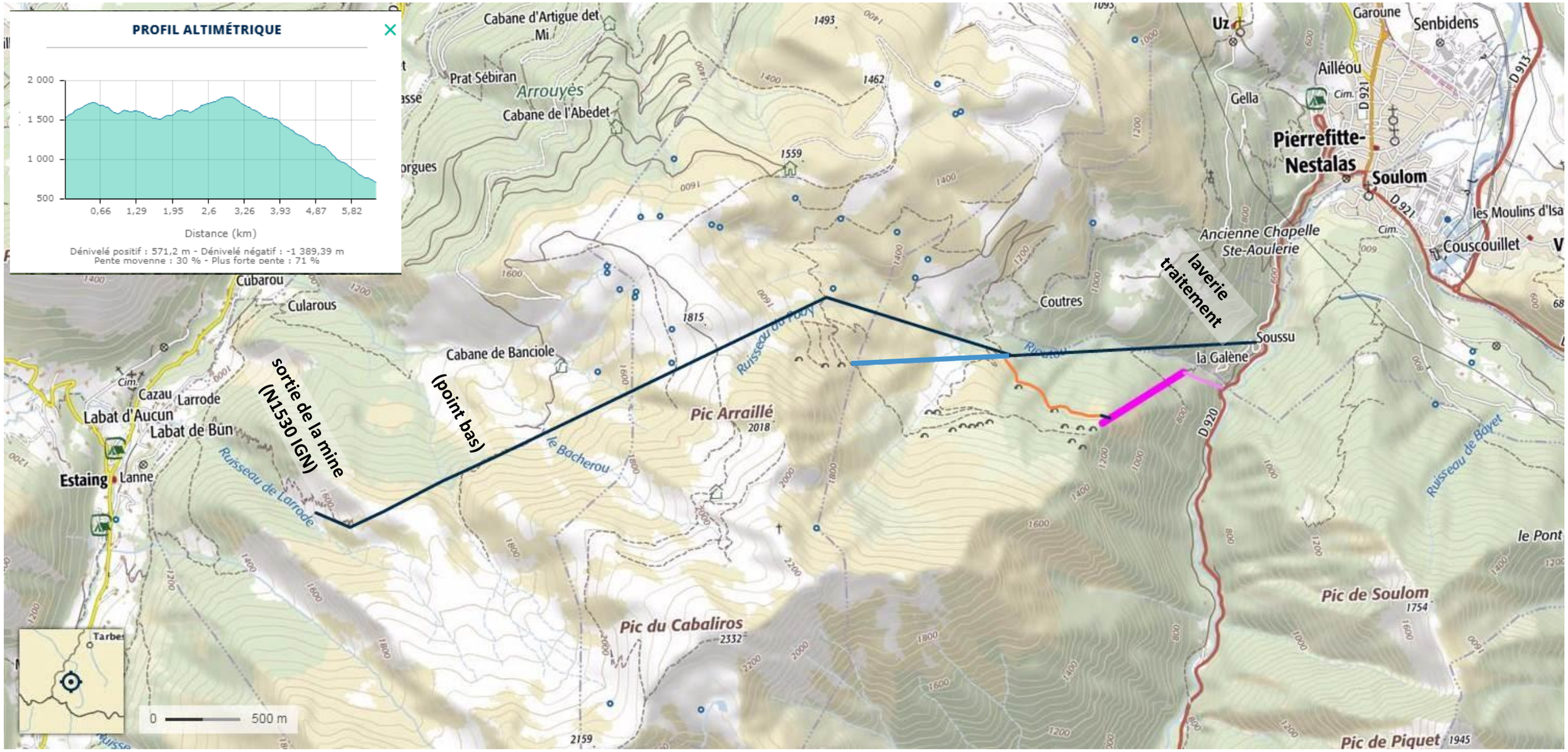
**bref historique** : le secteur était connu des Romains – diverses exploitations du XV$^{e}$ au XIX$^{e}$ siècles – en 1879, la concession est vendue aux Anglais - en 1900, elle est reprise par « The mines de Pierrefitte Ltd », et exploitée industriellement à Estaing de 1907 à 1914 – 270 000 tonnes de tout-venant ont été extraites, à ~20 % de minerai utile (sphalérite et galène à hautes teneurs)

