

29 Mai 2021

Journées Nationales de la Géologie

***SGF-Geolval-AGSO
présentent :***

Sur les traces des mineurs d'Estaing

Marc Blaizot et Alain Péré

sur une idée originale de Louis De Pazzis (Geolval)



Carte topographique de l'itinéraire 1/25000 –IGN Lourdes (1647 ET)

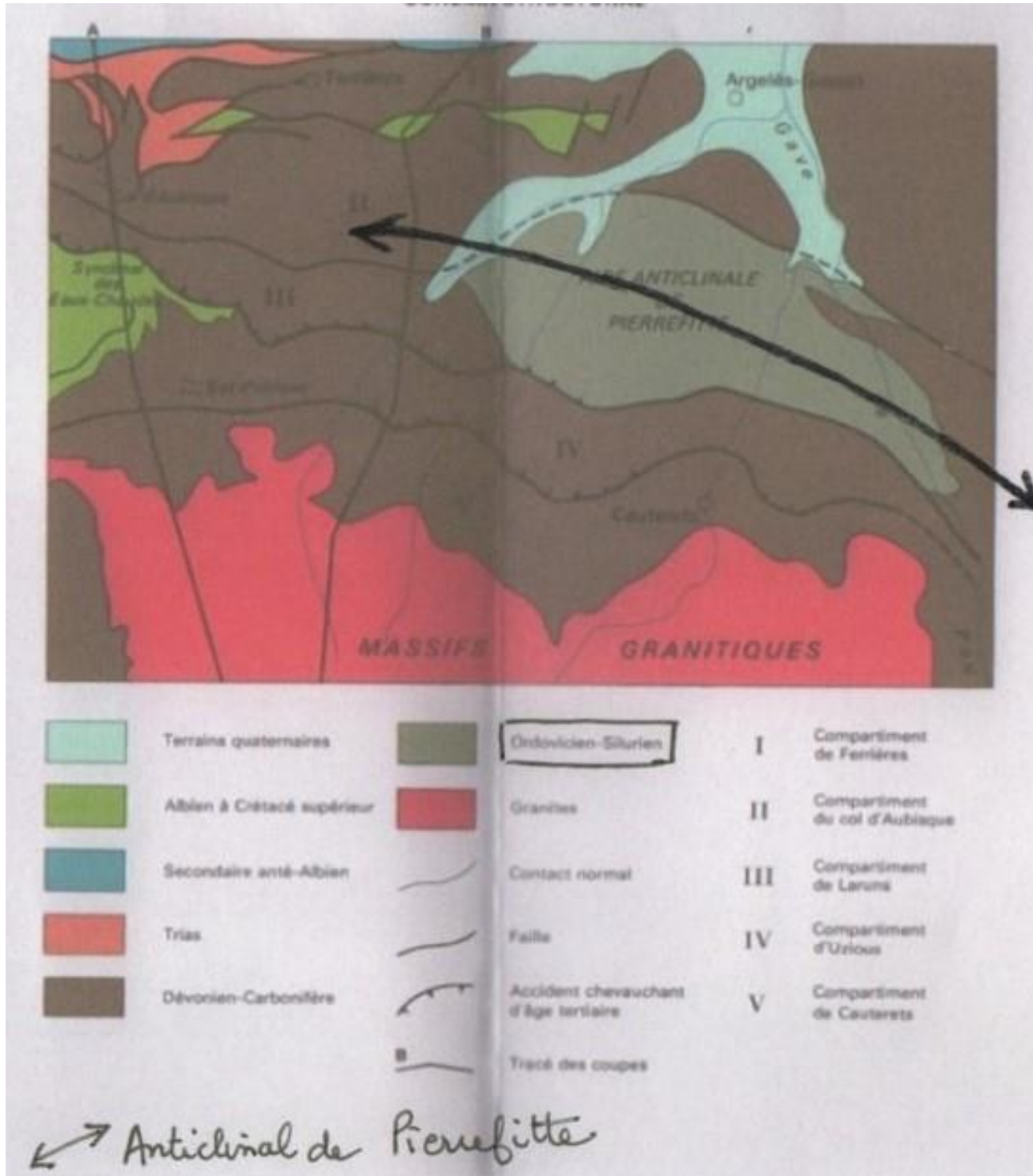


La montée depuis le rendez-vous au dessus de SIREIX s'effectue par la route du Cabaliros, le plus haut sommet situé entre la vallée d'Estaing à l'Ouest et celle de Cauterets à l'Est : en voiture tout d'abord (itinéraire en noir) puis à pied (itinéraire en rouge) en descendant sur la cabane de Banciole (1450 m) et en remontant vers la crête des Pujos où on découvrira une partie des anciennes mines d'Estaing (1750 m),

Un parcours sans difficultés majeures si ce n'est à l'arrivée où les anciens travaux miniers peuvent s'avérer périlleux (pentes fortes et chutes de blocs) et où on s'interdira l'accès aux galeries,

Au sommet du parcours, le panorama sous le pic du Cabaliros (2334 m) permet de voir à la fois la haute chaîne pyrénéenne au Sud, la zone nord pyrénéenne et par beau temps le Bassin d'Aquitaine,

Schéma géologique et structural – BRGM-1980



La carte géologique d'Argeles-Gazost montre, dans le triangle situé entre les gaves de Pau et d'Estaing, la boutonnière anticlinale de Pierrefitte qui permet de découvrir les plus vieux terrains des Pyrénées occidentales à savoir les séries paléozoïques de l'Ordovicien-Silurien (-485 à -420 Ma) ; cet anticlinal de direction ONO-ESE est d'origine hercynienne (-300 Ma)

Coupe structurale – Joseph Canerot (2017)

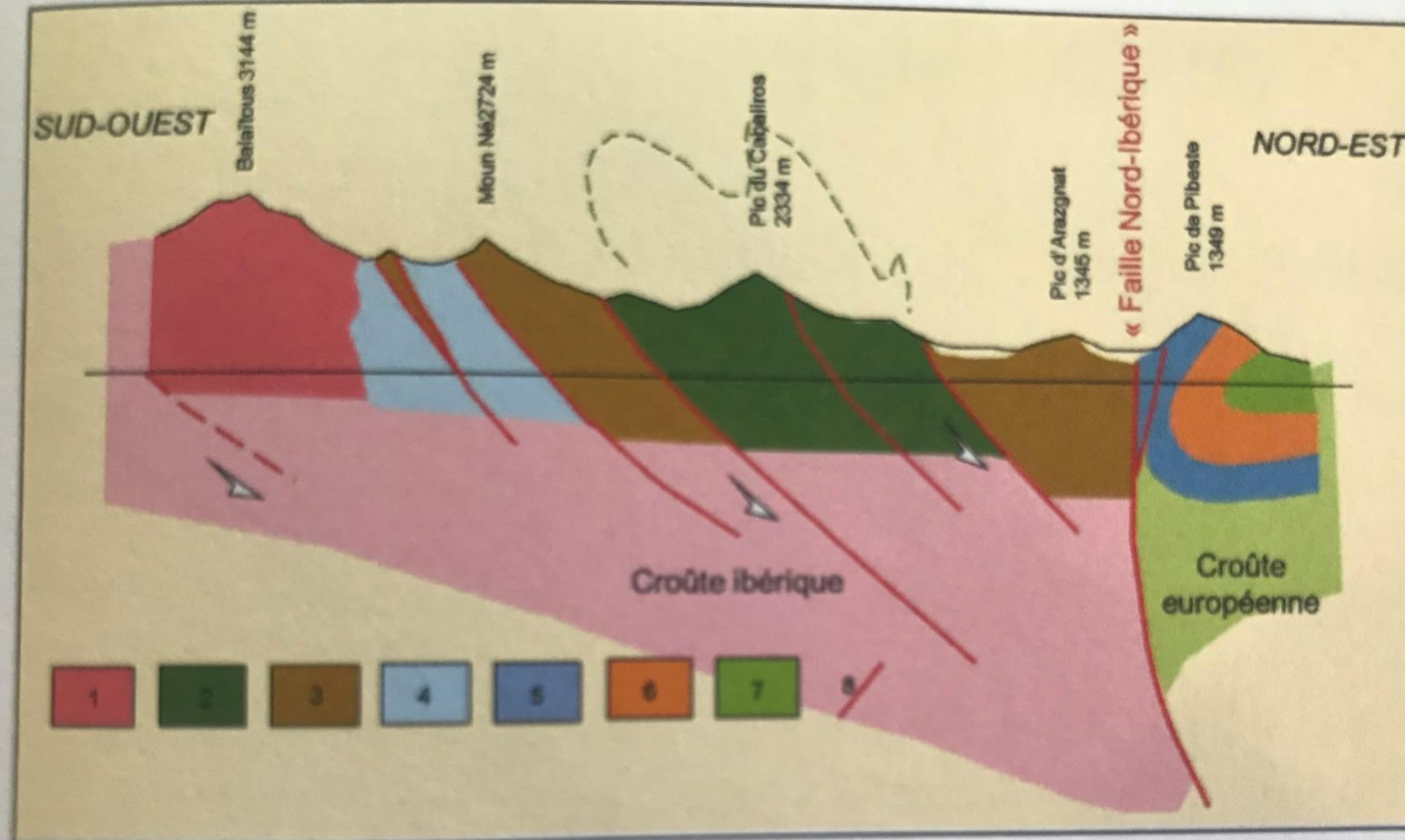
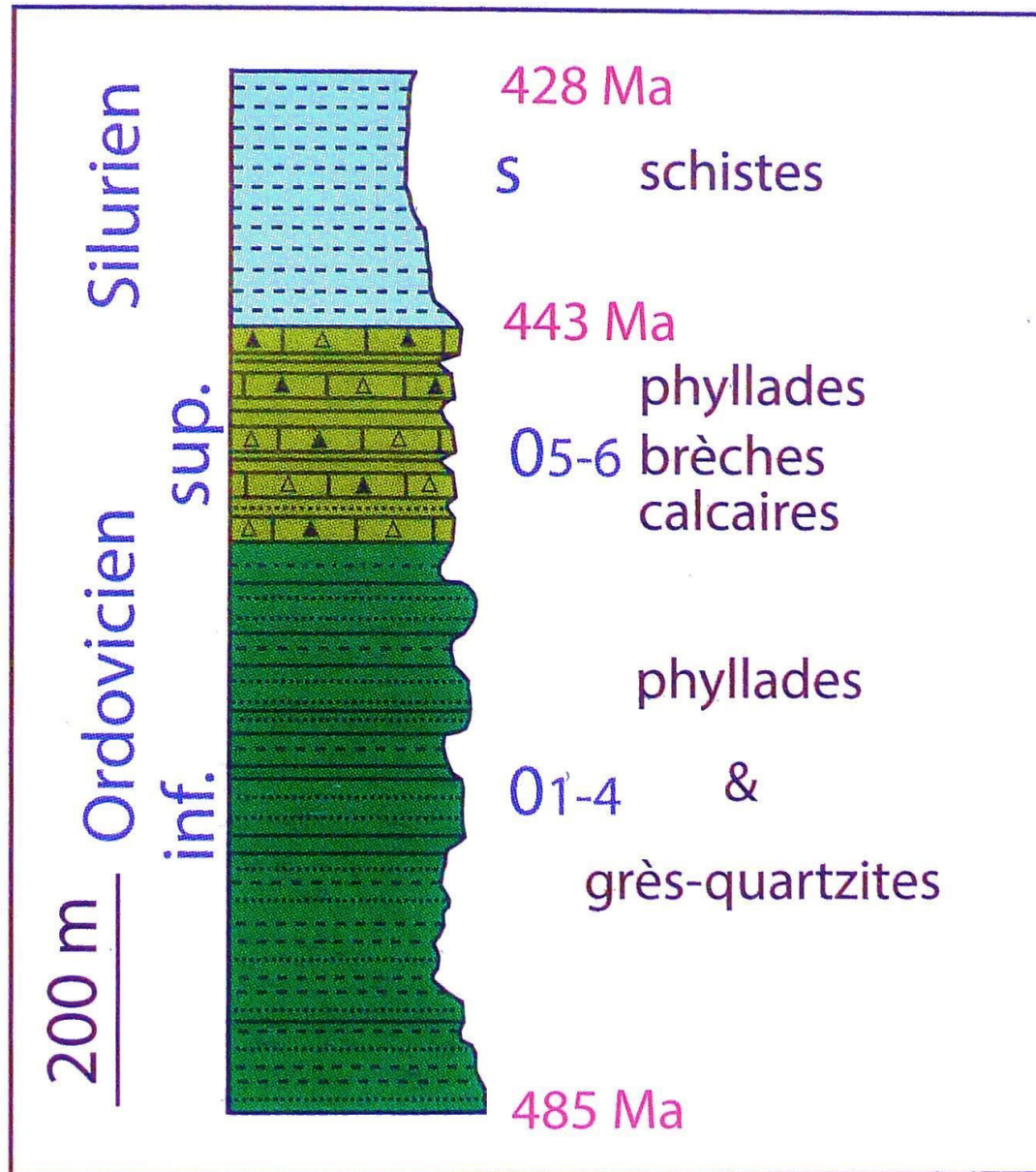


