

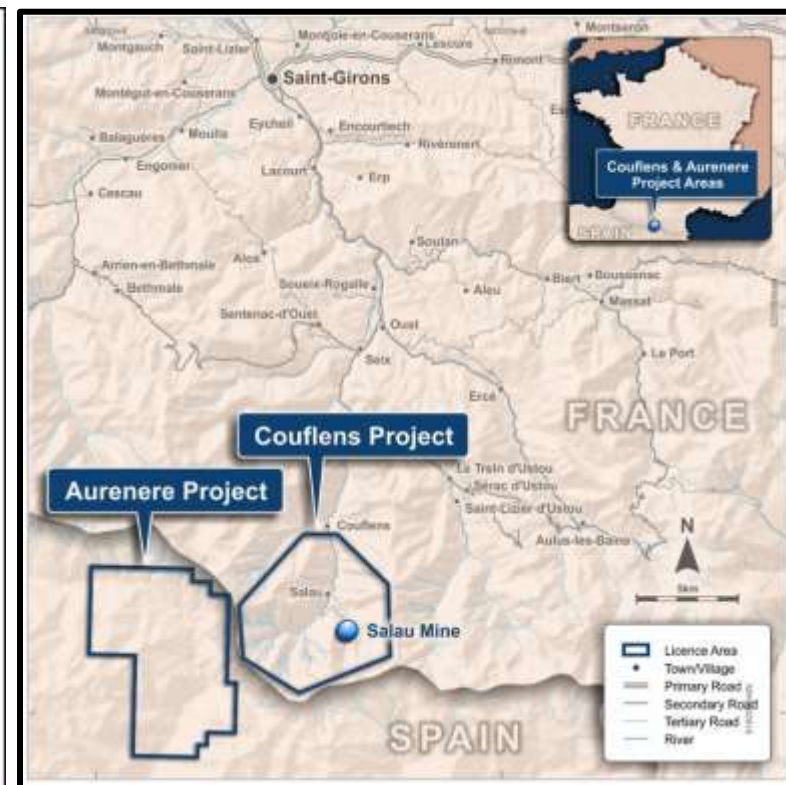
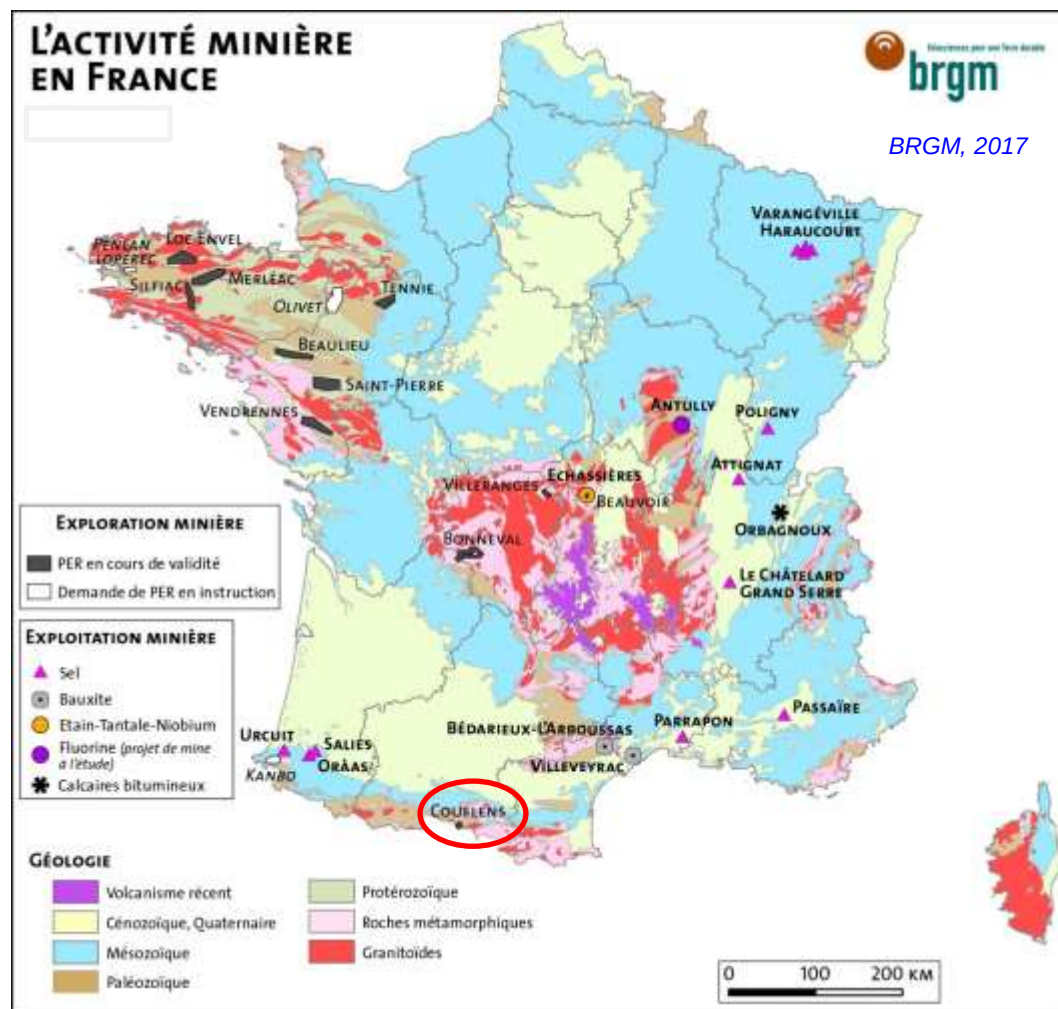
Le gisement de Salau

le point sur une future ressource européenne en tungstène



Le PERM Couflens

- Février 2017 (JORF) : Octroi du Permis Exclusif de Recherches Minières  VARISCAN MINES
- En cours : Transfert du titre et acquisition d'Aurenère (Espagne) 



Apollo Minerals, 2018

Le PERM Couflens

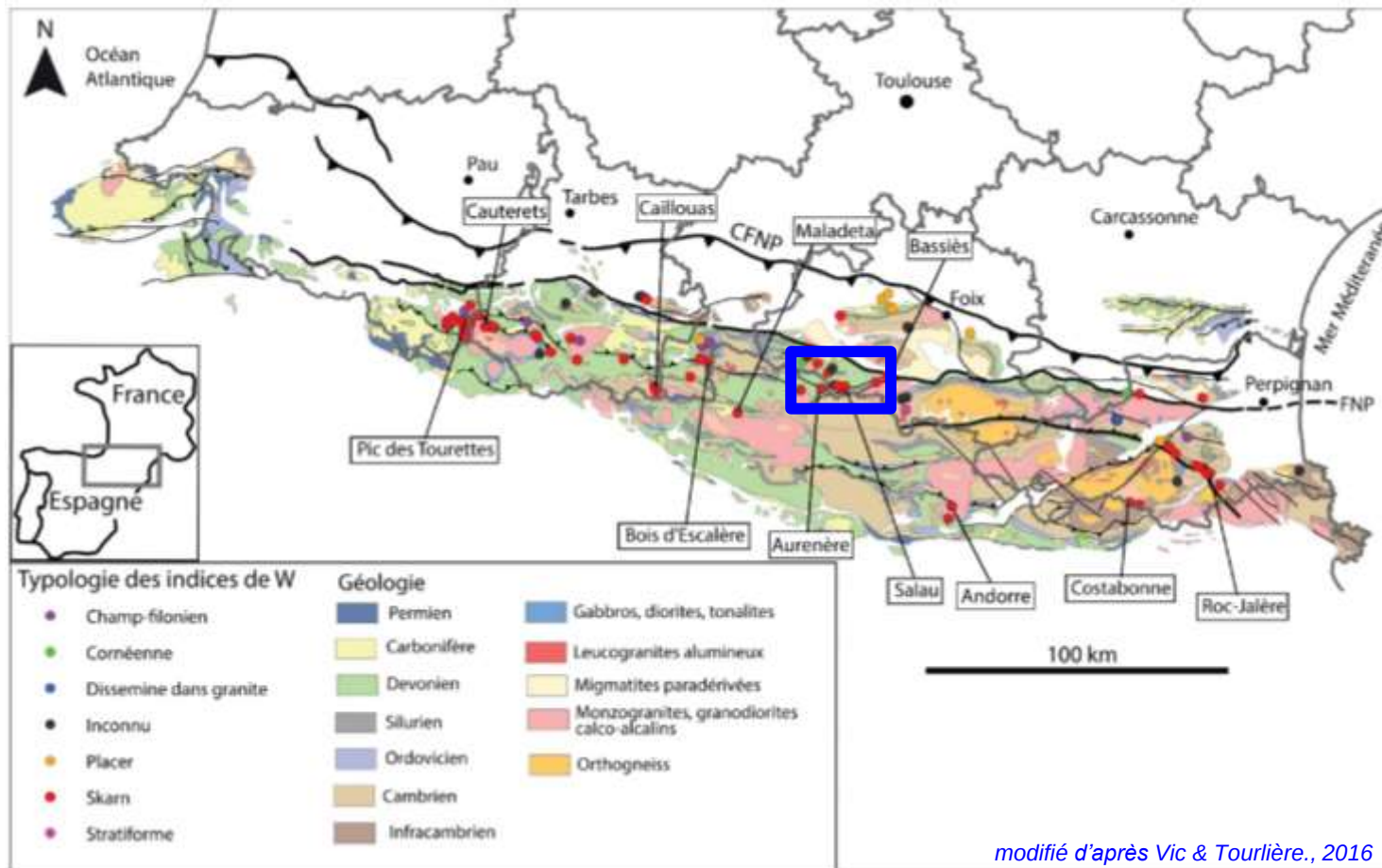
- 2016 : Pour Promouvoir l'Exploitation Responsable de la Mine de Salau
 - une association locale en faveur du projet (> 1 000 membres)



PPERMS, 2018

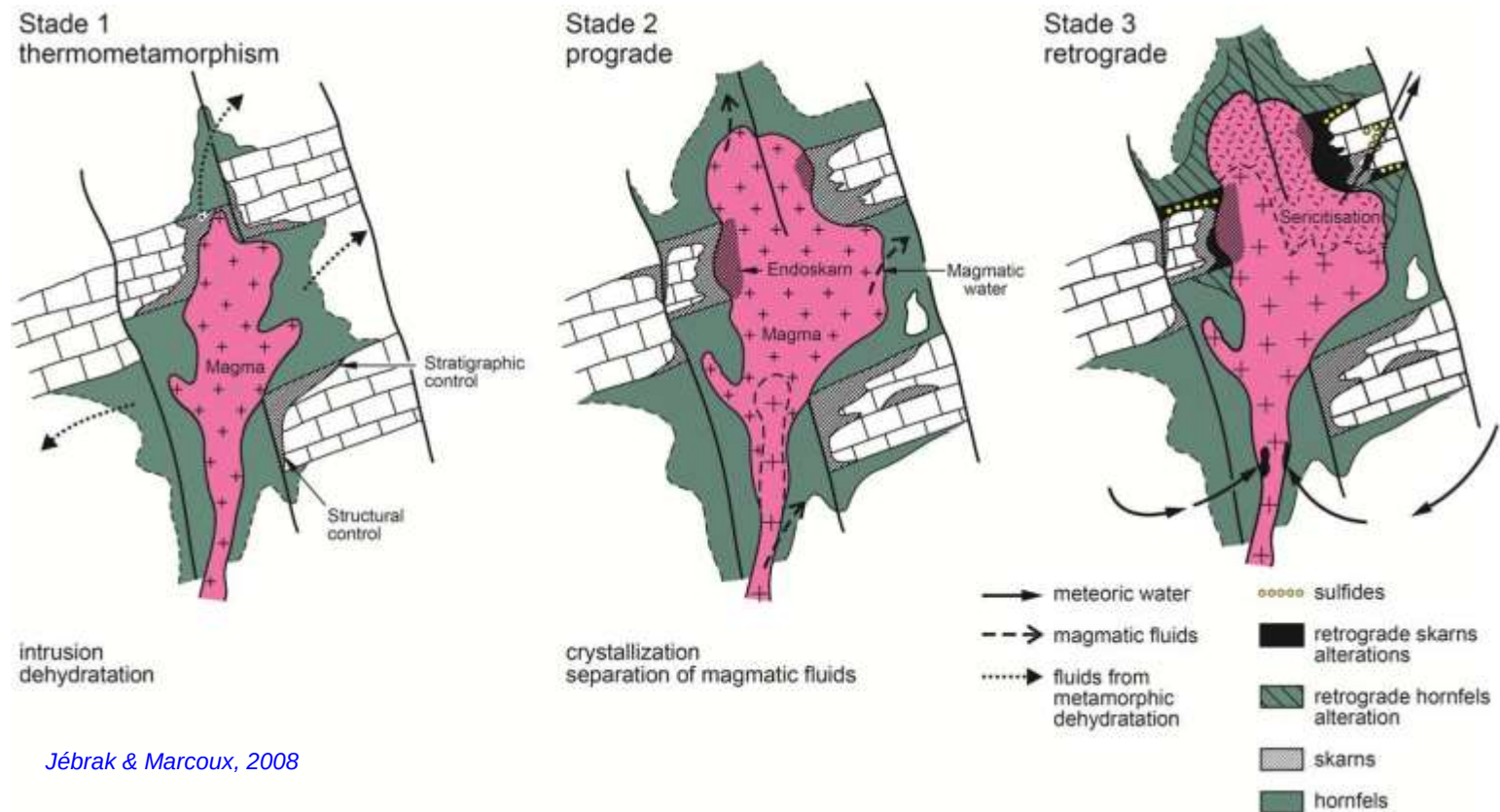
Minéralisations

- W découvert relativement récemment dans les Pyrénées (Costabonne **1951**)
- Skarns à scheelite au contact entre marbres et intrusions calco-alcalines
- Fort potentiel de découvertes