# ESTAING : exploration, XXIe siècle



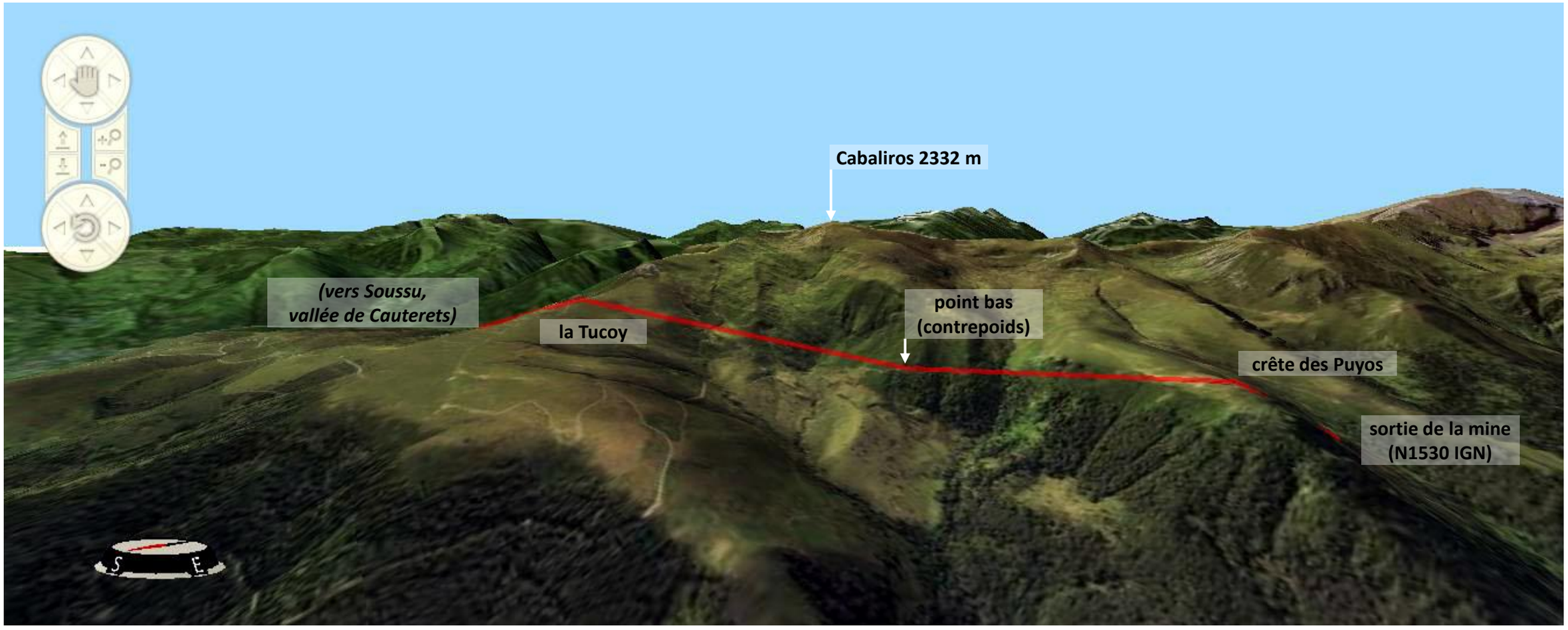

- **topographie d'exploration, vue 3D, 2017** *(auteur JMP, légendes LSP)*

# le câble de transport d'ESTAING à PIERREFITTE




- **trajet du câble d'Estaing à Soussu (longueur : 6,6 km)** – construit en 1906-1907 – ferraillé en 1999 (!)
  - 6 608 m de long, 3 stations d'angle, 63 pylônes / « tricâble » = 2 porteurs + 1 tracteur
  - 158 bennes de 200 l (~ 325 kg de minerai par benne), dont 66 en charge simultanée
  - vitesse 2 m/sec, trajet ~ 60 min, 21 tonnes / heure
- *installations plus récentes (côté Pierrefitte) : câble de Garaoulère, voie ferrée, plans inclinés extérieurs*

# le câble en 3D (vue partielle)




*Jean-Marc Poudevigne + LSP, 2018*

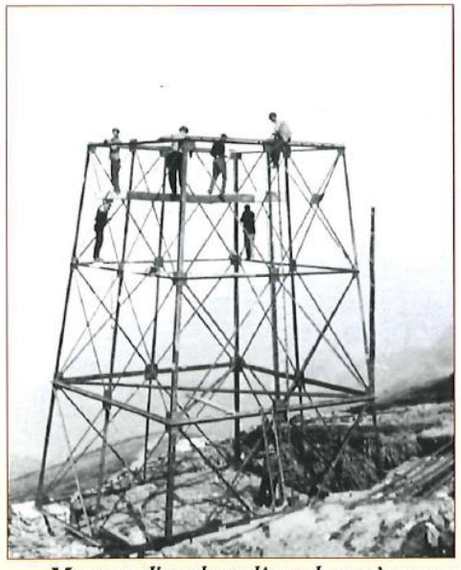
# le « tricâble » en fonction, entre 1907 et 1914

*Contrepoids de tension des câbles porteurs (doc. M.D.)*

*Ligne aérienne du transporteur par bennes (doc. M.D.)*

▲ **passage du câble sur la crête (la Tucoy ?)**

**montage d'un pylône** ▶



*Montage d'un des pylônes de soutènement du tri-câble (doc. C. Parrou)*

# les contrepoids en 2018

# sortie de la mine et station de départ du câble, vers 1907-1914

- **station de chargement du câble – sortie du roulage principal à 1530 m** *(doc. Pierre Mancini)*

# ... au cœur des ténèbres ...

- **arrivée au sommet du « skip », niveau 1530** *(14 juin 2018)*

# et la FUCHSITE, alors ?

- la **Fuchsite** est une variété de mica muscovite
  - la couleur verte est due au **chrome**, qui remplace une partie de l'aluminium

| Mineral | Composition |
|---|---|
| Muscovite | $KAl_2(Si_3AlO_{10})(OH)_2$ |
| Fuchsite | $K(Al,Cr)_2(Si_3AlO_{10})(OH)_2$ |

  - son nom vient du minéralogiste allemand Johann Nepomuk von Fuchs
  - on la trouve dans le faciès métamorphique « schistes verts » (épizone)
  - on peut trouver des **rubis** (variété de corindon) dans la fuchsite – en cas de problème :
    - *Le Rubis Fuchsite aide à éliminer tout blocage au niveau du chakra du cœur et combler le vide avec des énergies d'amour positifs . (sic)*

**Fuchsite, variété « verdite »**

**Fuchsite à rubis,** taillée en cabochon (noter l'auréole bleue de cyanite, ou disthène)

Johann Nepomuk von Fuchs (1774 – 1856)

# sources et remerciements

- Alexandre Cugerone
- Michel C. Dupont
- Christian Parrou
- Dominique Rossier
- Éric Thomas
- les spéléos miniers : Brice, Dom, Éric, Jean-Marc, Jean-Paul, Louis, Lucie, Sam, Véro, …

- … et sans oublier Rodri, l’