Figure C 7 – Coupe structurale schématique le long du transect de la vallée d'Azun. 1: granodiorite de Caunterets ouest (Balaïtous); 2: Cambro-Ordovicien: schistes de Pierrefitte-Nestalas; 3: Dévonien: calcaires et schistes; 4: Carbonifère: flysch gréseux (Culm); 5: Trias et Jurassique: argiles et carbonates; 6: Barrémo-Aptien: grès, marnes et calcaires; 7: Albien: flysch gréseux; 8: failles majeures.

Ces séries paléozoïques plus ou moins métamorphisées, et très plissées appartiennent à la marge ibérique qui vient rencontrer au Tertiaire, la marge européenne le long de l'accident nord pyrénéen ou Faille Nord Ibérique, Ces séries sont sub-verticales à déversement plutôt sud et t affectées de failles importantes qui découpent l'anticlinal en lanières parallèles aux plis,

Sur le sentier des mines : les terrains observés (Primaire ou Paléozoïque)



- ▶ schistes noirs, ou « ampélites »
 - matière organique, pyrite
 -
- ▶ brèches +/- calcaires, avec des éléments volcaniques
- ▶ phyllades =
 - schistes ardoisiers et/ou à MICA et chlorite
- ▶ grès et quartzites

milieux de dépôt

mer plus profonde et peu agitée, milieu réducteur - argiles

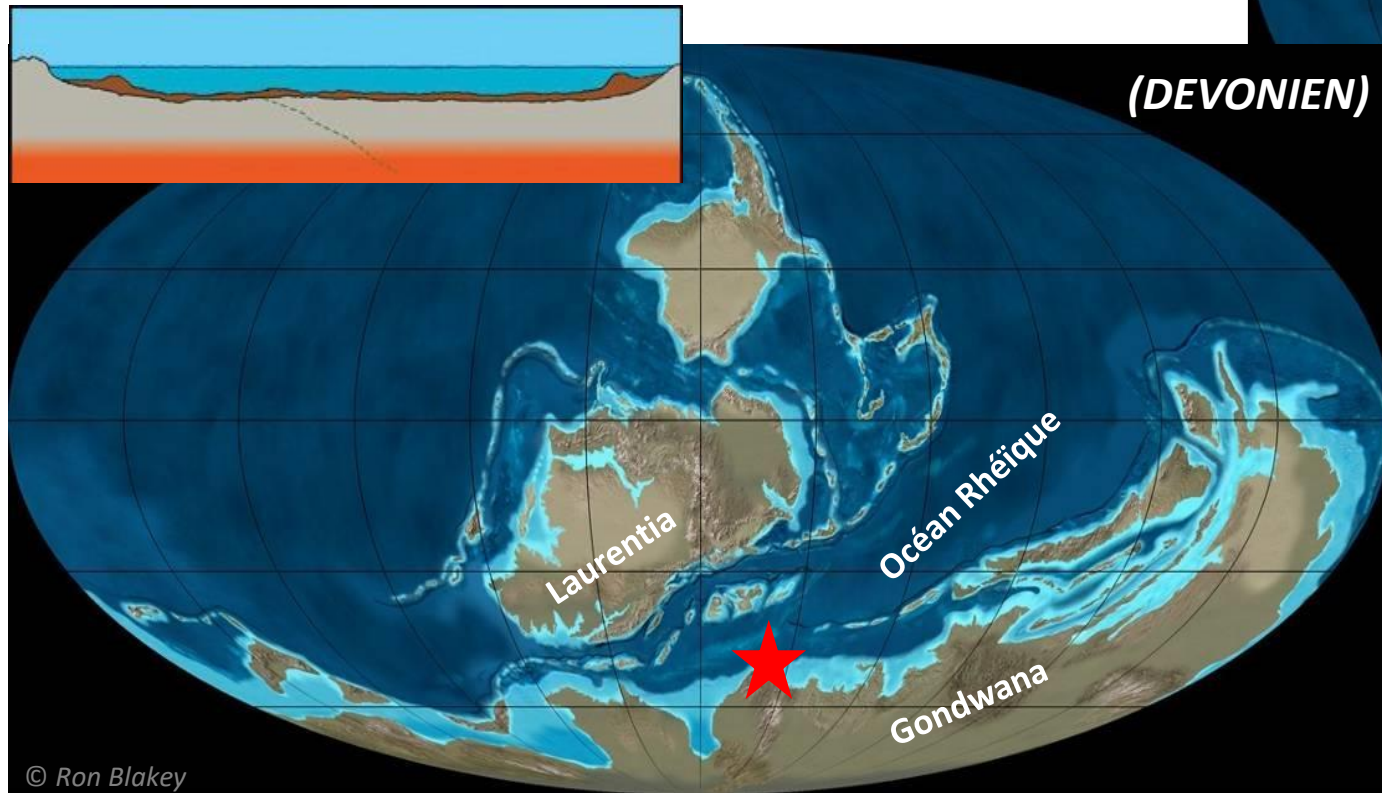
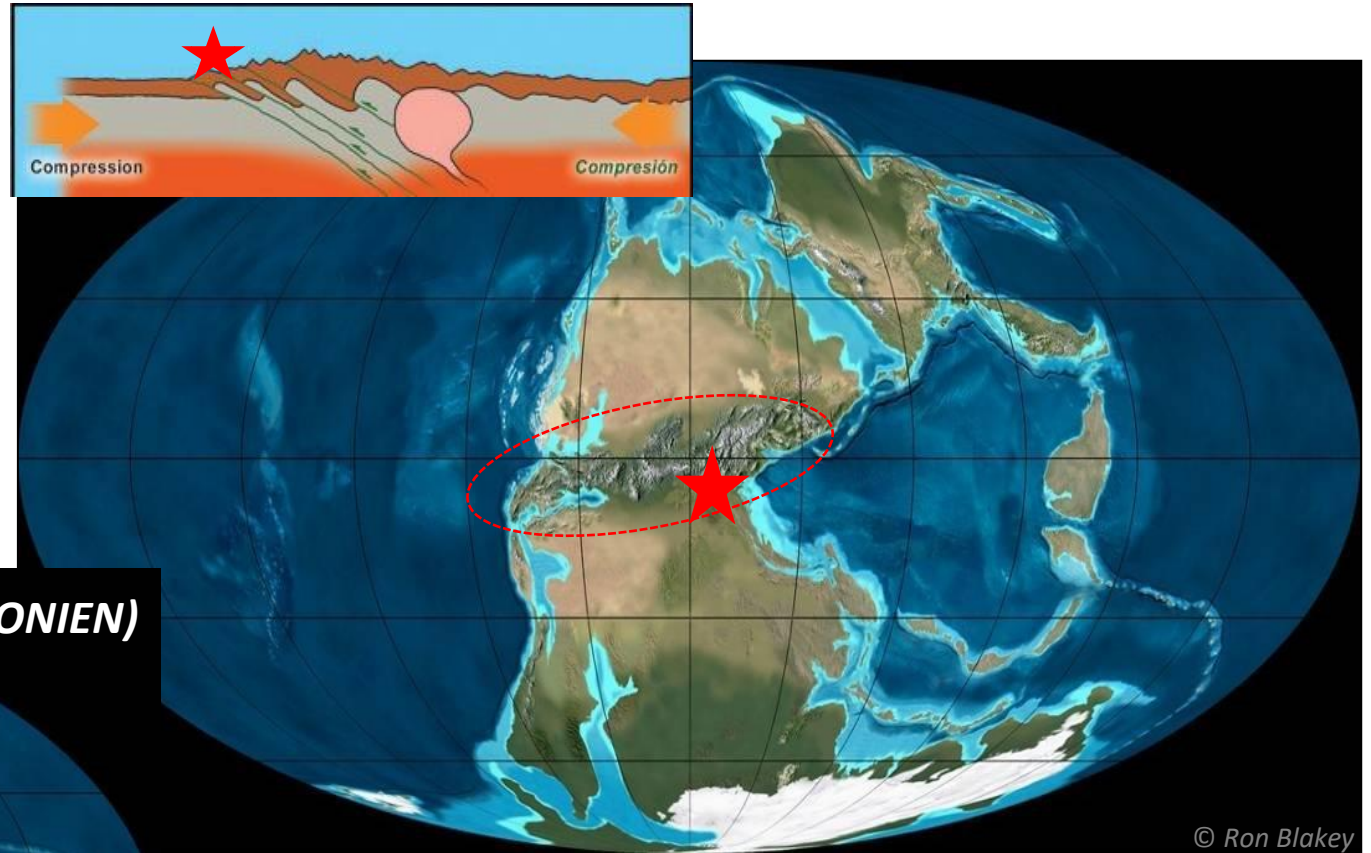
- Émersion érosion? -

important volcanisme sous-marin, basaltique

mer peu profonde
Instabilité tectonique et érosion de reliefs

LE MONDE AU PRIMAIRE, ET LA CHAÎNE HERCYNIENNE

★ emplacement des (futures) Pyrénées



(DEVONIEN)