Le gisement de Salau

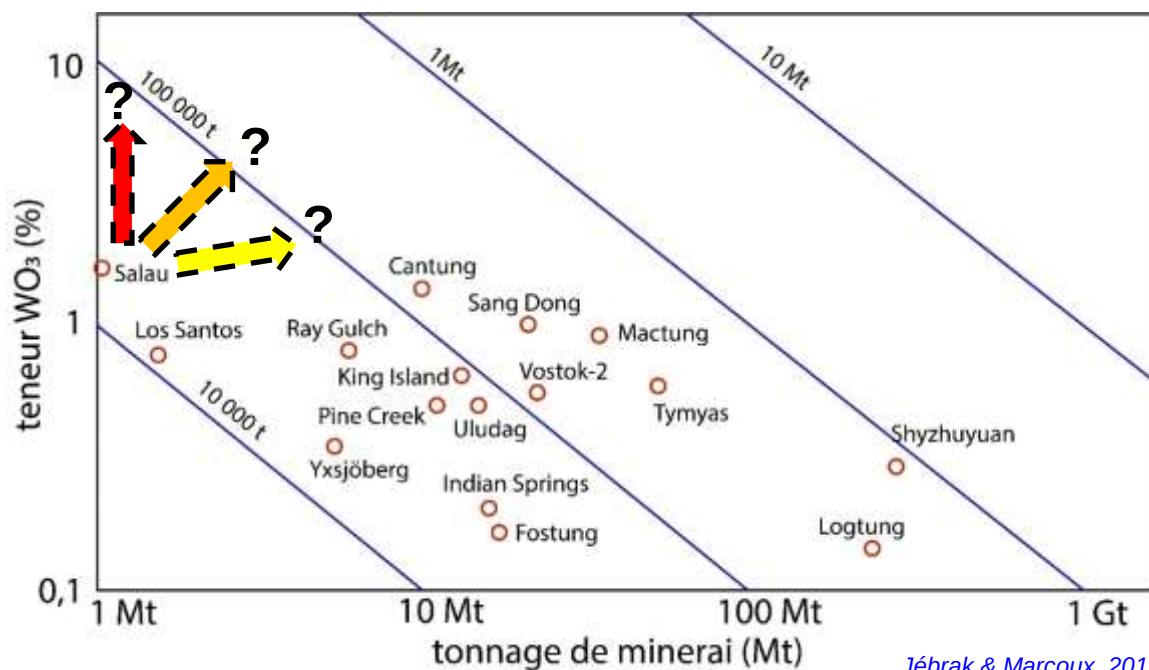
- Le gisement de Salau, la plus importante mine de tungstène français (**13 950 t WO₃**) de 1970 à 1986
- Skarn à scheelite ([Fonteilles et al., 1989](#))
- Un skarn est une roche
 - dont la minéralogie est dominée par **des silicates calciques ou magnésiens**
 - **formée par métasomatisme** entre un intrusif et son encaissant carbonaté



Le gisement de Salau

Particularités

- Minerai exploité à une teneur moyenne de **1,2 à 2,5 % WO_3** (cut off 0,8 % WO_3)
- **Or** découvert dès 1964 (3 g/t) puis **en quantité importante** en 1986 (**5 à 10 g/t**)



Jébrak & Marcoux, 2015

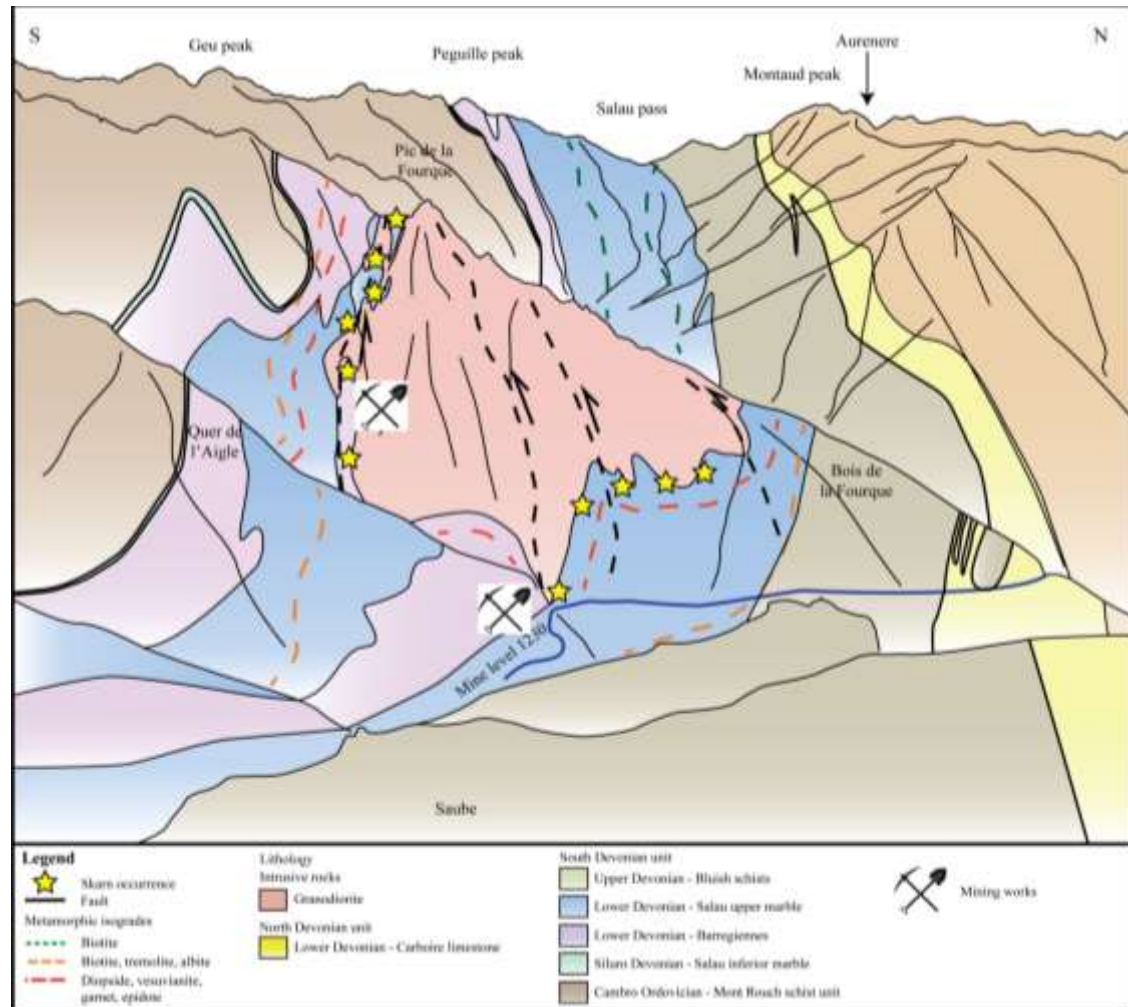


Travaux de terrain

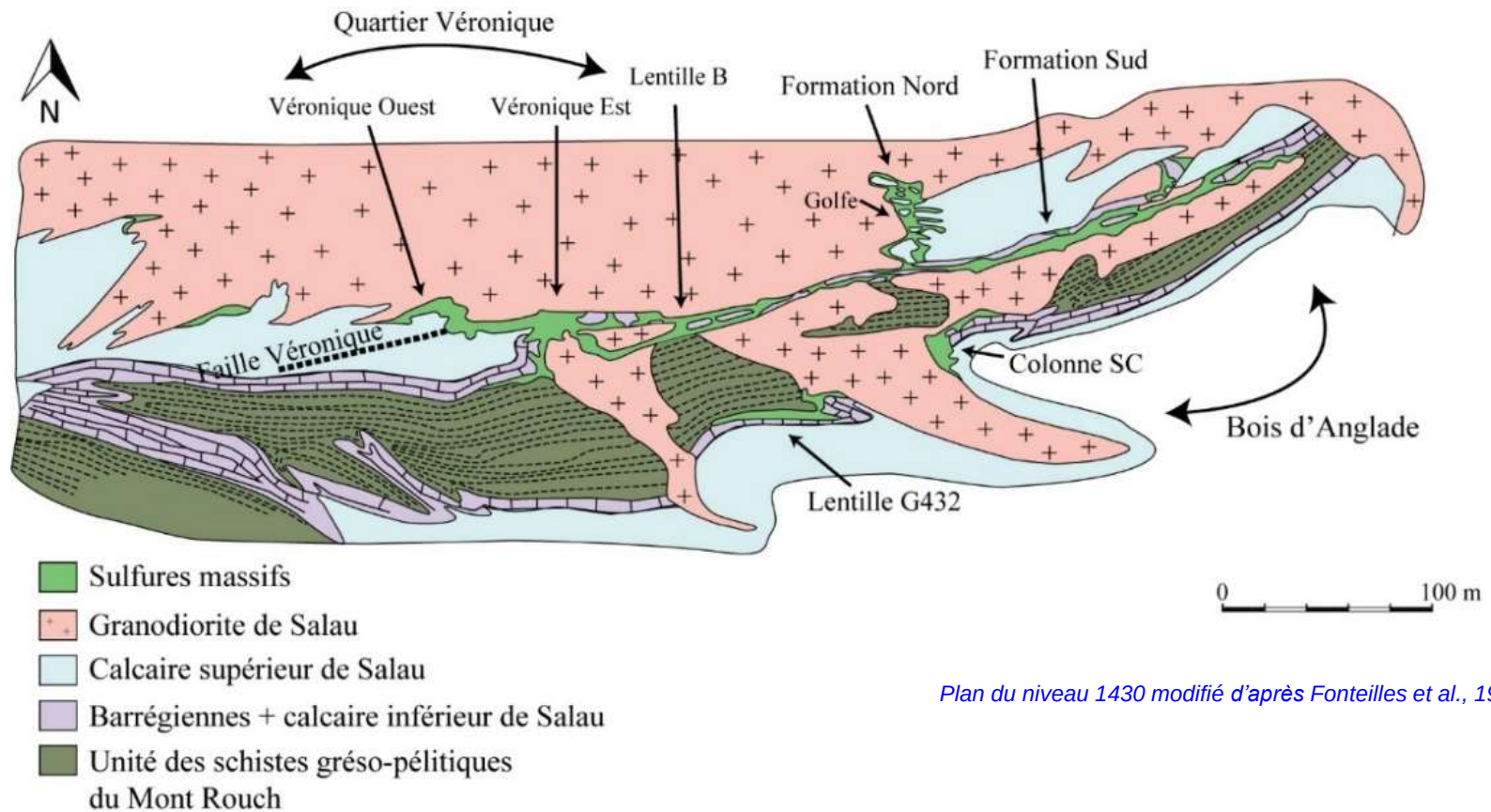


Analyse des travaux miniers

- **Massif granodioritique** de la Fourque (1 km²)
- Premiers indices de **skarns à scheelite** découverts dans le « **ravin de la Fourque** » en 1960
- Autres indices connus tout autour du massif
- Contact intrusif – encaissant **très irrégulier**



Analyse des travaux miniers



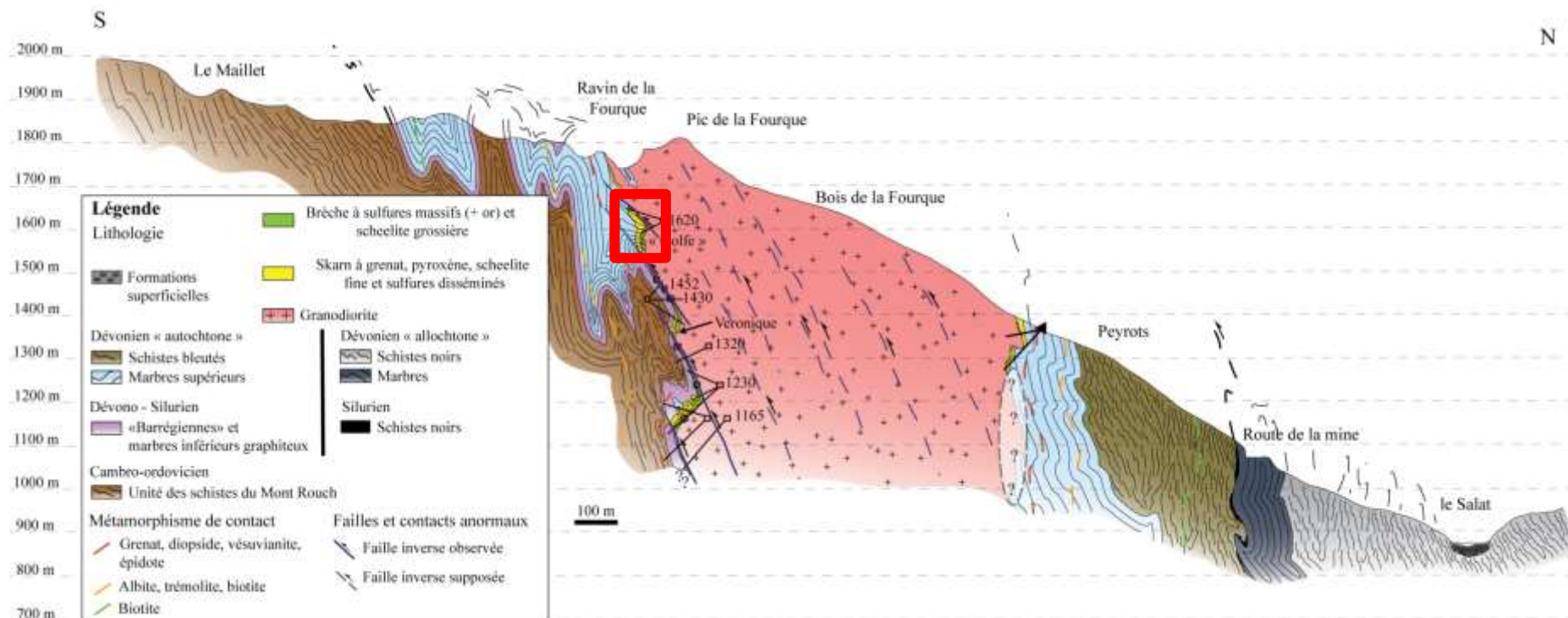
Plan du niveau 1430 modifié d'après Fonteilles et al., 1989

➤ Le Bois d'Anglade (1970 – 1978)

- Formation Nord
- Golfe
- Formation Sud
- Colonne SC

➤ Le quartier Véronique (1978 – 1986)

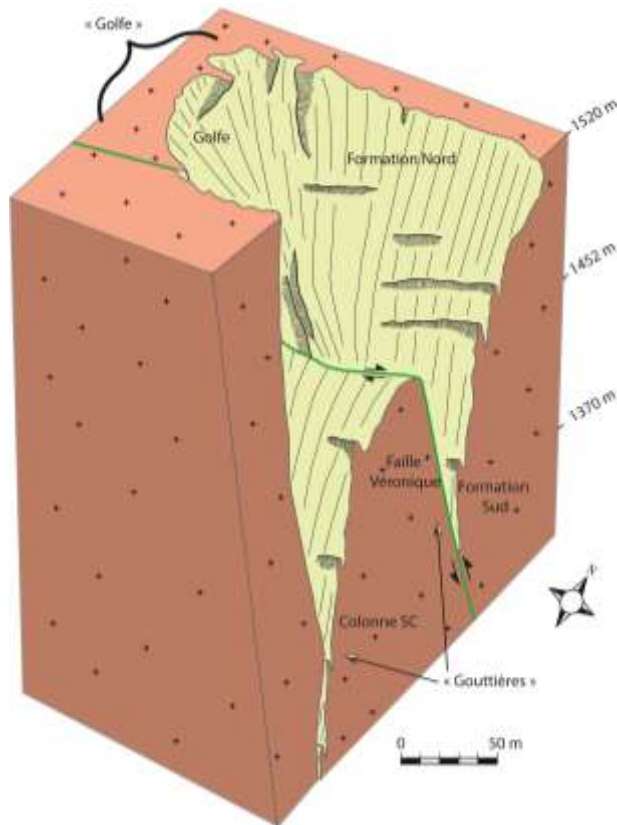
Minéralisations



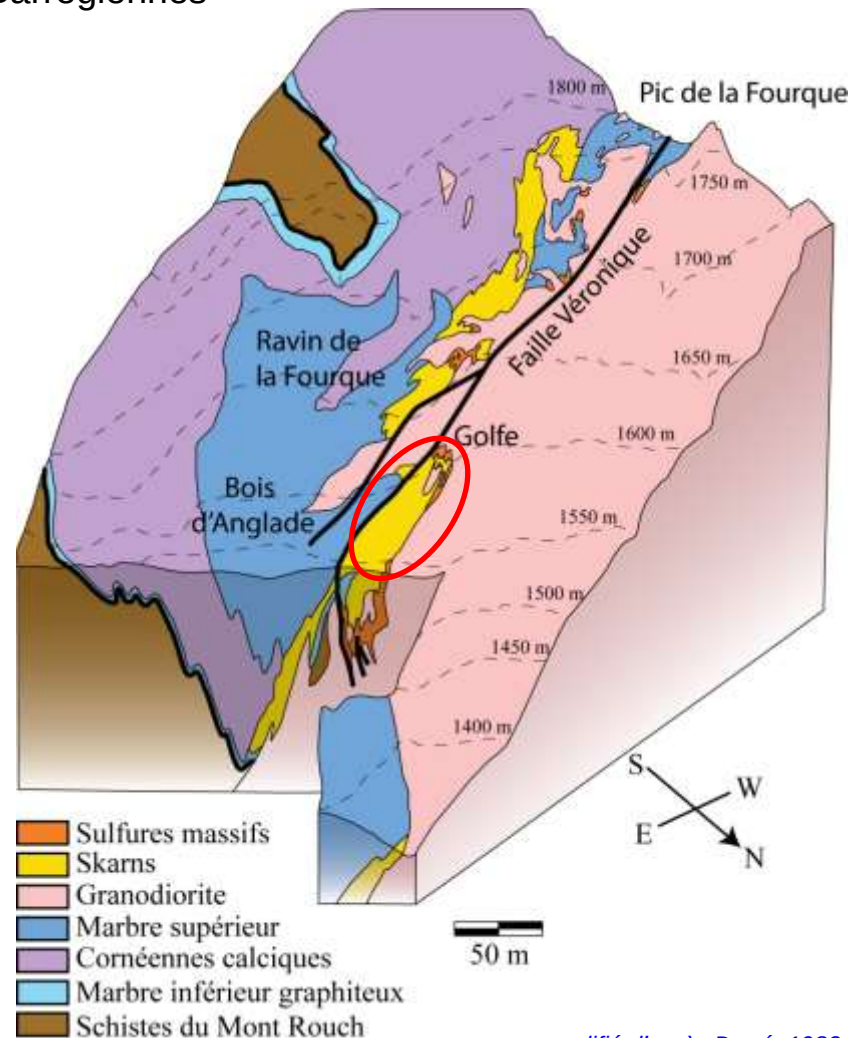
➤ **Le Bois d'Anglade – dépilage 1580 m**

Le Bois d'Anglade

- **Golfe** formé au contact entre granodiorite et Barrégiennes
- **Skarns à silicates calciques et scheelite**
- Indices historiques du ravin de la Fourque