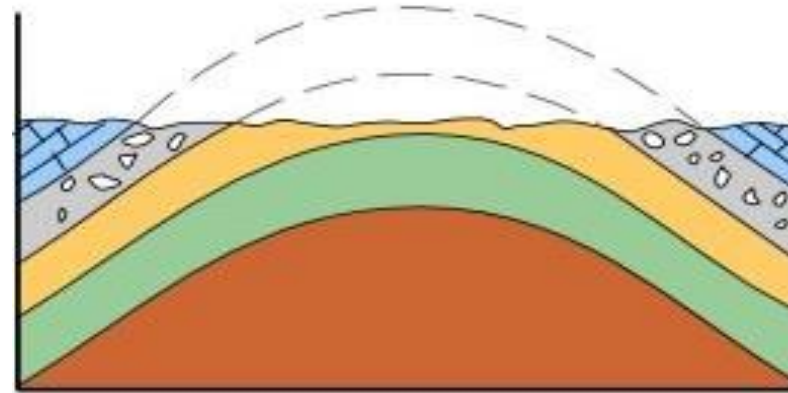
- 360/-290 Ma PRIMAIRE – Carbonifère ▲

- collision continentale, et formation d'un « méga-continent » : la PANGÉE
- une première chaîne de montagnes d'échelle mondiale: **chaîne hercynienne**
-

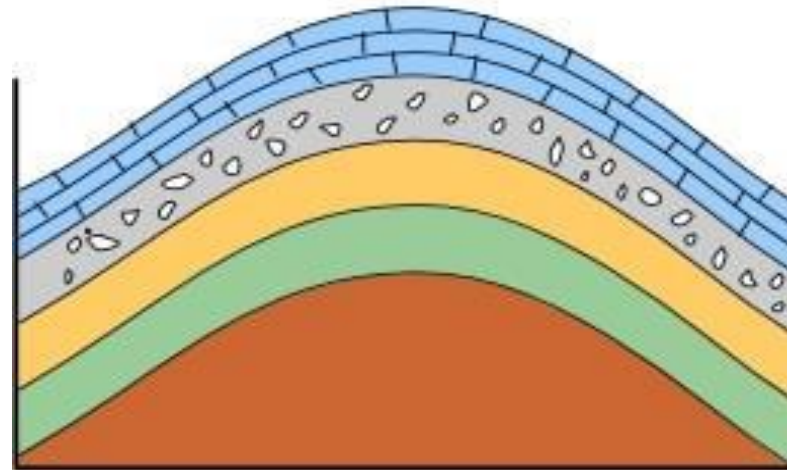
- 485 / - 428 Ma PRIMAIRE (Ordovicien. – Silurien.) ▲

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

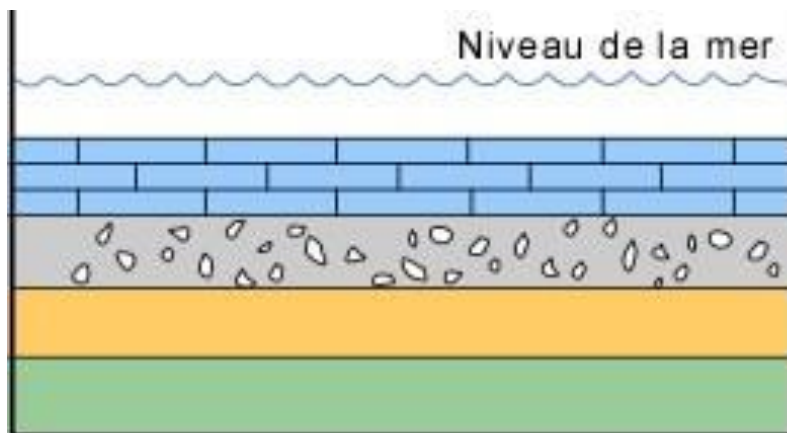
un résumé très simplifié du PRIMAIRE dans les Pyrénées



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)

des GISEMENTS métalliques : 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



▲ 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 : une provinces métallique à Pb-Zn

Pb-Zn studied deposits:

- | | | |
|----------------|-----------------|---------------|
| 1-Arre | 7-Estibère | 13-Pale Bidau |
| 2-Anglas-Uziou | 8-Crabioules | 14-Liat |
| 3-Arrens | 9-Victoria | 15-Bentaillou |
| 4-Estaing | 10-Margalida | 16-Urets |
| 5-Pierrefitte | 11-Argut | 17-Carboire |
| 6-Nerbiou | 12-Pale de Rase | 18-Aulus |

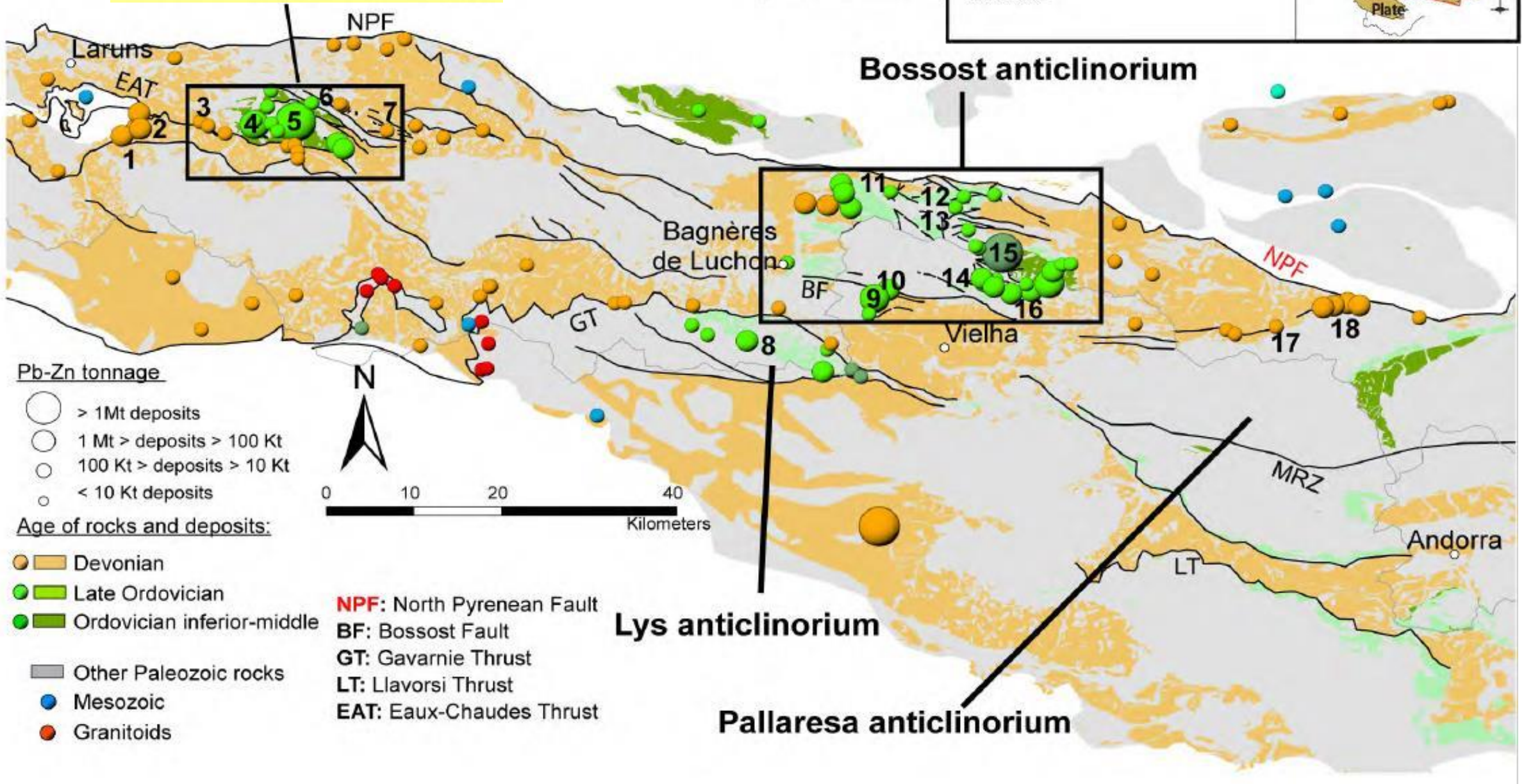
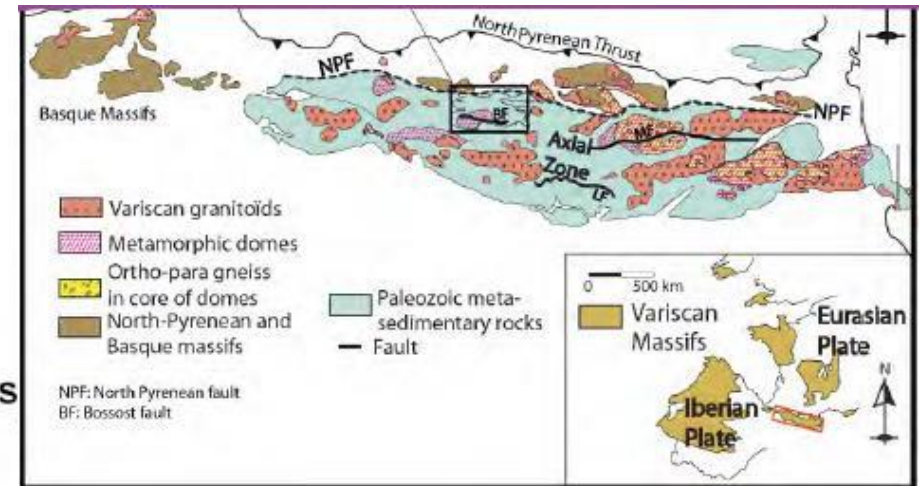
Pierrefitte anticlinorium