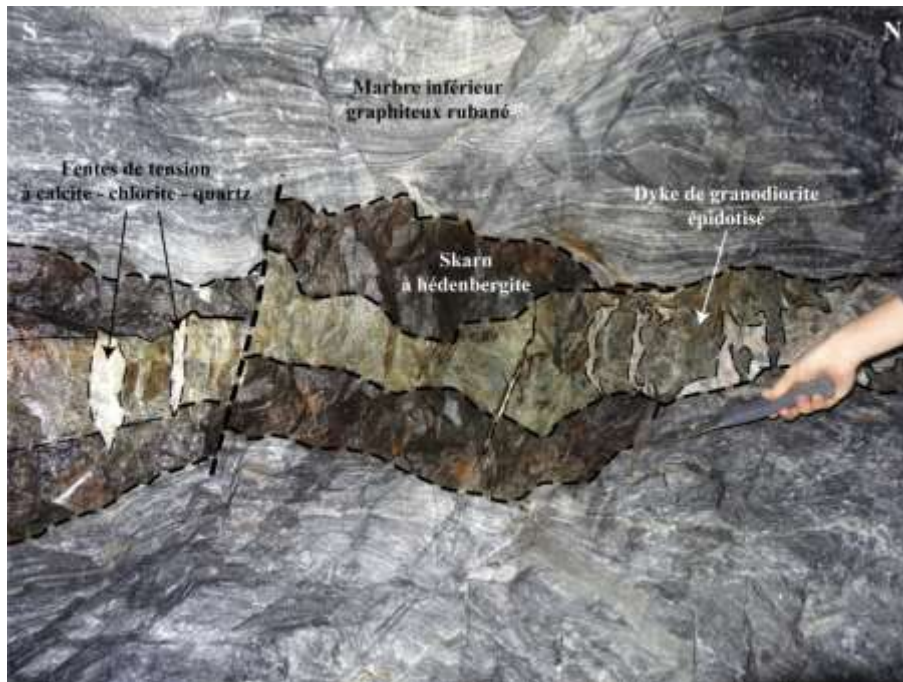
modifié d'après croquis SMA



modifié d'après Derré, 1983

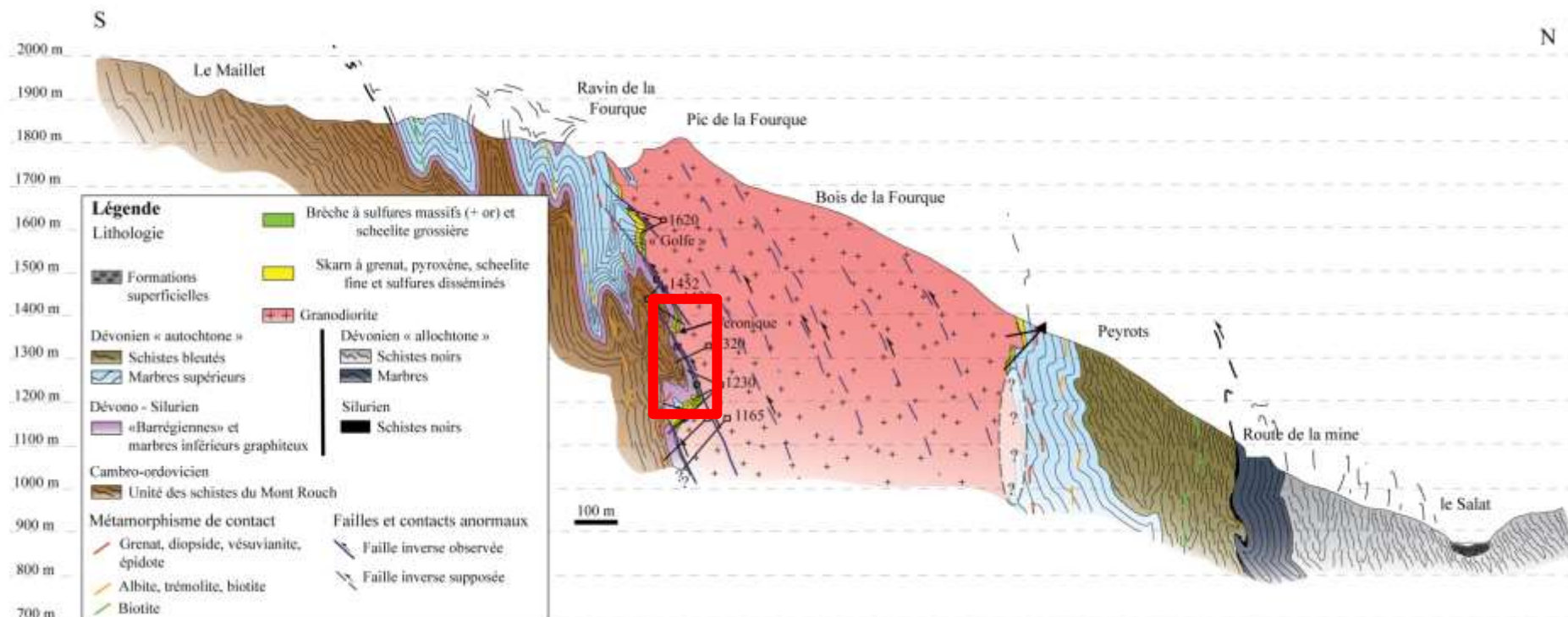
Le Bois d'Anglade

- Skarns à silicates calciques, scheelite fine peu fréquente ($< 0,5 \text{ mm}$) et pyrrhotite disséminée
- Teneurs $< 0,5 \text{ \% WO}_3$ et $< 0,1 \text{ g/t d'or}$
- Type de skarn dépendant de la roche encaissante (calcaire ou Barrégienne)



5 cm

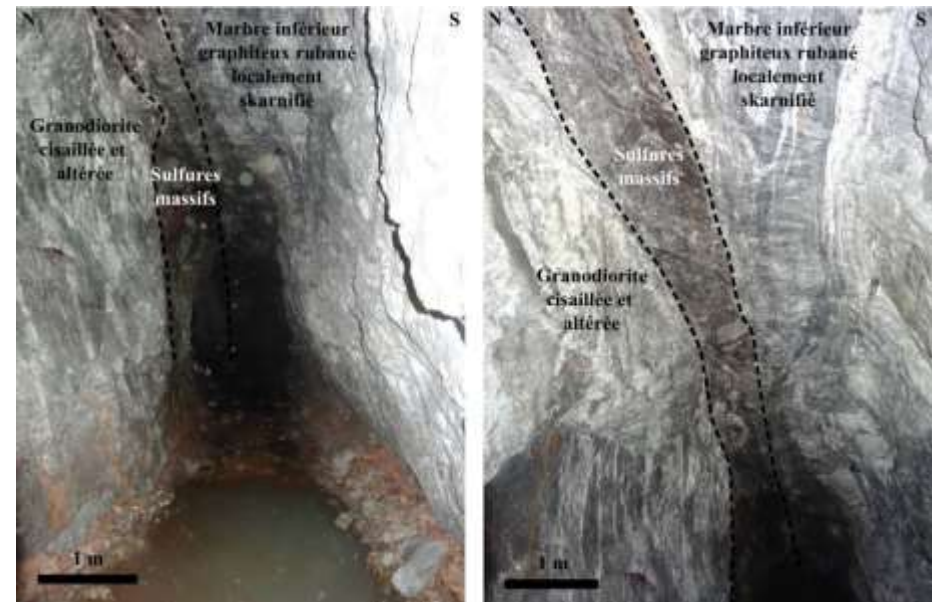
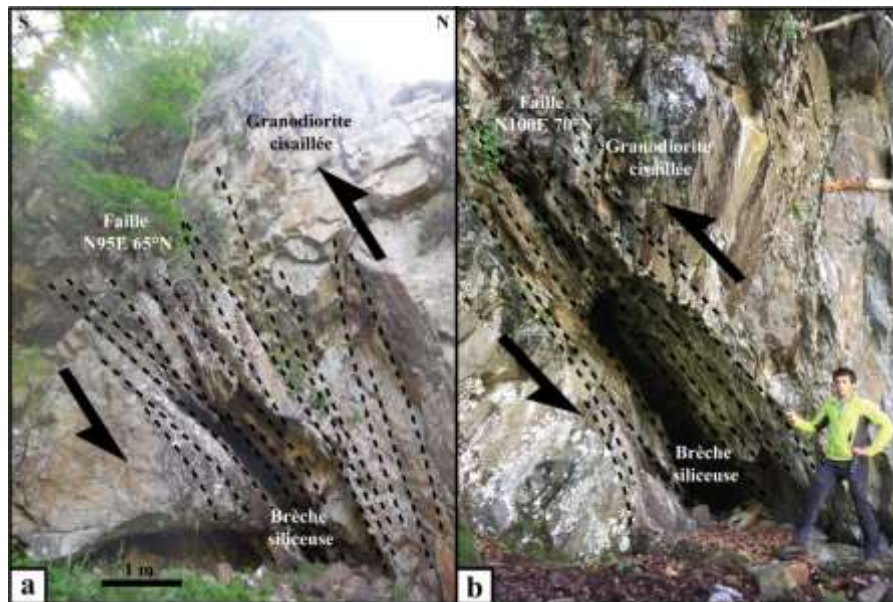
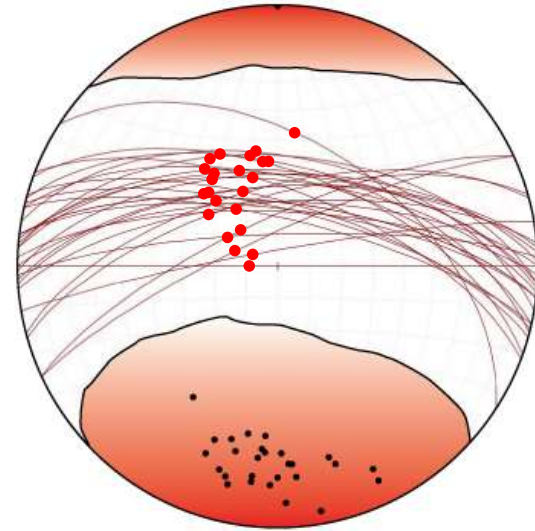
Minéralisations



➤ Le quartier Véronique – niveaux 1430 à 1230

Le quartier Véronique

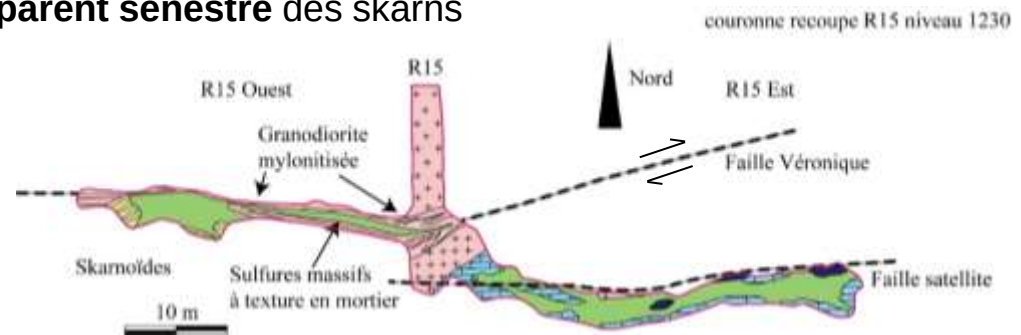
- **Couloir faillé plurimétrique E-W 70°N** affectant toute la bordure Sud du massif de la Fourque
- **Brèche quartzeuse** cimentée par **des sulfures massifs (pyrrhotite dominante) et de la scheelite grossière (> 1 mm)** au contact avec l'encaissant carbonaté



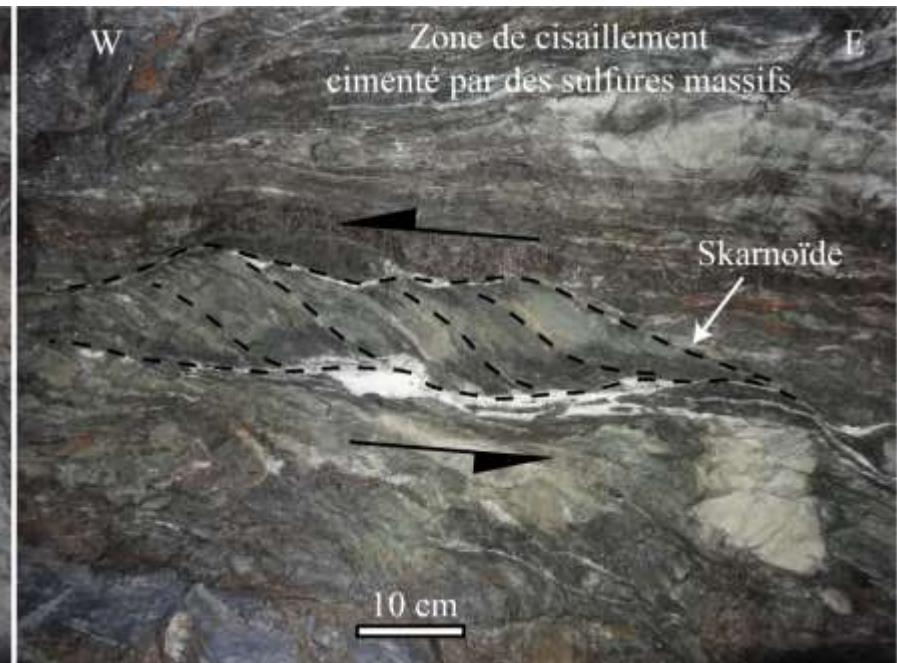
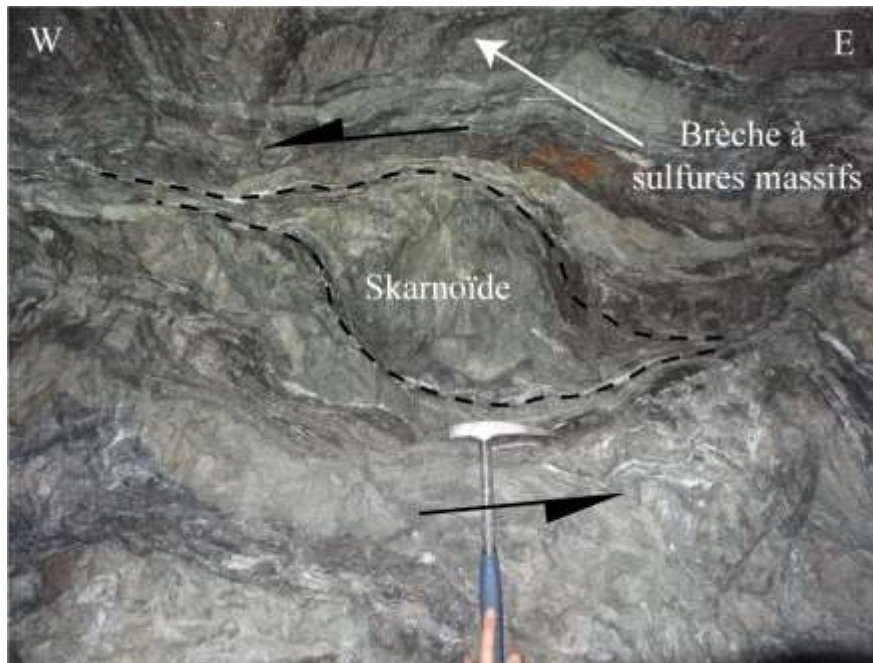
La faille Véronique

Critères cinématiques et chronologie relative

- Observations en couronne : **cisaillement apparent senestre** des skarns
 - Remis en carte → **cisaillement dextre**