Saint-Gaudens

Bossost anticlinorium

Lys anticlinorium

Pallaresa anticlinorium



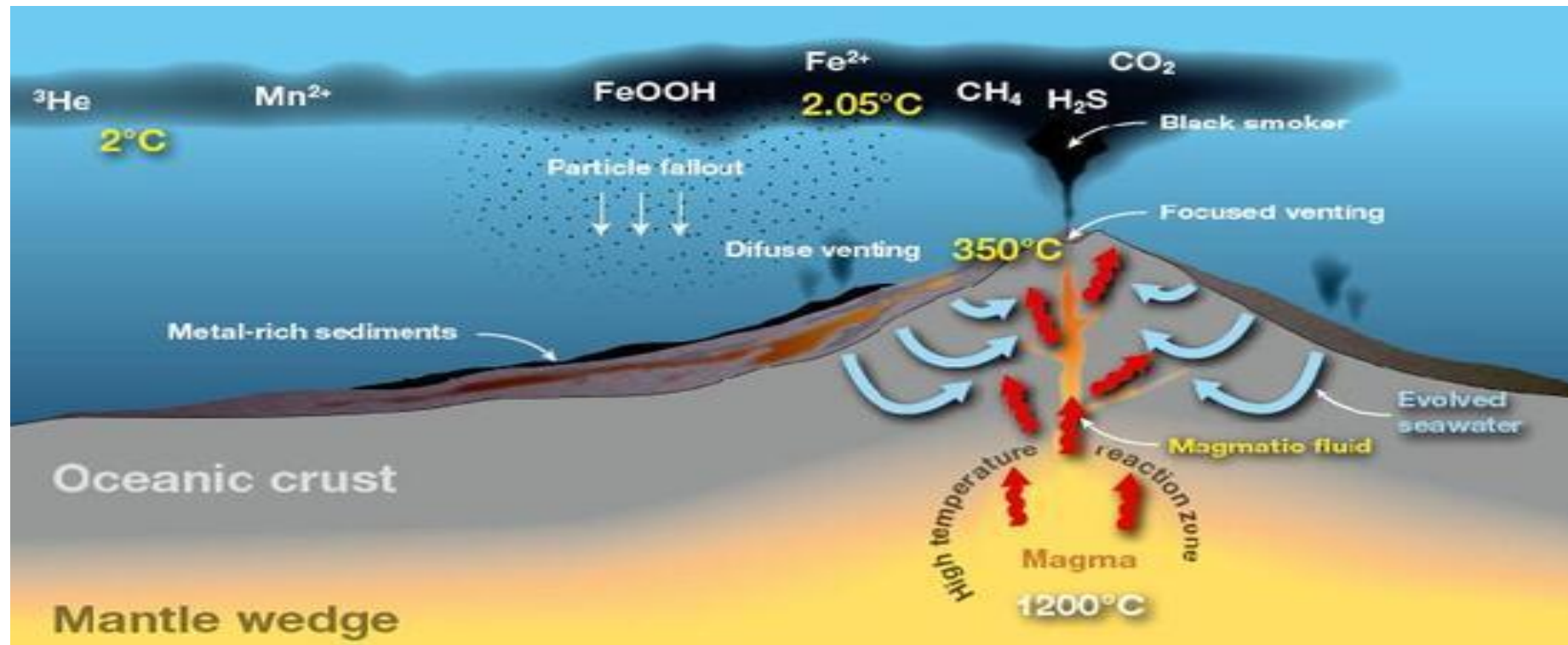
Principe : mélange/contact d'une eau chaude, issue de la profondeur, chargée en métaux dissous, avec une eau froide de salinité différente et souvent anoxique, provoque la précipitation des métaux et la création de nombreuses... formes animales

Deux grands types sont connus :

1- VMS (Volcanogenic Massive Sulphides ou Amas sulfuré massif) en milieu volcanique sous-marin, **sur croûte océanique**

2- SEDEX (Sedimentary Exhalative Deposits ou Gisements sédimentaires Exhalatifs) en milieu sédimentaires, sous-marins, **sur croûte continentale**

Les fumeurs noirs : géo et biodiversité : les débuts de la vie ? (https://wiki.seg.org/wiki/Black_smokers)

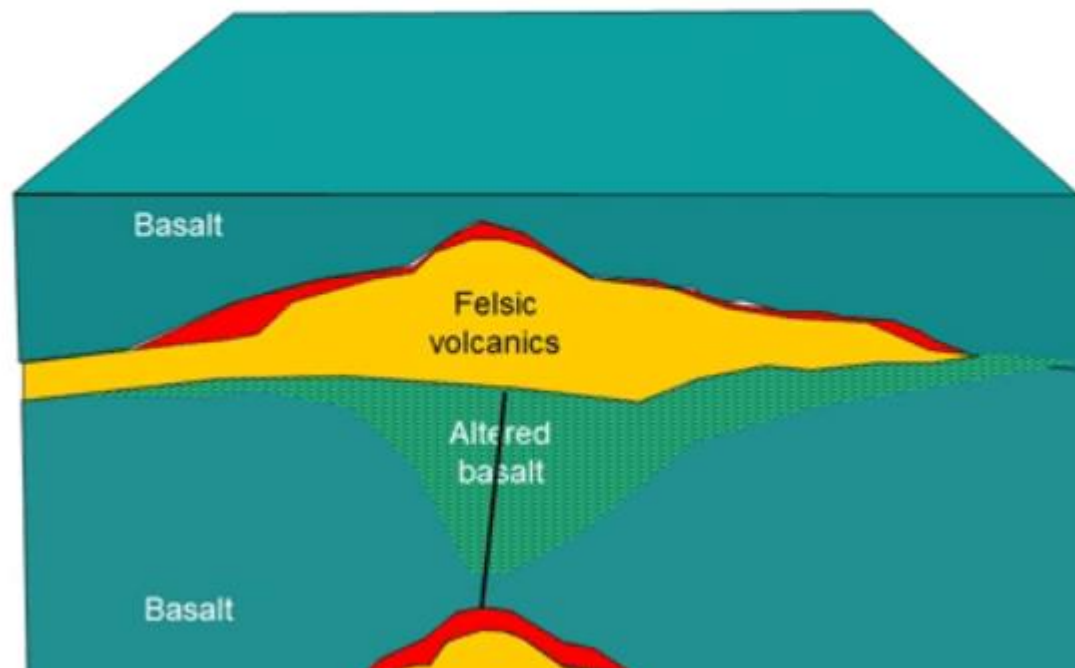


Gisements hydrothermaux

VMS et SEDEX : principales différences

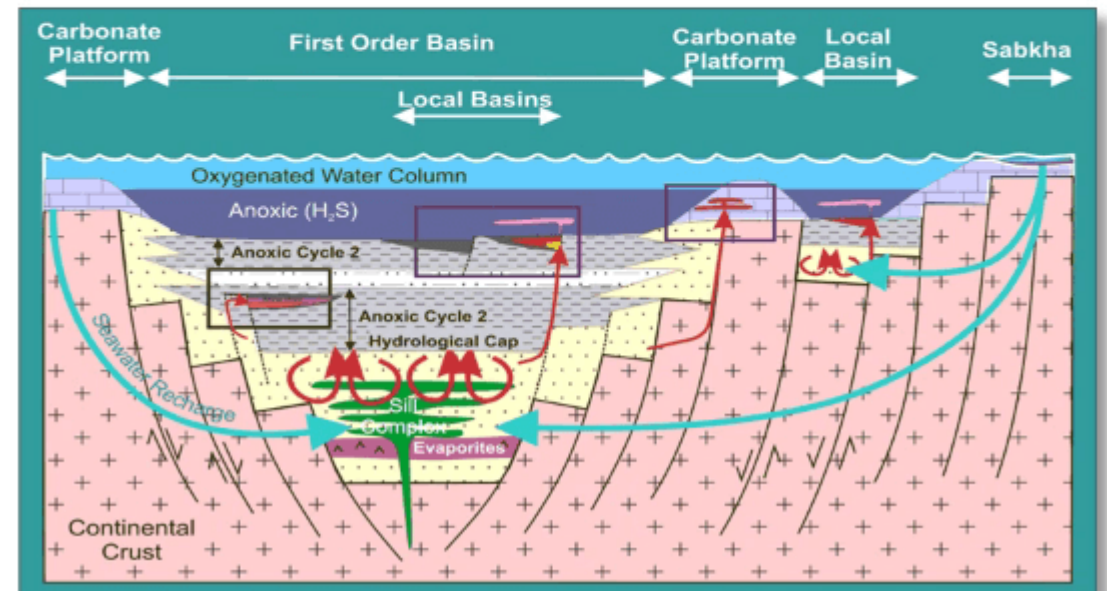
Exploration -VMS

- Focus on **stratigraphic breaks** (time for sulfides to accumulate between pulses of volcanism or sedimentation); near **felsic volcanic centers** (VMS)



SedEx –

Form in fault-bounded **sedimentary** basins on **continental crust**, not oceanic crust. **Host rocks** are usually shales - volcanics are rare
Metals derived ~100% from host sediments/basement, not intrusives
Insignificant Cu and Au; more Pb and Ag; Zn in both.

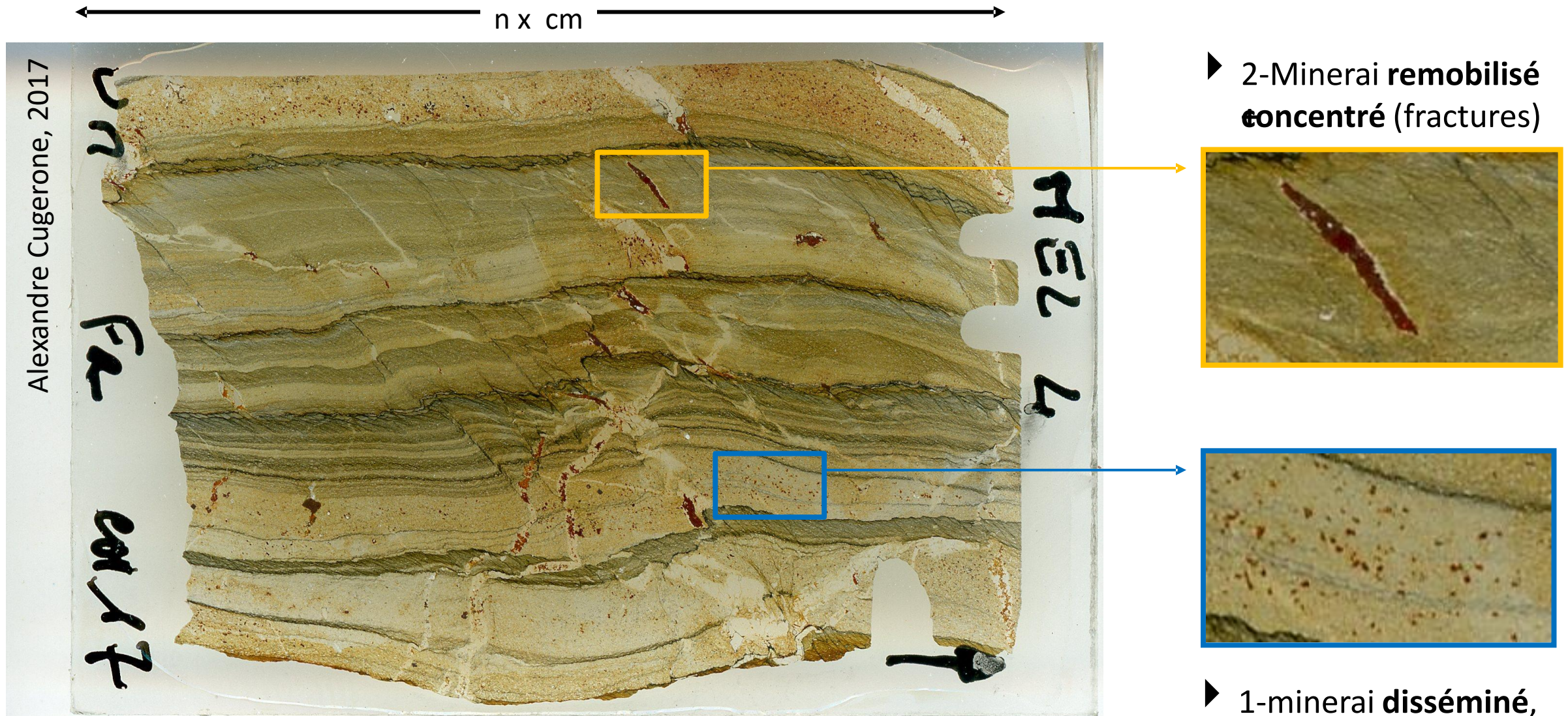


From Andrew Jackson

<https://www.911metallurgist.com/blog/difference-between-sedex-vs-vms-deposits>

- ▶ les fluides hydrothermaux sont des fluides **non** magmatiques :
 - Eaux : 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 progressive de pression
 - mélange de fluids de chimie différente
- ▶ VMS : marges divergentes (rides medio-océanique, 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, Ag, Ge, Ba
 - Faillles actives
 - 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. ?*

► Deux types de minéralisation



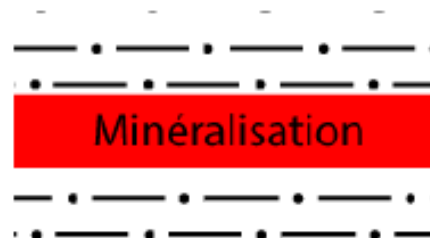
- lame mince : **sphalerite ou blende** (ZnS) colorée en **rouge**
(Pale Bidau, Melles, 31)

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

► les hypothèses actuelles (2018)

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

Encaissant
Ordovicien ou
Dévonien

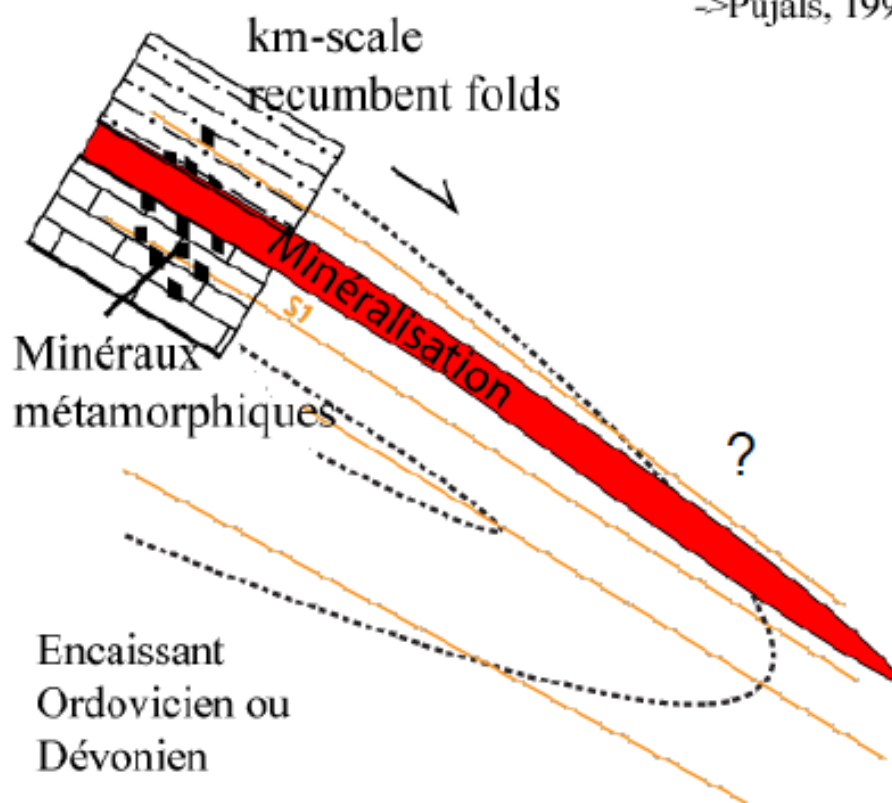


--> Ages de mise en place ordovicien
ou dévonien?

- > 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

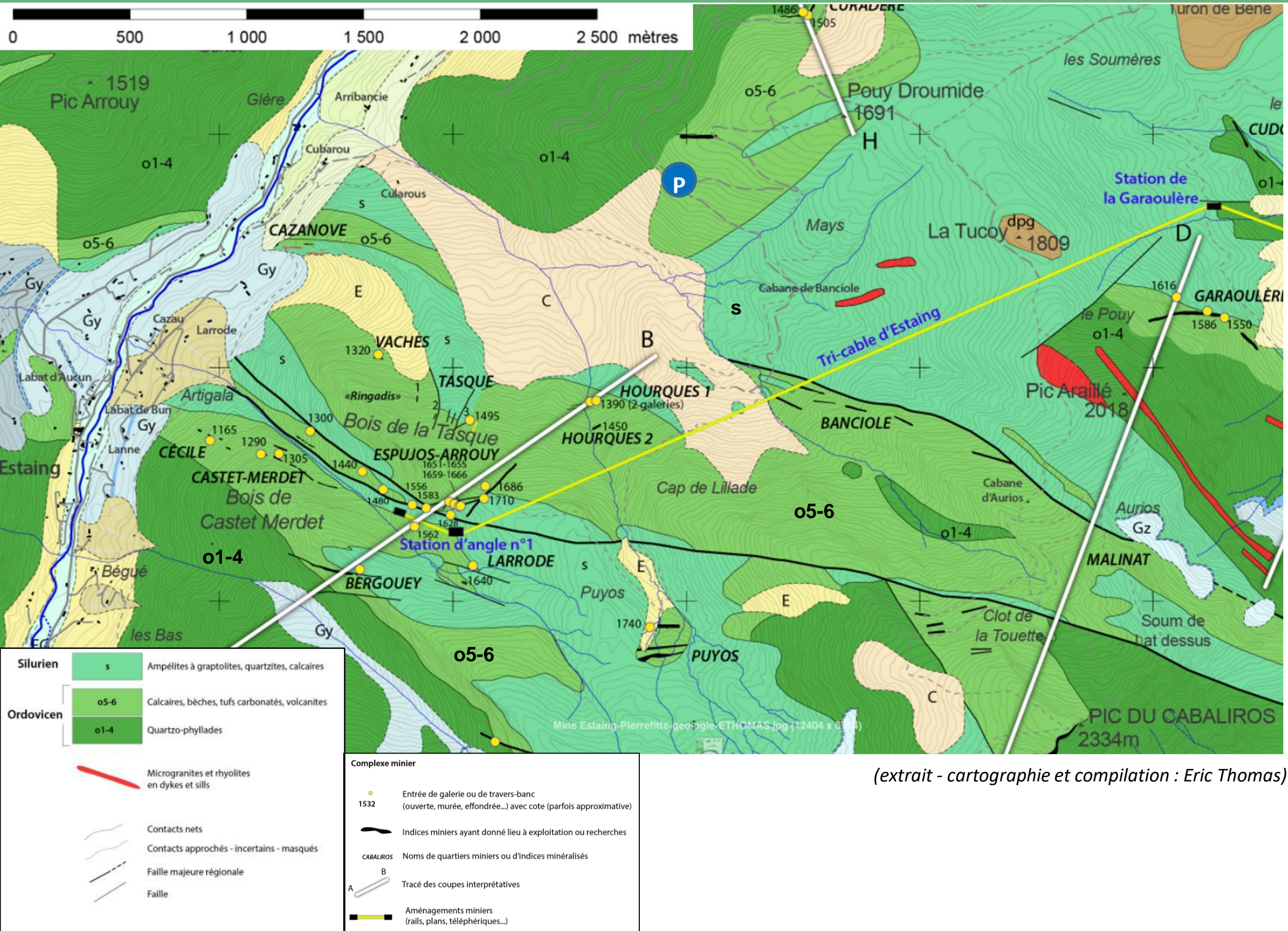


la « roche mère » de la minéralisation serait donc la brèche volcano-sédimentaire de l'Ordovicien (l'hypothèse reste à confirmer).

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

« 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)



Les minéralisations massives en limite Ordovicien- Silurien



▶ **sphalérite, ou blende : ZnS**

- σφαλερος (grec ancien) = trompeur, incertain
- blenden (all.) = éblouir, tromper

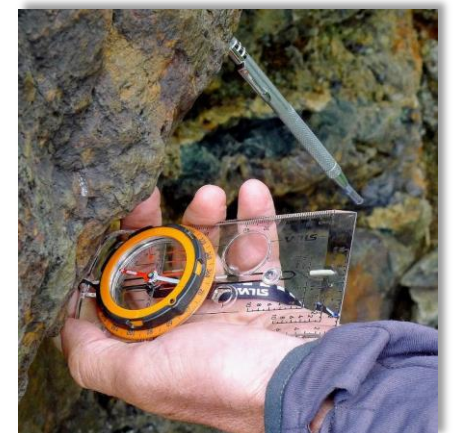


▶ **galène : PbS**

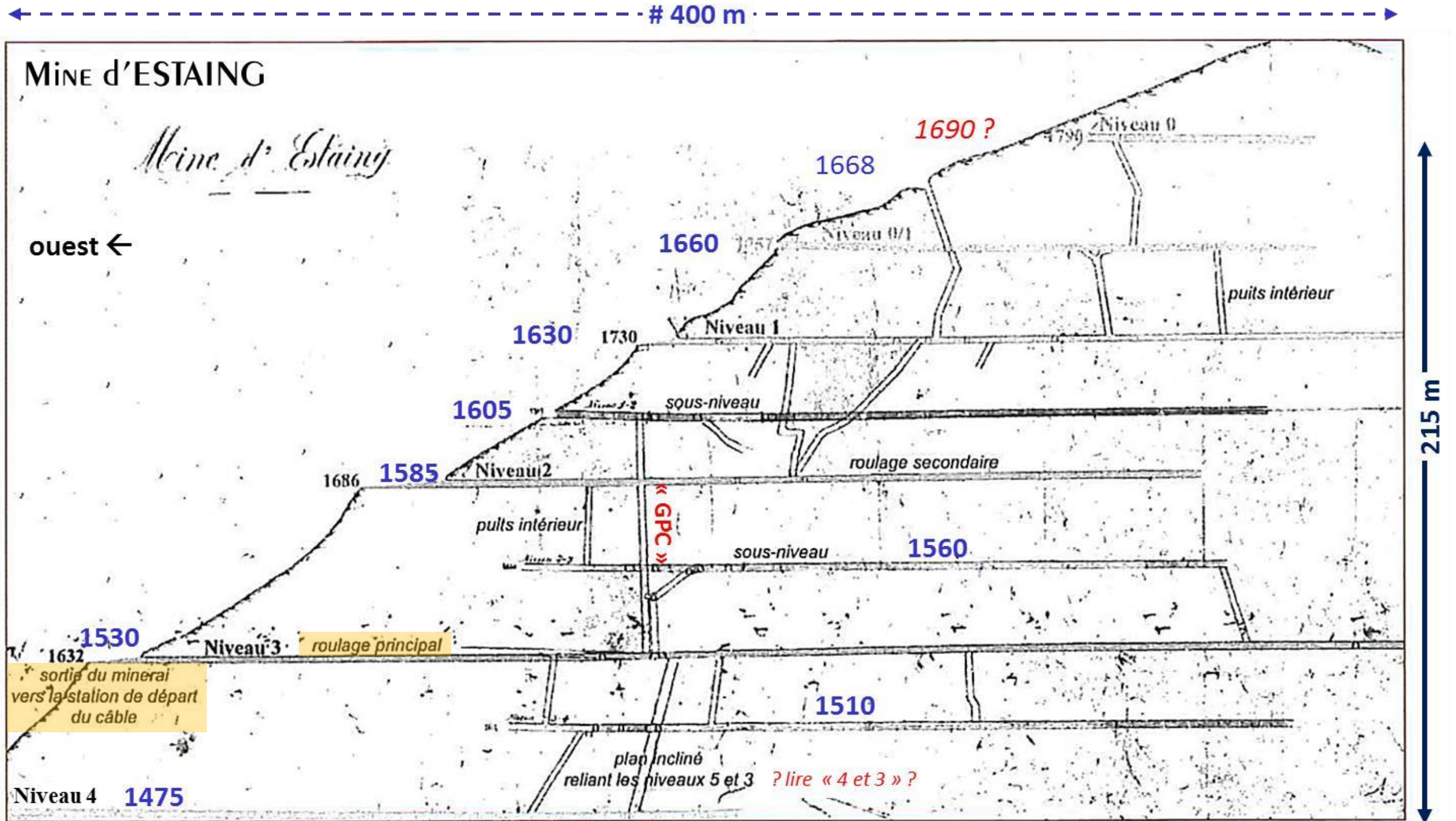
- γαλήνη (grec ancien) = minerai de plomb