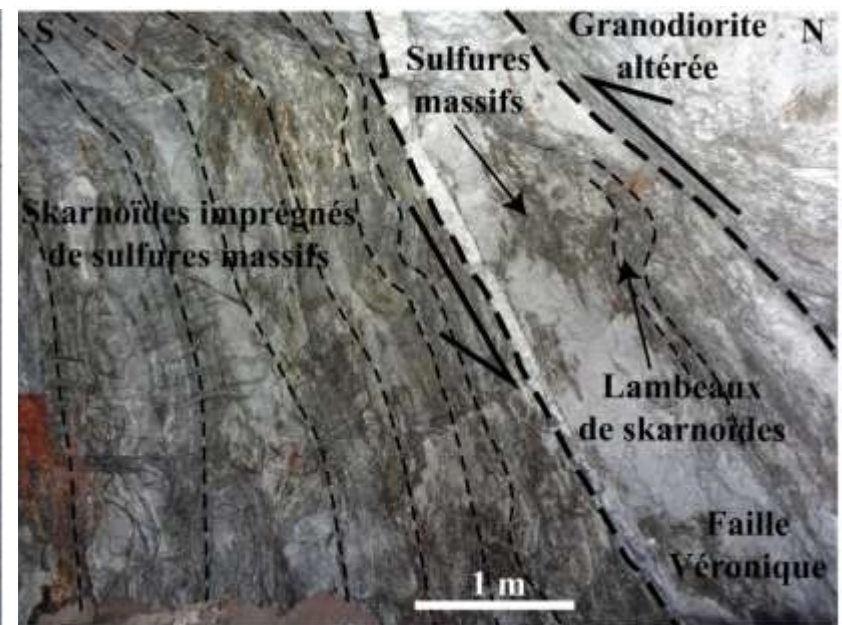
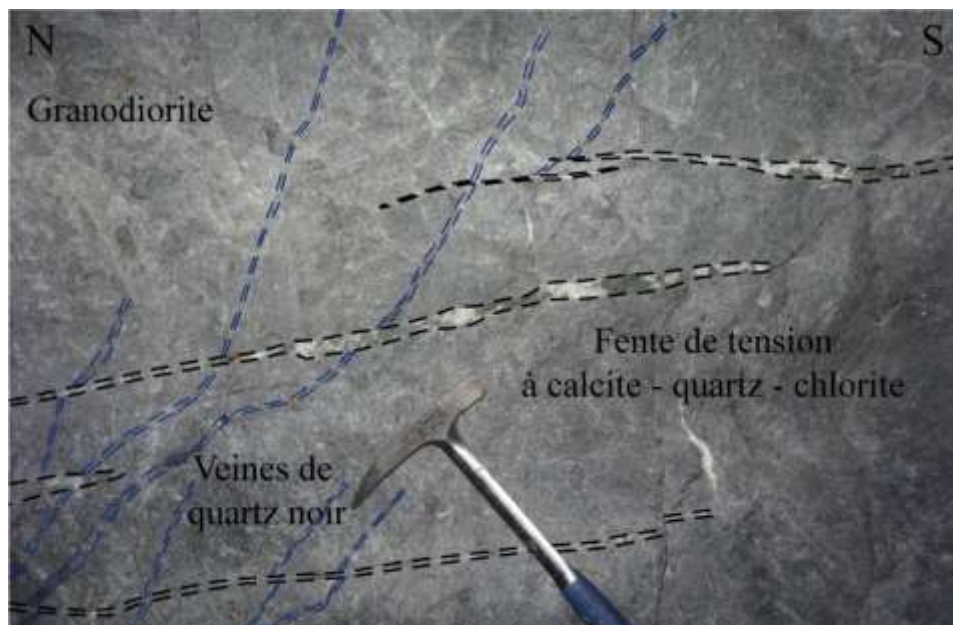
modifié d'après Derré et al., 2014



La faille Véronique

Critères cinématiques et chronologie relative

- Observations en paroi : **cisaillement inverse des skarns**
 - **bandes de cisaillement inverses** dans la granodiorite
- **Fentes de tension sub-horizontales** dans la granodiorite
 - jeu inverse et étirement sub-vertical de la faille Véronique



La faille Véronique

Minéralisations

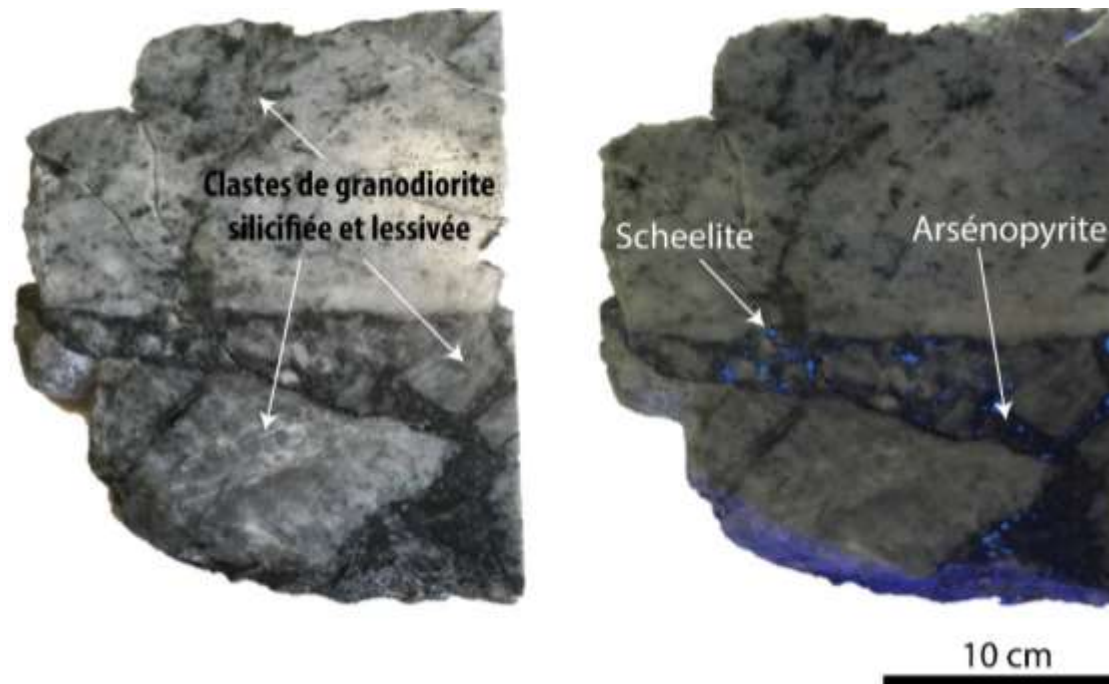
- **Morphologie filonienne** généralement sous forme **bréchique**
 - **Clastes** décimétriques à métriques (granodiorite, marbres, skarns)
 - **Ciment de sulfures massifs** (po, cp, asp, sp, gn) et de **scheelite grenue abondante** (> 1 mm)
- **Teneurs** > 1 % WO_3 et 5 - 10 g/t d'or
- **Altération chloriteuse** de l'encaissant très développée



La faille Véronique

Minéralisations

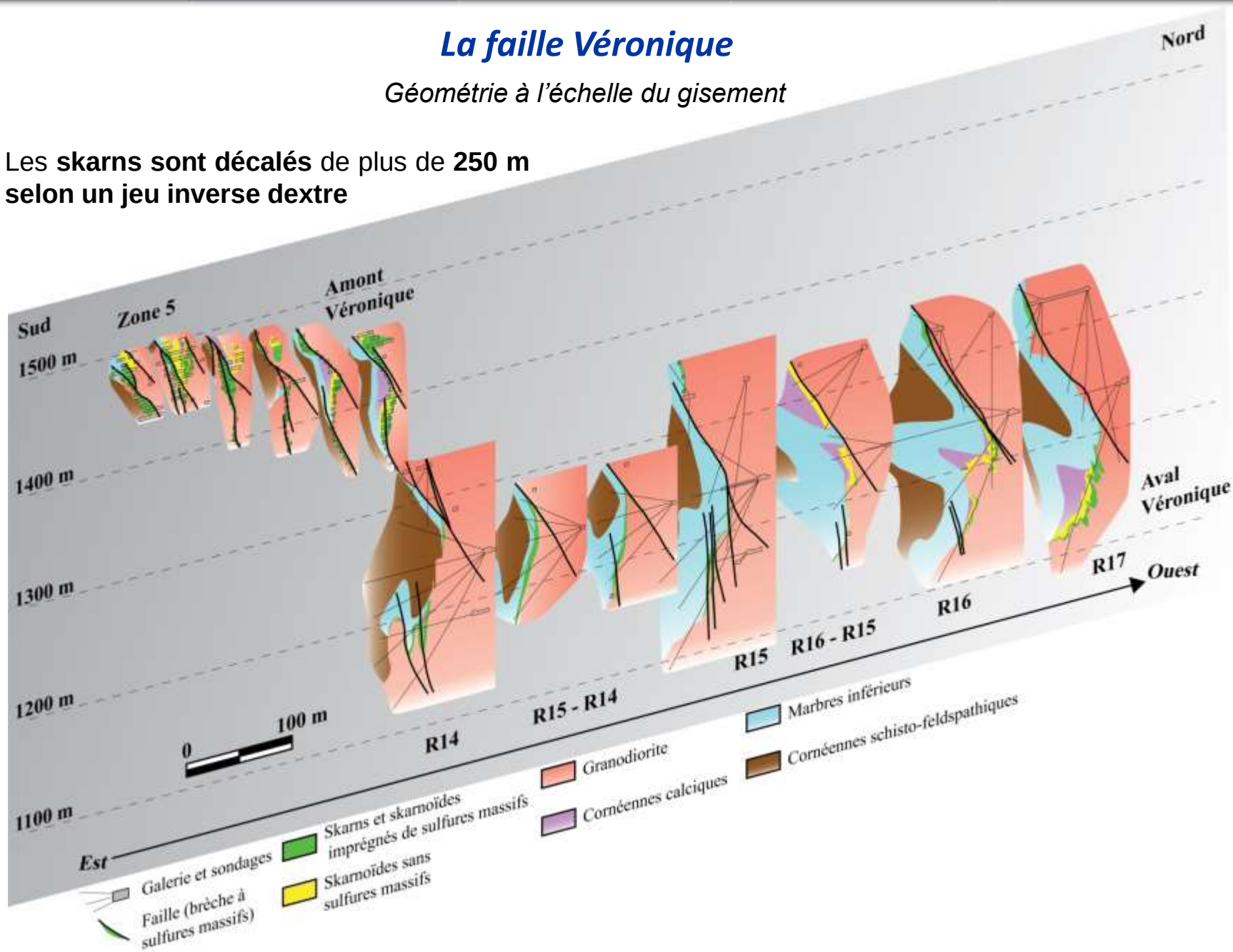
- **Morphologie filonienne** généralement sous forme **bréchique**
 - **Clastes** décimétriques à métriques (granodiorite, marbres, skarns)
 - **Ciment de sulfures massifs** (po, cp, asp, sp, gn) et de **scheelite grenue abondante** (> 1 mm)
- **Teneurs** > 1 % WO_3 et 5 - 10 g/t d'or
- **Altération chloriteuse** de l'encaissant très développée