▶ **magnétite : Fe₃O₄**



ESTAING : les niveaux d'exploitation, début XX^e 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 », ° 336, nov-déc 2009

Les cotes en NOIR sont des mesures d'époque non déterminée
 – cotes « époque » - 100 m = cotes IGN



photo Brice Maestracci

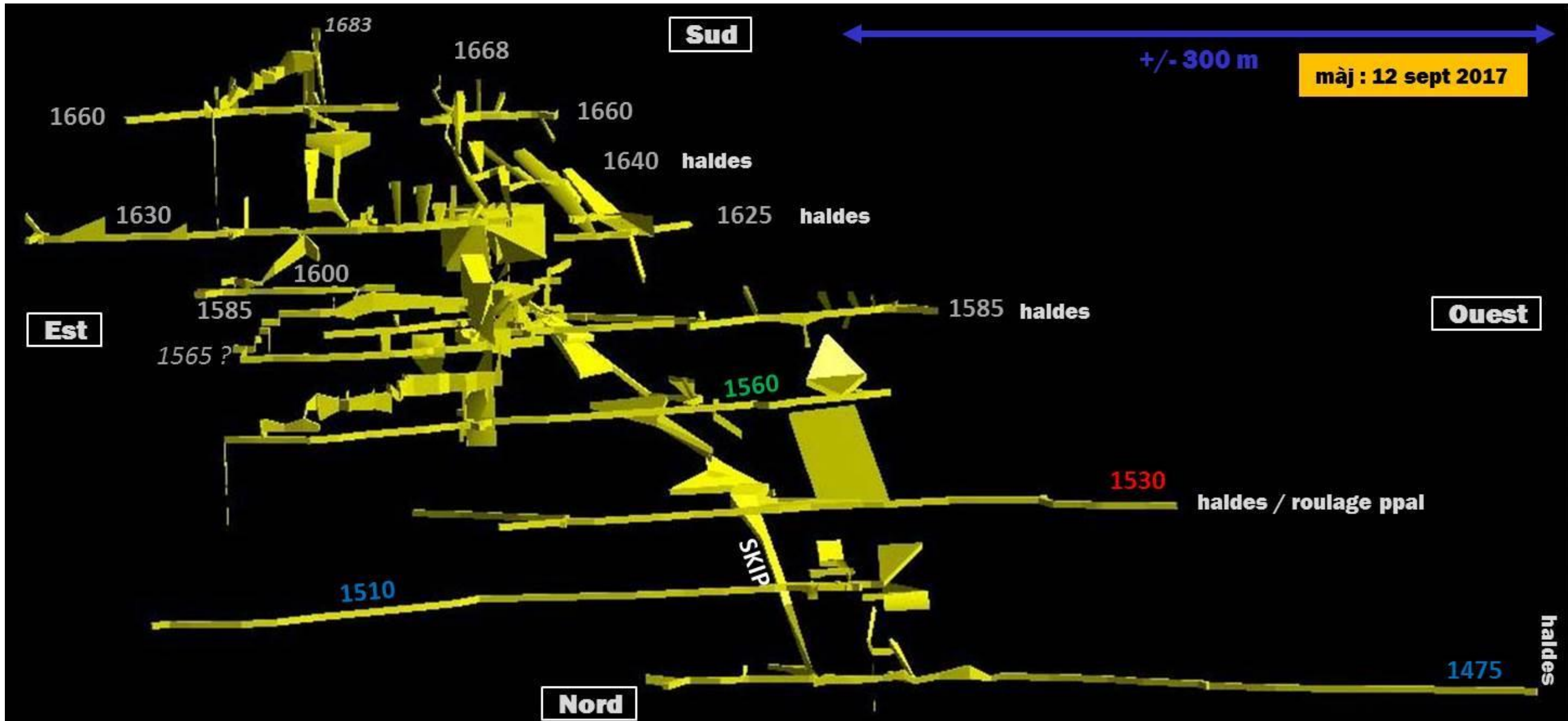
▲
zone de dépilage = chantier d'abattage du minerai



photo Brice Maestracci

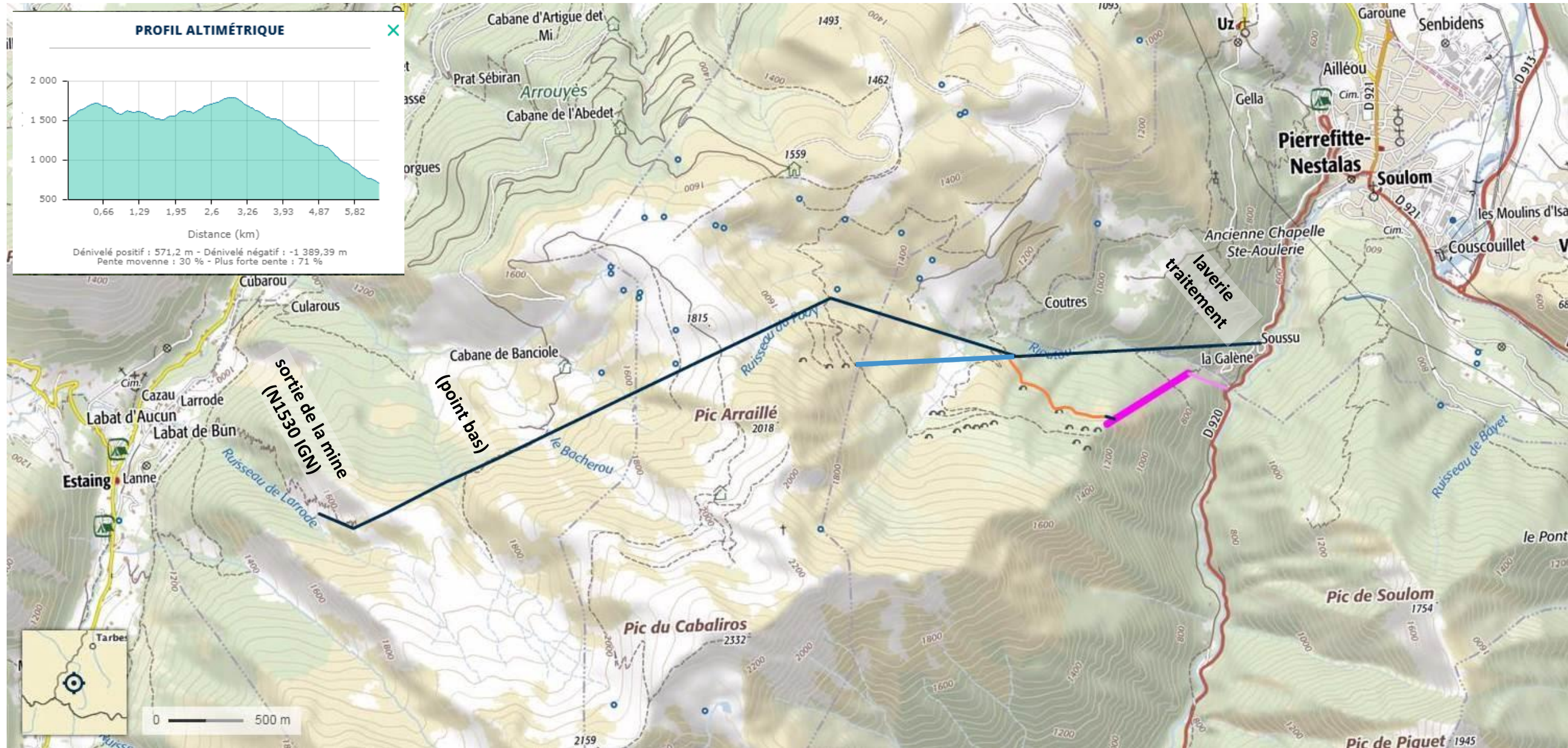
▲
berlines (waggonnets) dans une galerie de roulage secondaire

bref historique : le secteur était connu des Romains – diverses exploitations du XV^e au 19^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)



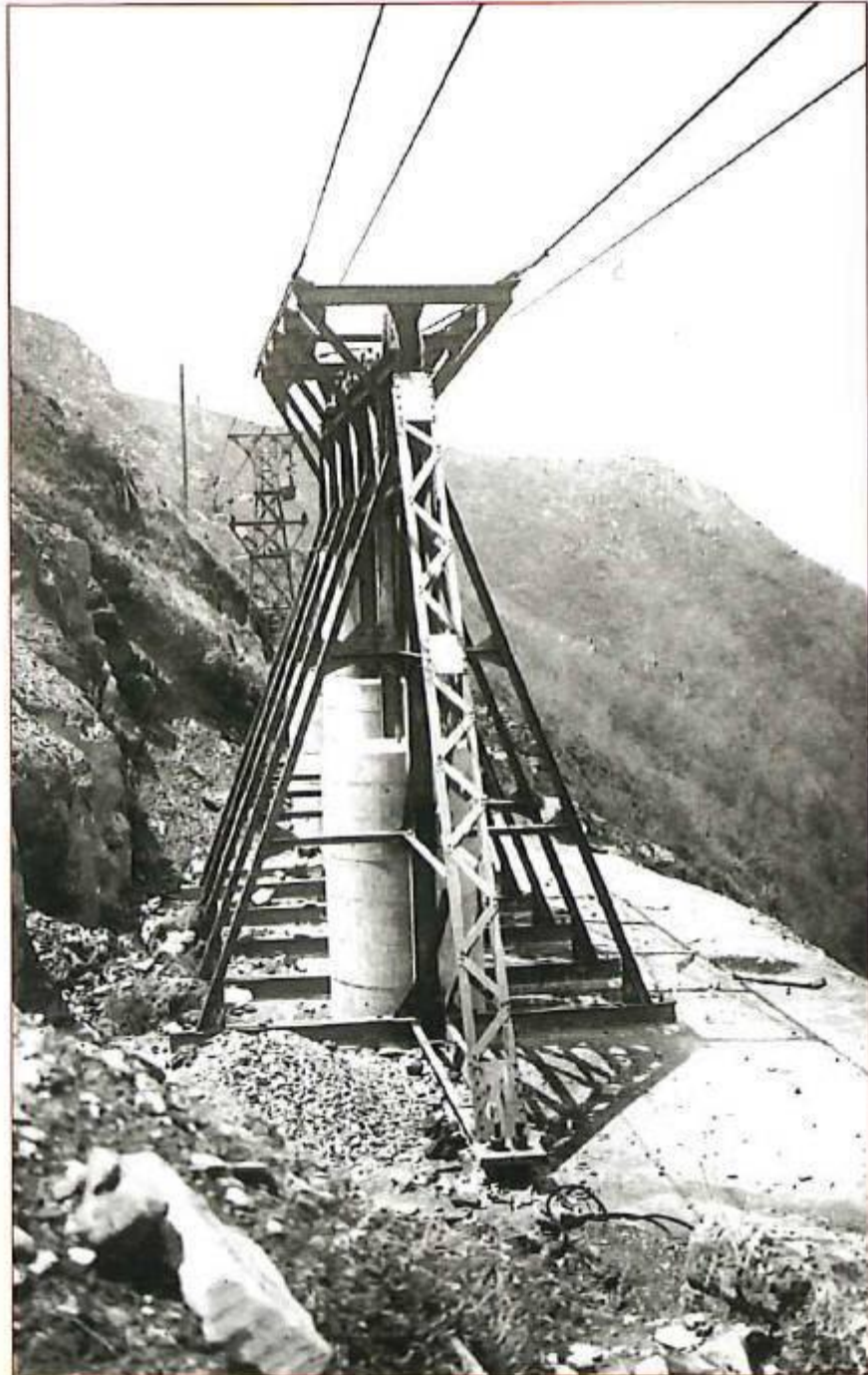
► topographie d'exploration, vue 3D, 2017 (auteur JMP, légendes LSP)

Le câble de transport d'ESTAING à PIERREFITTE



- ▶ **trajet du câble d'Estaing à Soussu (longueur : 6,6 km)** – construit en 1906-1907 – ferrillé 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 « tricâble » en fonction, entre 1907 et 1914

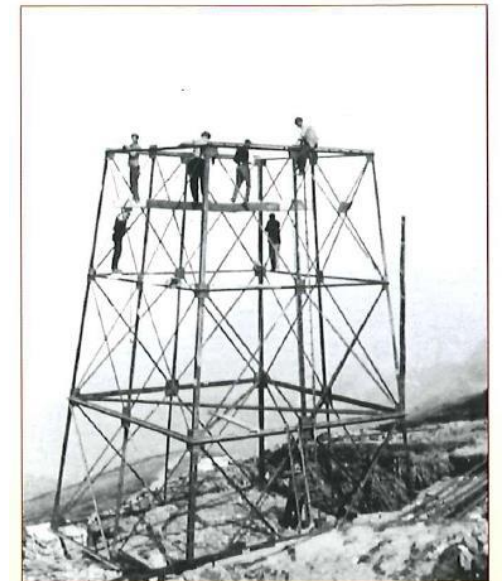


*Contrepoids de tension des câbles porteurs
(doc. M.D.)*



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

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



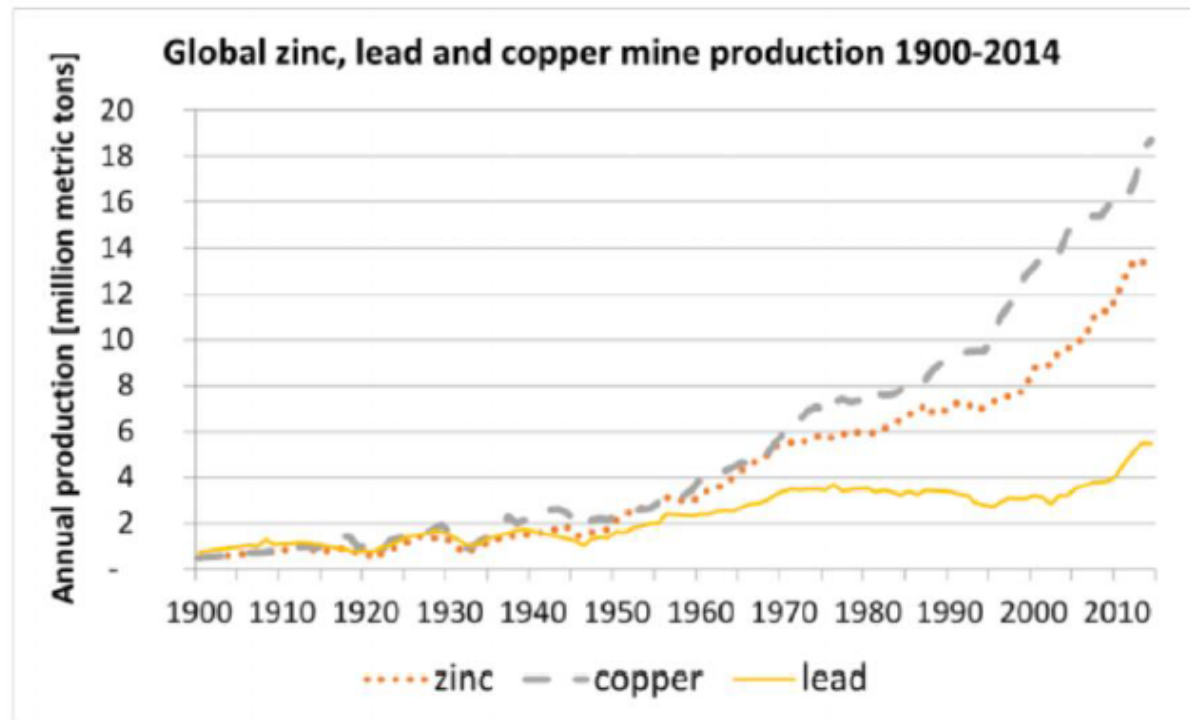
*Montage d'un des pylônes de soutènement
du tri-câble (doc. C. Parrou)*

montage d'un pylône ►



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

Production et Réserves mondiales Pb, Zn

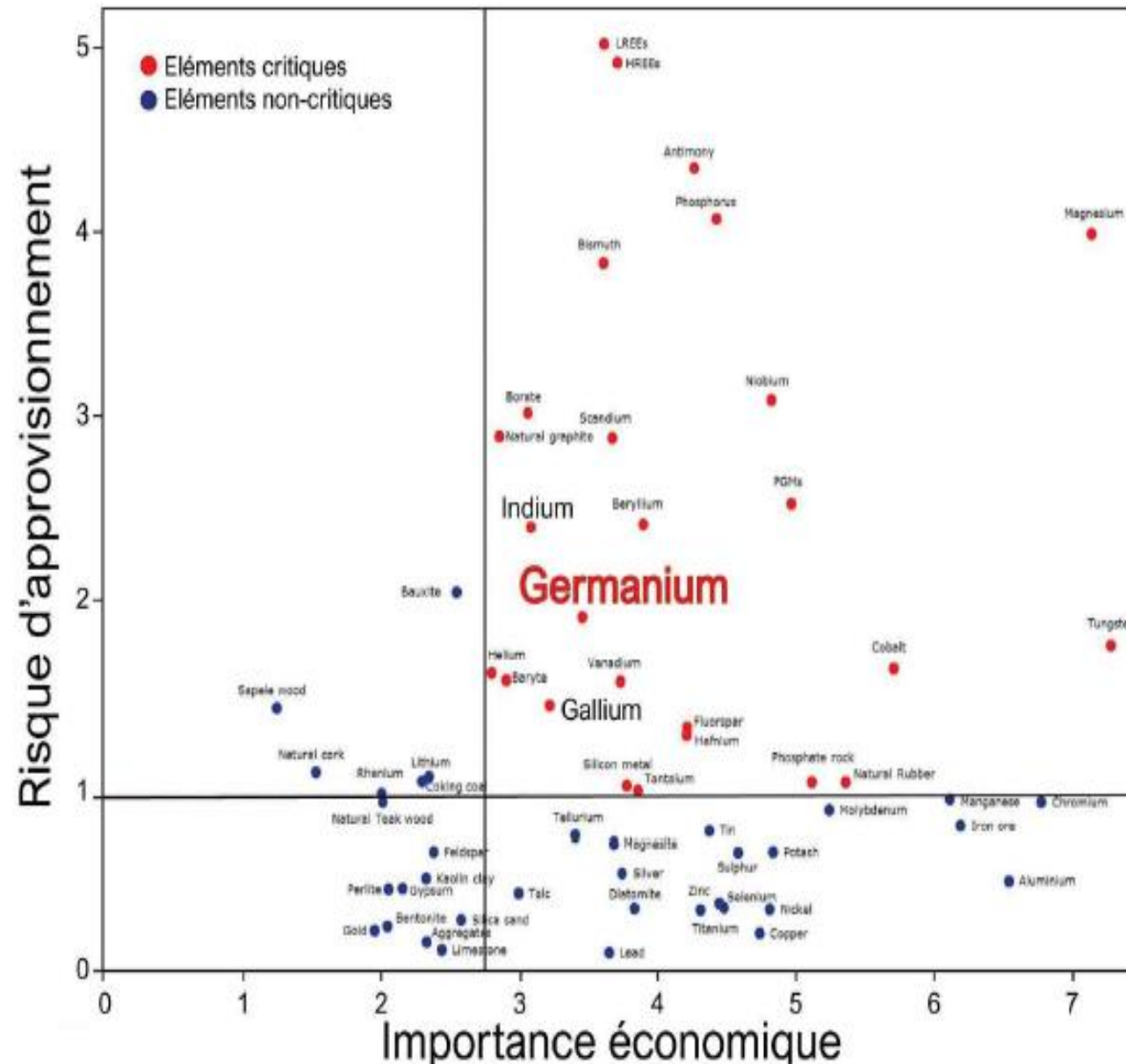


World production of zinc, lead and copper from 1900 to 2014 [15].

Plomb : utilisé depuis 3000 ans
Production 4,5 Mt/an en déclin
Réserves : 120 Mt
Australie, Chine