La faille Véronique

Géométrie à l'échelle du gisement

- Les skarns sont décalés de plus de 250 m selon un jeu inverse dextre



Evolution de la faille Véronique à distance de l'intrusion

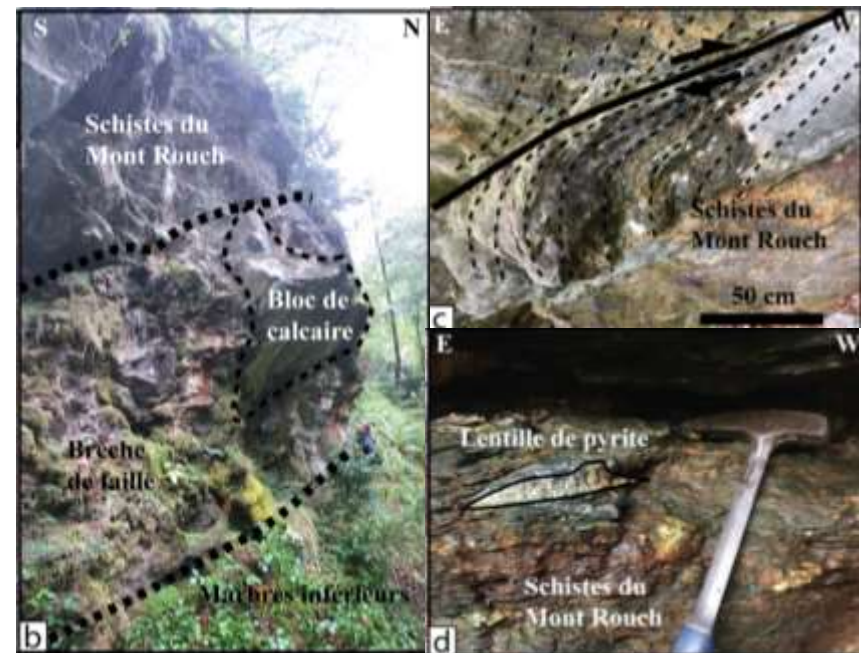
- **Faille plurimétrique** au contact schistes ordoviciens – calcaires inférieurs
- **Brèche N100°E sub-verticale dextre inverse** à blocs métriques de calcaires et schistes pyriteux
- **Aucune minéralisation observée**



Vallée de la Pallaresa (10 km à l'ouest de la Fourque)

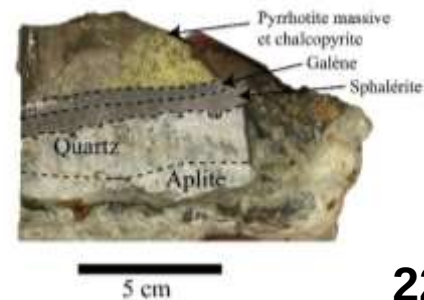
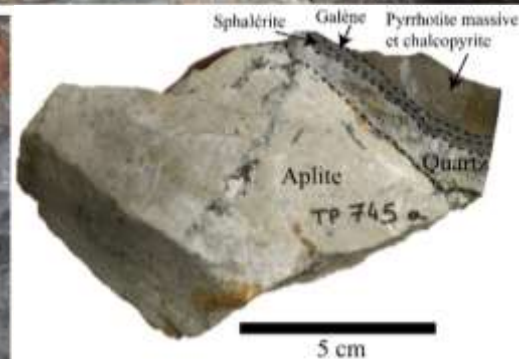
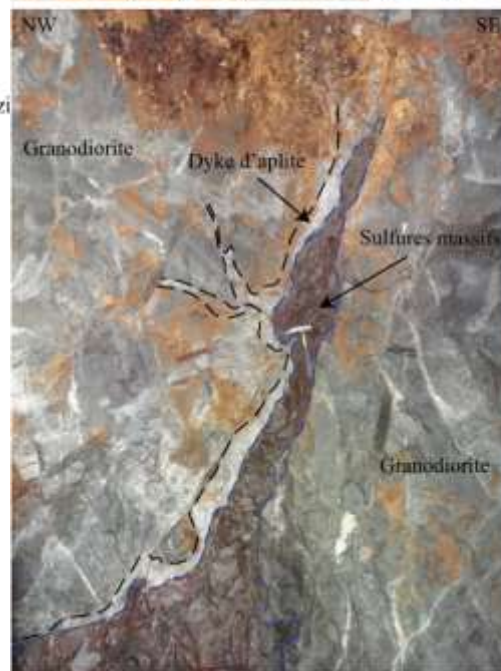
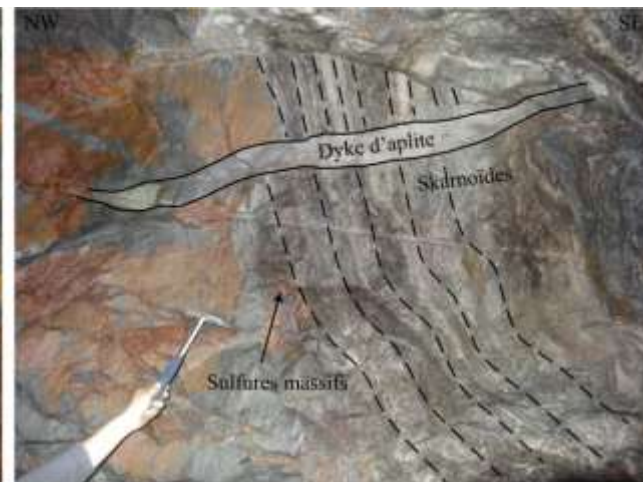
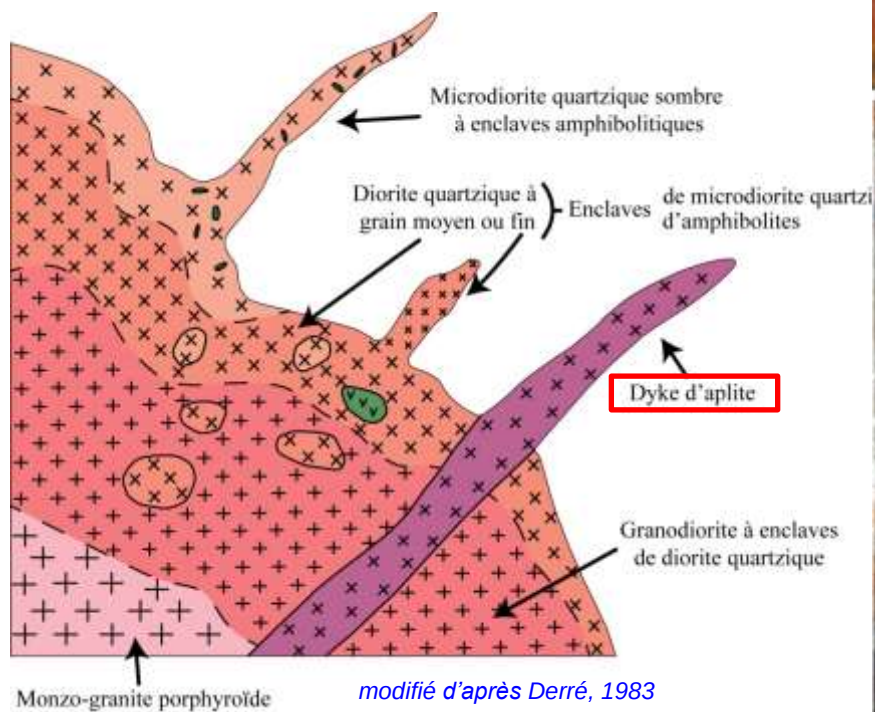


Ravin de Plagnau Long (2 km à l'ouest de la Fourque)



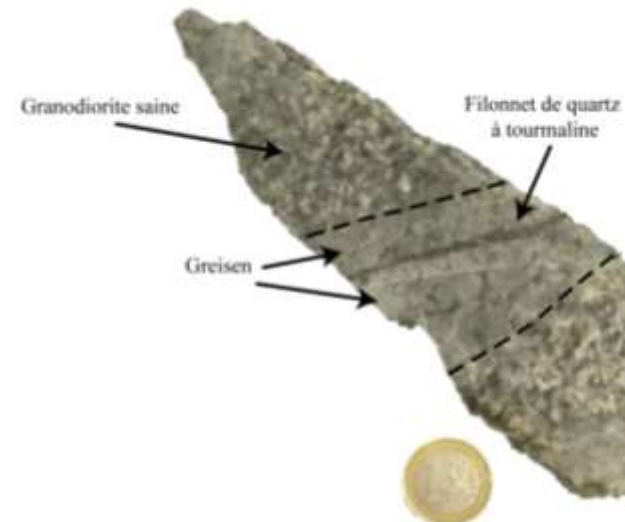
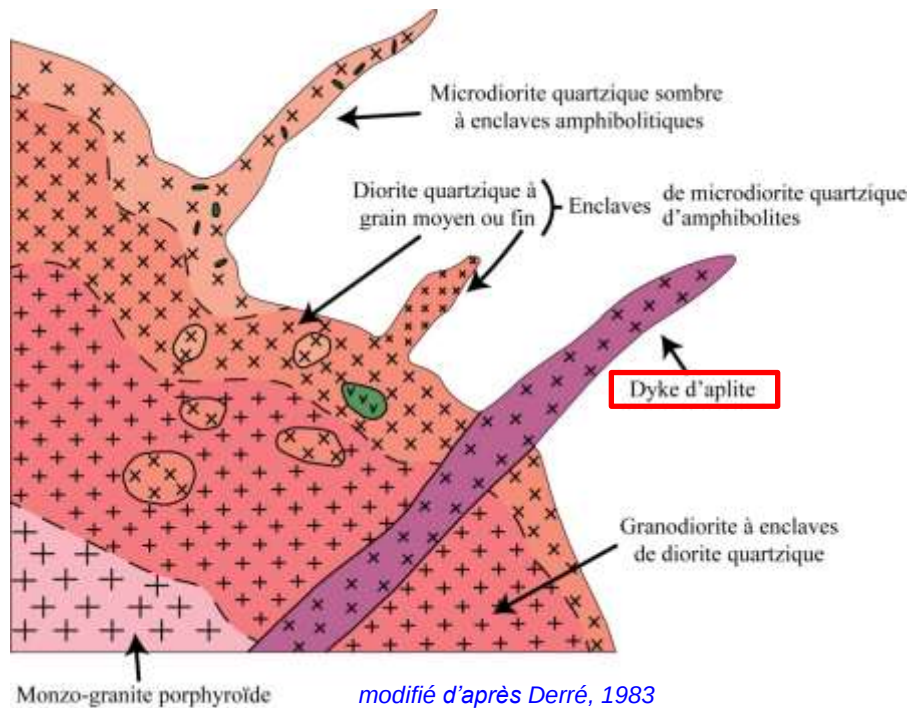
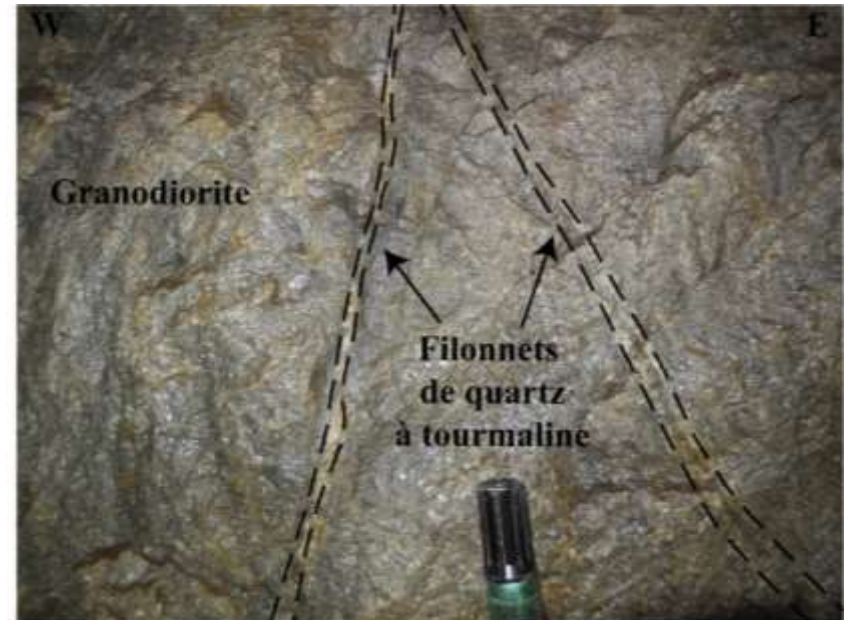
Un magmatisme polyphasé

- Le massif de la Fourque présente **différents faciès intrusifs**
 - **des dykes d'aplite tardifs et sécants sur tous les autres faciès**

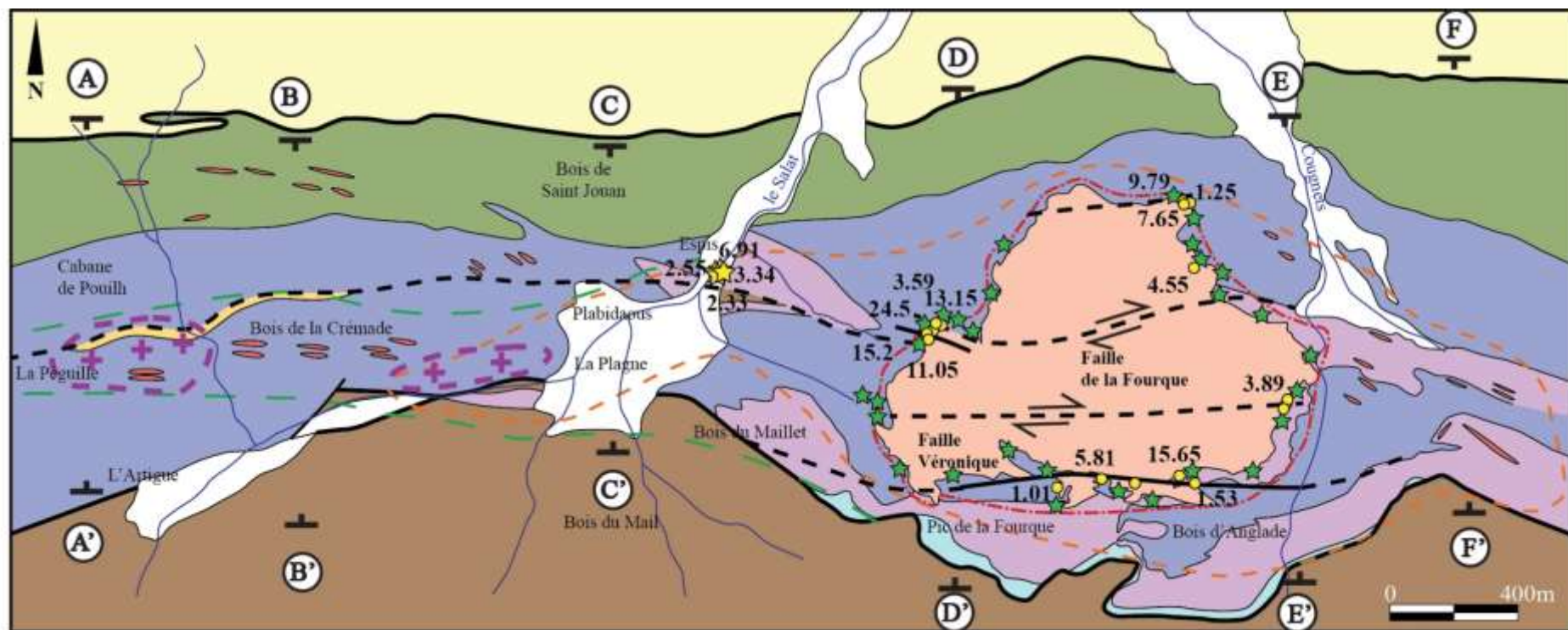


Un magmatisme polyphasé

- Le massif de la Fourque présente **différents faciès intrusifs**
 - des **filonnets de quartz à tourmaline**



En dehors du secteur de la mine



Légende

- | | | | |
|------------------------------------|--|---------------------------|-----------------------------|
| Failles | Indices de skarn à scheelite | Formations superficielles | Schistes bleutés |
| Isograde biotite | Analyses or (ppm) dans les sulfures massifs | Granodiorite | Calcaire supérieur de Salau |
| Isograde albite - épidote | Analyses or (ppm) dans les veines à arsénopyrite | Sill de microgranite | Barrégiennes |
| Isograde grenat - diopside | Schistes tachetés (anorthite) | Calcaire de Carboire | Calcaire inférieur de Salau |
| Intrusion sub-affleurante supposée | | | Schistes du Mont Rouch |

Non pas un, mais deux types de minéralisations

< 0,5 % WO_3 < 0,1 g/t or

Skarn à hédénbergite, scheelite fine
et pyrrhotite disséminée



Granodiorite de la Fourque

Autour du massif

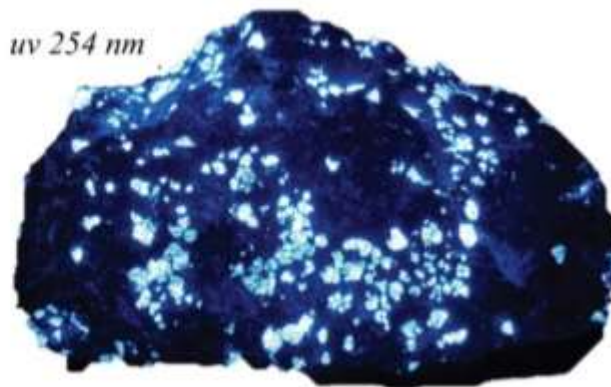
> 1 % WO_3 5 – 10 g/t or

Brèche de marbre inférieur skarnifié cimenté
par des sulfures massifs et de la scheelite
grossière abondante

*lumière
naturelle*



uv 254 nm

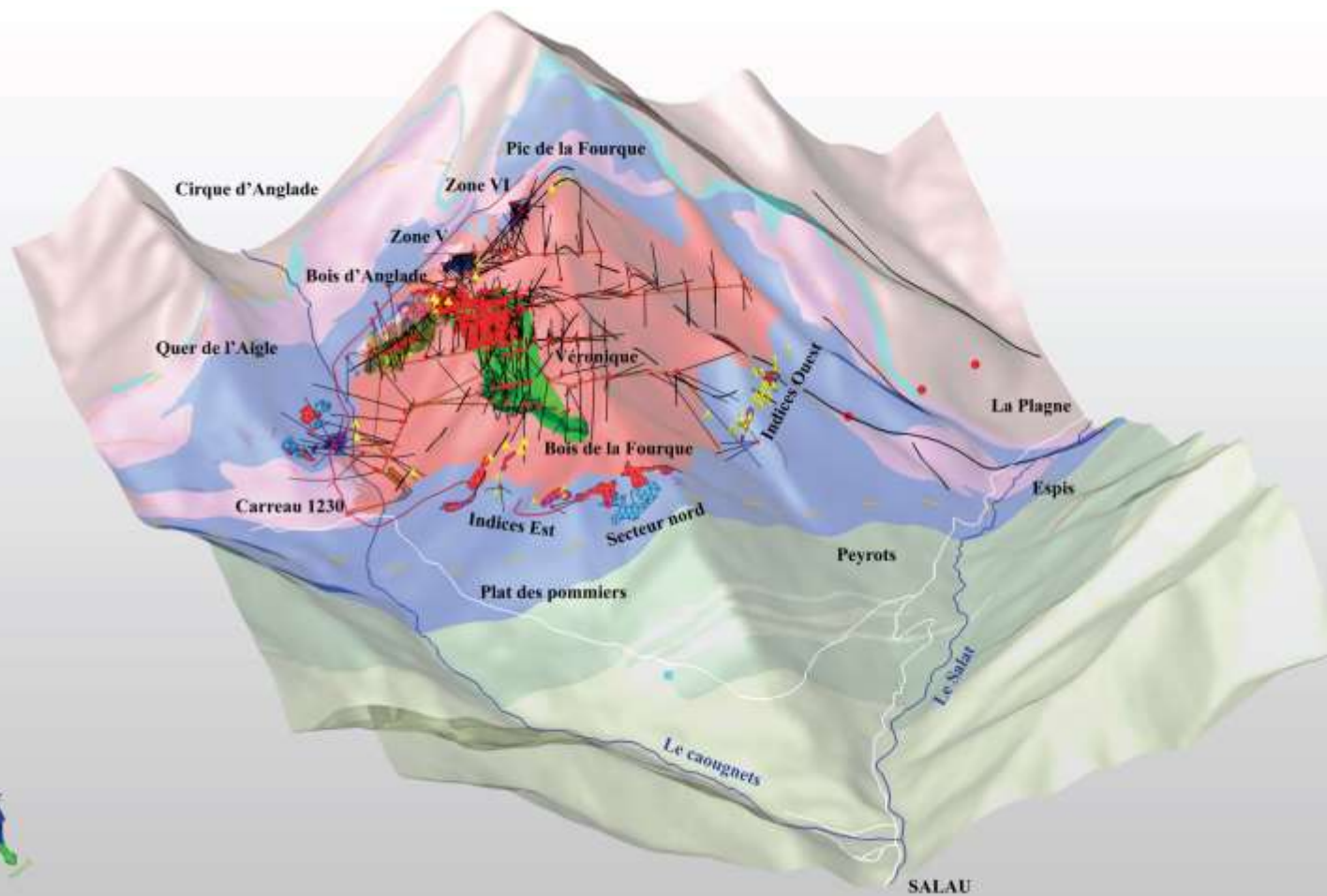


5 cm

Intrusion évoluée (filons aplitiques)

Limité aux zones faillées E-W

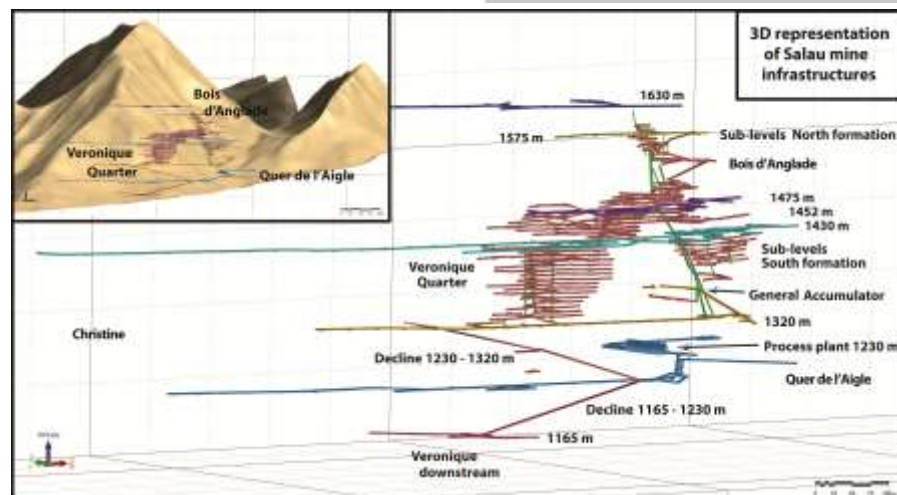
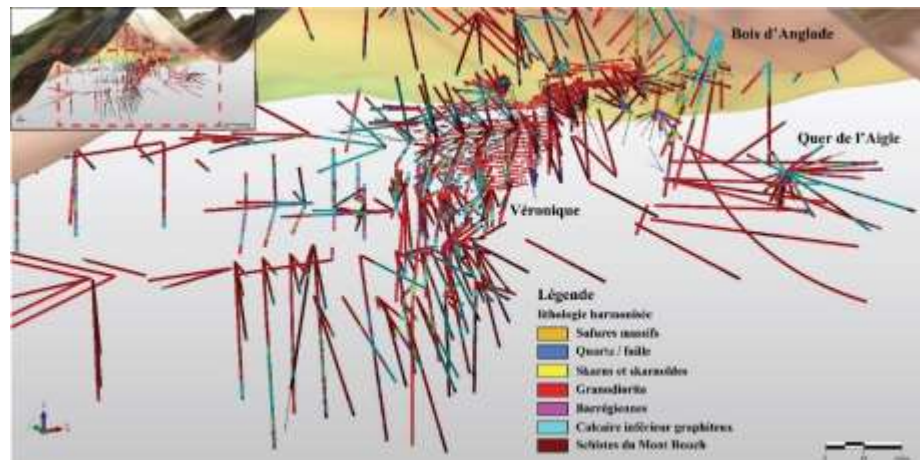
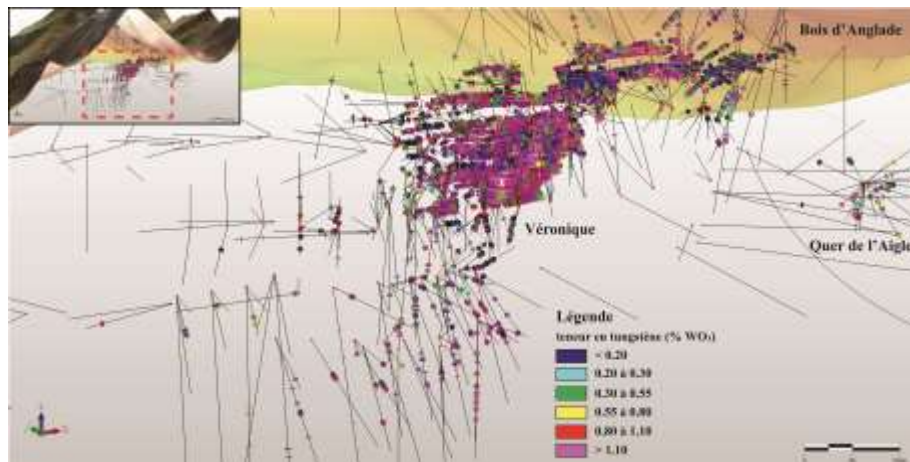
Modélisation 3D