Zinc :
Production 12 Mt/an en stagnation
Réserves : 400 Mt
Australie, Chine

Et maintenant ? un renouveau pour le Zinc car porteur de Germanium



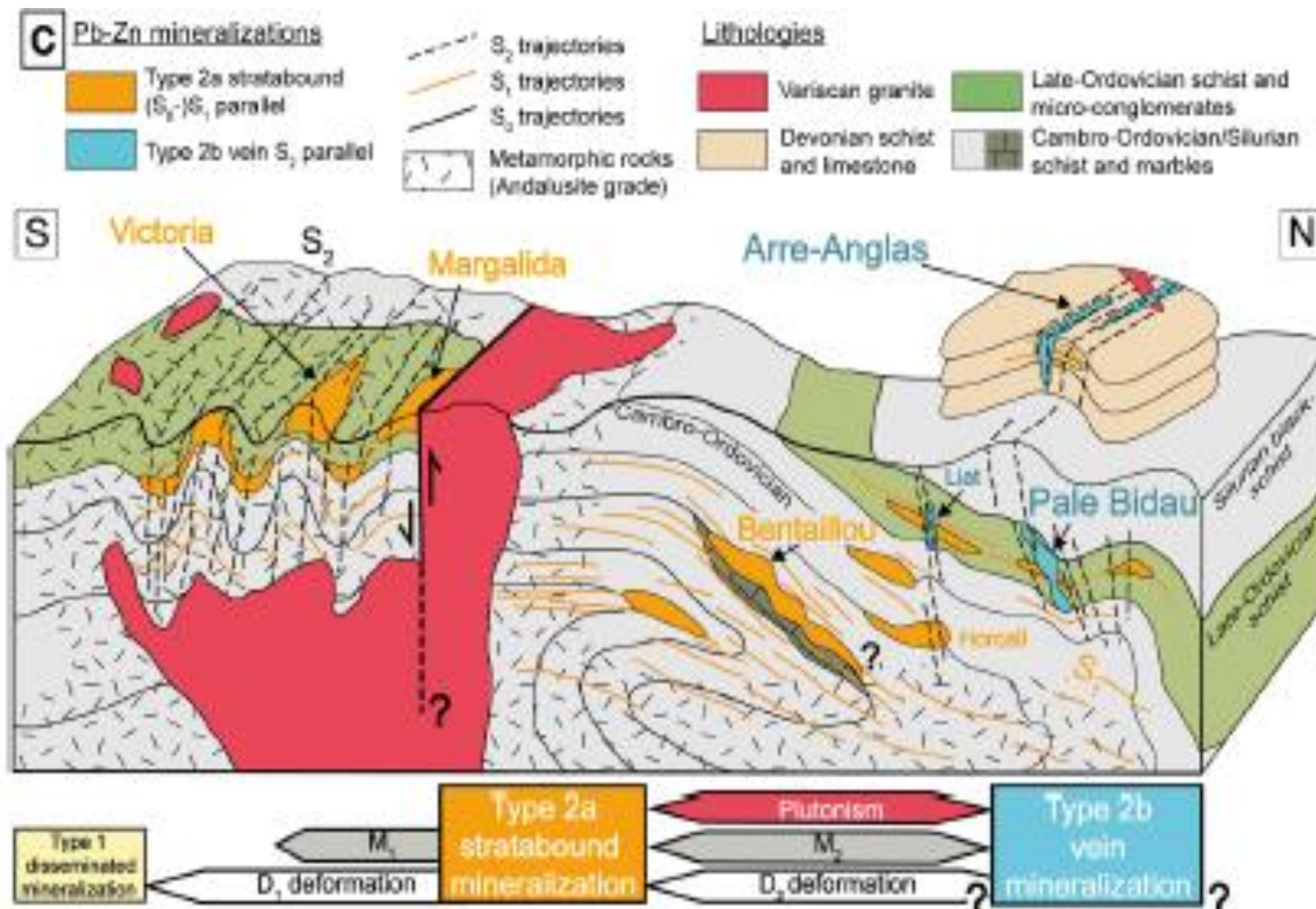
La transition énergétique et digitale nécessite de nouveaux métaux rares ou critiques,
Le Ge est un métal très utilisé en fibre optique et infra-rouge
Il est exploité en traces (qq 1000 ppm) dans la blende ou le charbon,

Quelques minéraux riches en Ge existent dans les Pyrénées et concentrent le Ge (30 % en poids) mais leur reconnaissance et leur habitat sont peu étudiés et contraints

Travaux universitaires en cours (Alexandre Cugérone; voir bibliographie) montrent que ces minéraux sont particulièrement présents dans les stades par remobilisation et concentration dans les veines lors des épisodes métamorphiques varisques (300 Ma) et pyrénéens (110 Ma)

Figure 1. Comparaison de l'importance économique et du risque d'approvisionnement pour de nombreux éléments dans le cadre de l'évaluation de leurs criticités par la Commission Européenne en 2017 (European Union, 2017).

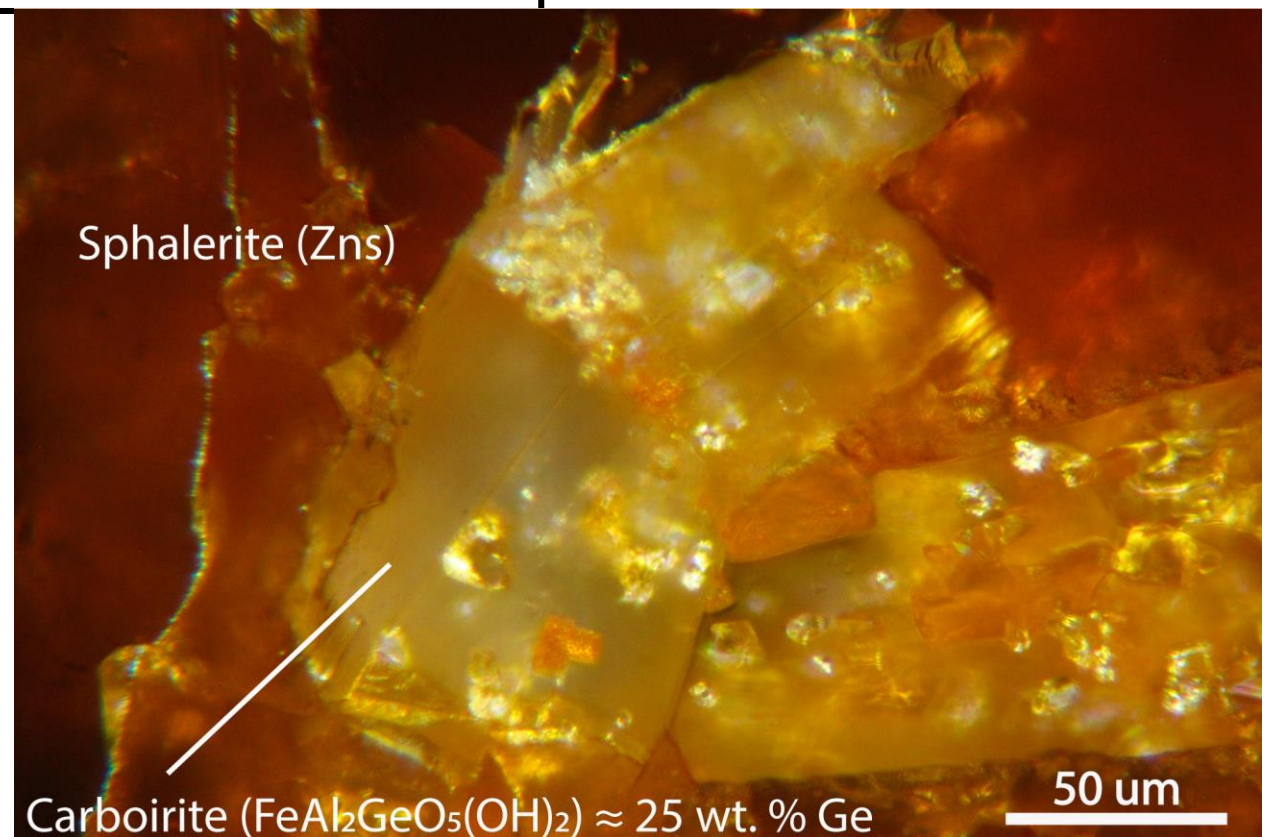
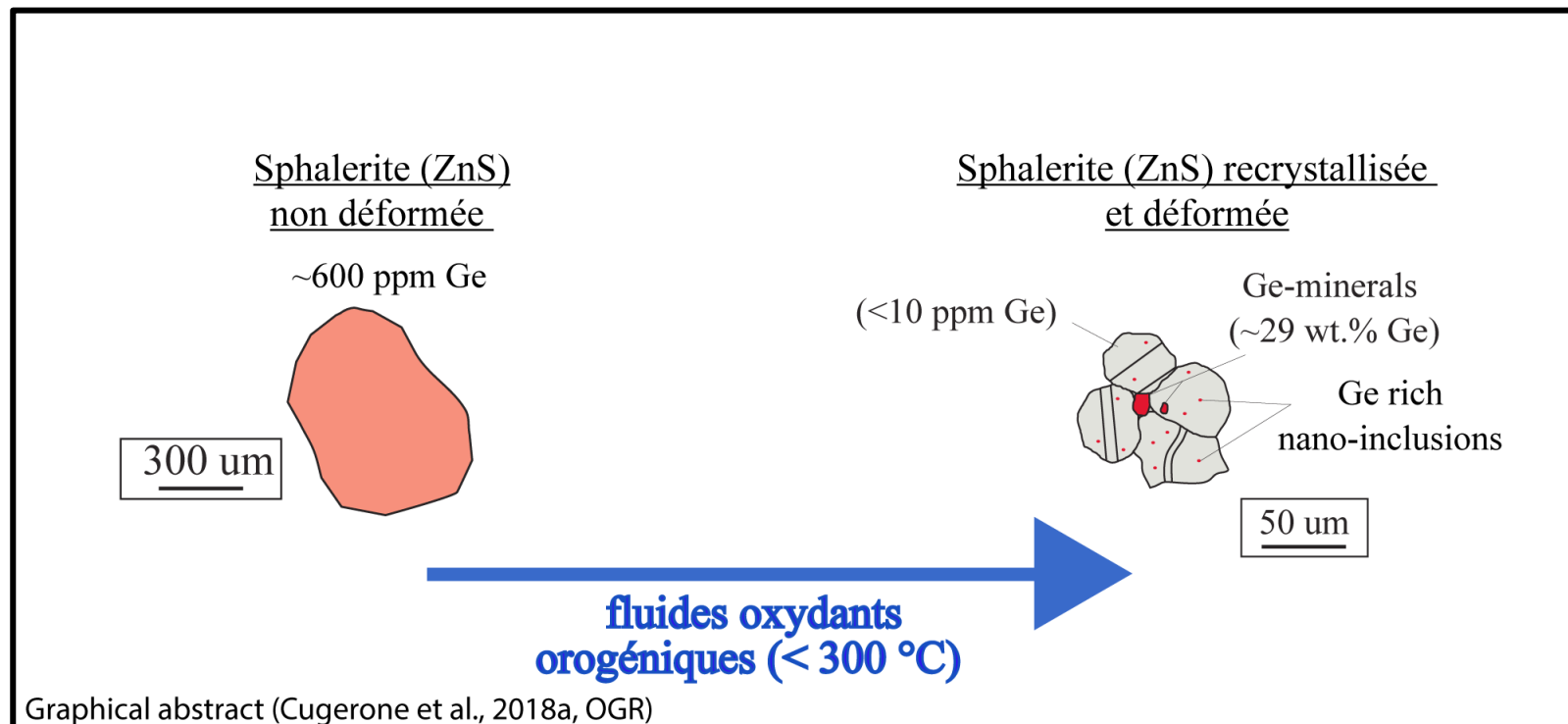
Minéralisations à Pb/Zn pyrénéennes et le Germanium ; d'après A, Cugerone ,2018-



Les minéralisations Pb/Zn « stratifiées » sont sans minéraux à Ge

Les minéralisations tardives, en veines soit varisques soit pyrénéennes, portent des minéraux à Ge et le concentrent

Minéralisations à Pb/Zn pyrénéennes et le Germanium ; d'après A, Cugerone ,2018-



Joseph Canerot, 2017- Roches et paysages géologiques du Parc National des Pyrénées- Editions CAIRN,

Alexandre Cugerone, 2018-Impact of recrystallisation and metamorphism on the mobility of Germanium and related éléments in orogenic Pb-Zn Deposits- Example of the Pyrenean Axial Zone mineralisations (France and Spain),

Yves Hervouet, Alain Péré et Dominique Rossier, 2016- Guide Géologique des Hautes Pyrénées- BRGM Editions,

Louis de Pazzis, 2018- Livret Guide de l'excursion GEOLVAL-
https://www.geolval.fr/images/Geoval/sorties/2018/Sortie_05/2018-05-GVAL-mines-estaing-LIVG-v2.pdf

Dominique Rossier, 2013-Mines d'Estaing : itinéraires de découvertes et contexte géologique- Société d'Etudes des 7 vallées – Lavedan et Pays Toy,