Modélisation 3D

Création de la base de données

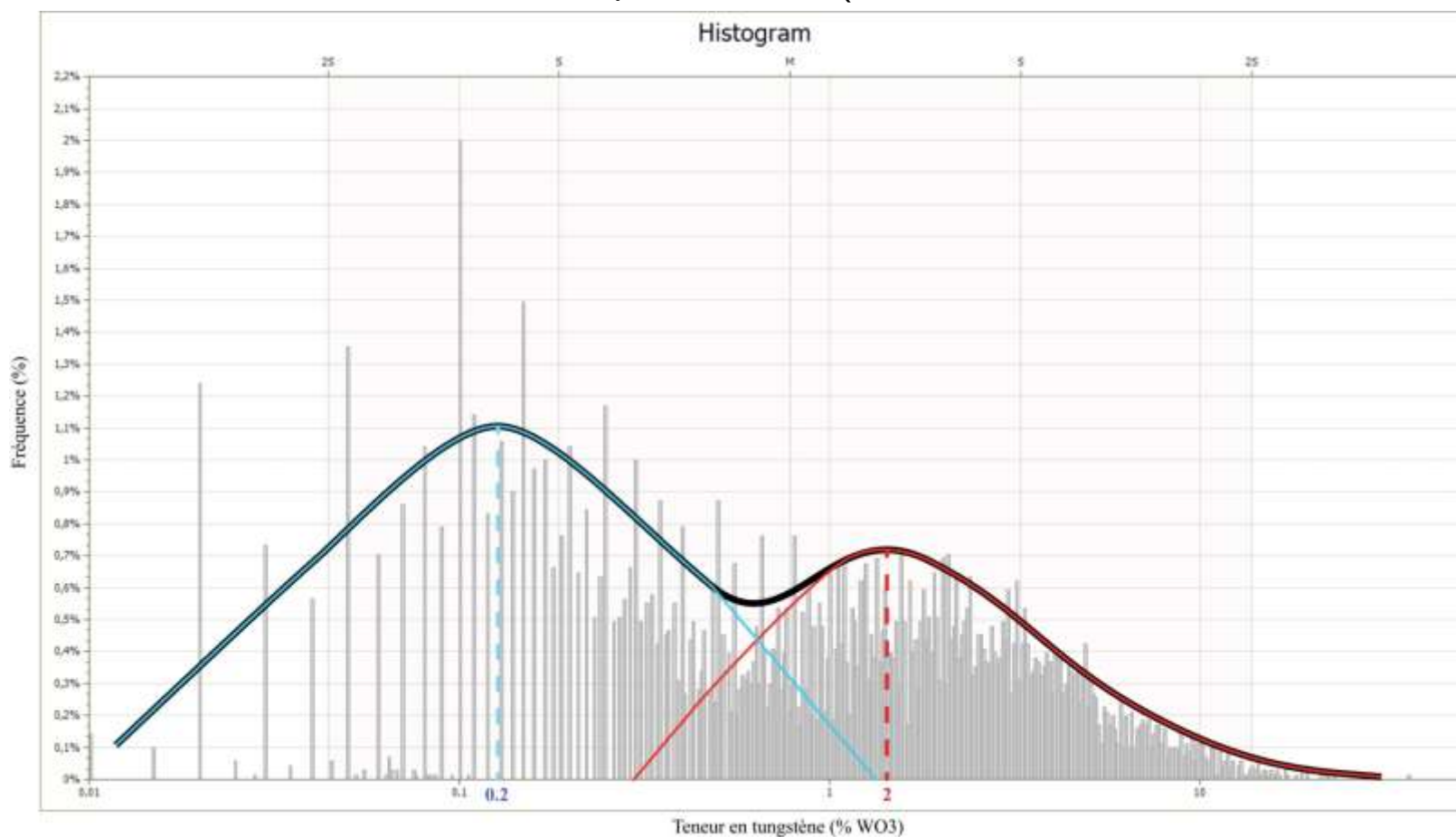
- Intégration de > **1000** sondages historiques (DD + RC) et > **2000** rainurages (> 75 km linéaires)
- Digitalisation et modélisation de > **20 km** de travaux miniers (galeries, recoupes, puits)



Modélisation 3D

Histogramme des teneurs en tungstène

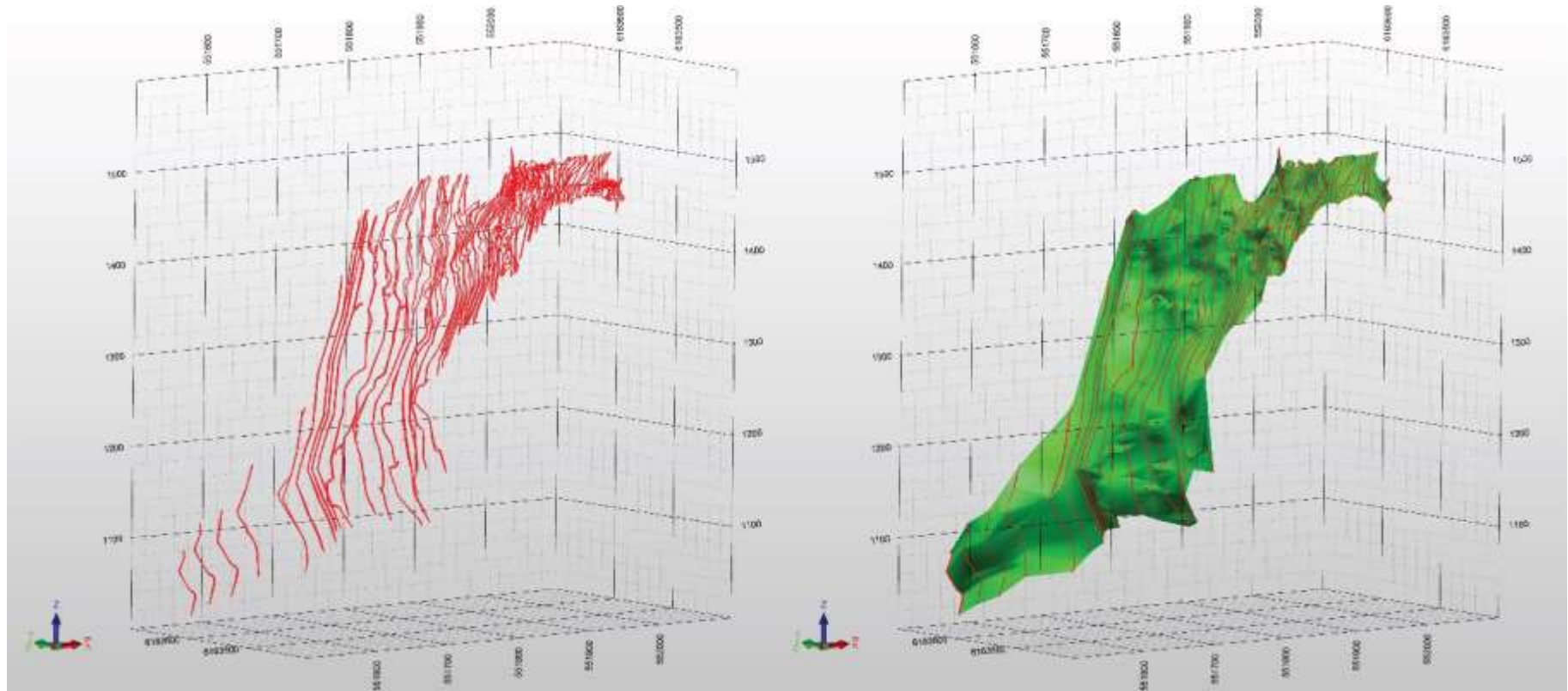
- 7400 analyses historiques
- Distribution bimodale :
 - teneurs centrées autour de **0,2 et 2 % WO_3** (skarn et brèche filonienne à sulfures massifs)



Modélisation 3D

Modélisation des corps minéralisés

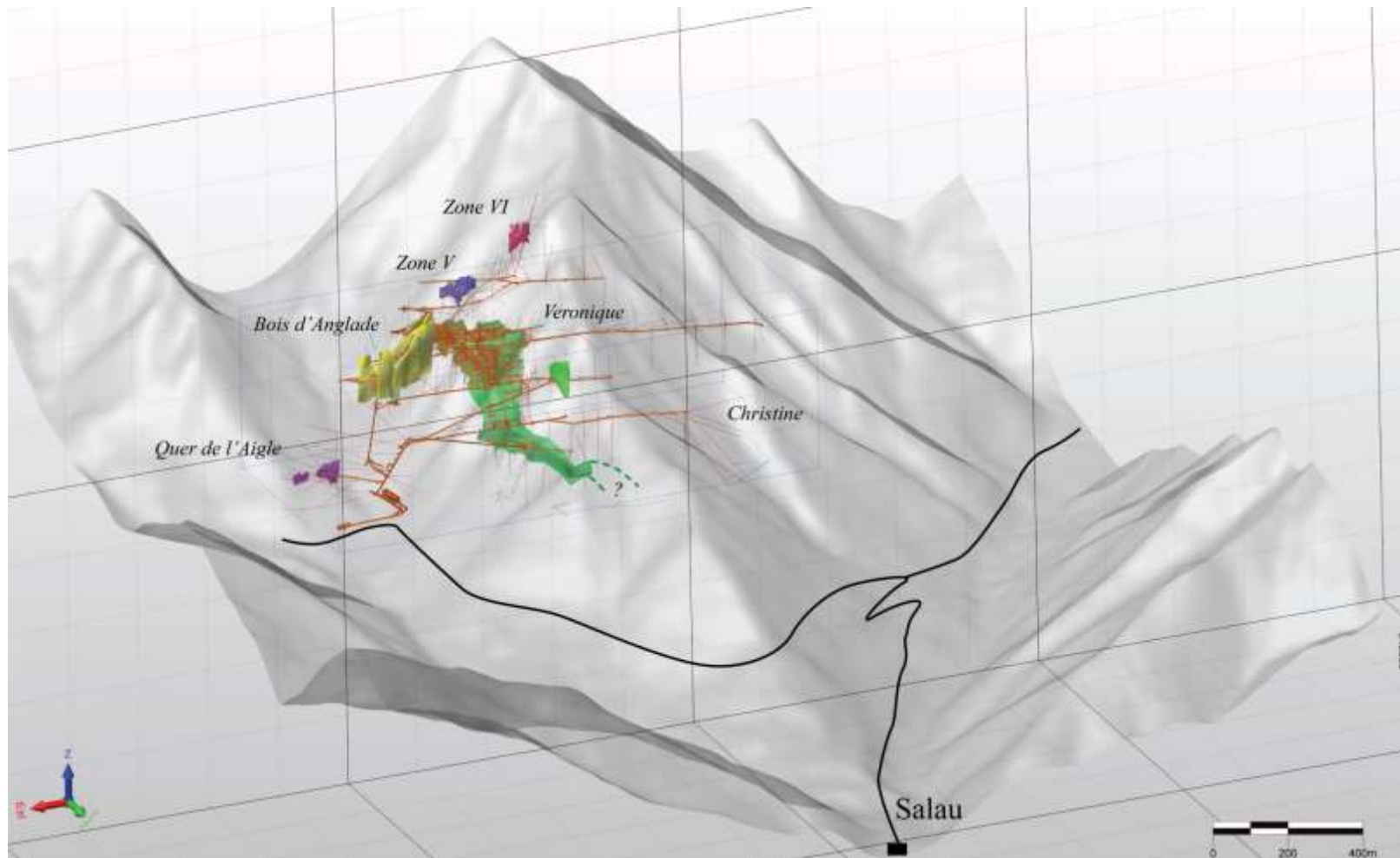
- Création de **coupes séries à haute résolution** (10 m d'intervalle) à partir de la géologie et des analyses
- Quartier Véronique → 57 coupes séries



Modélisation 3D

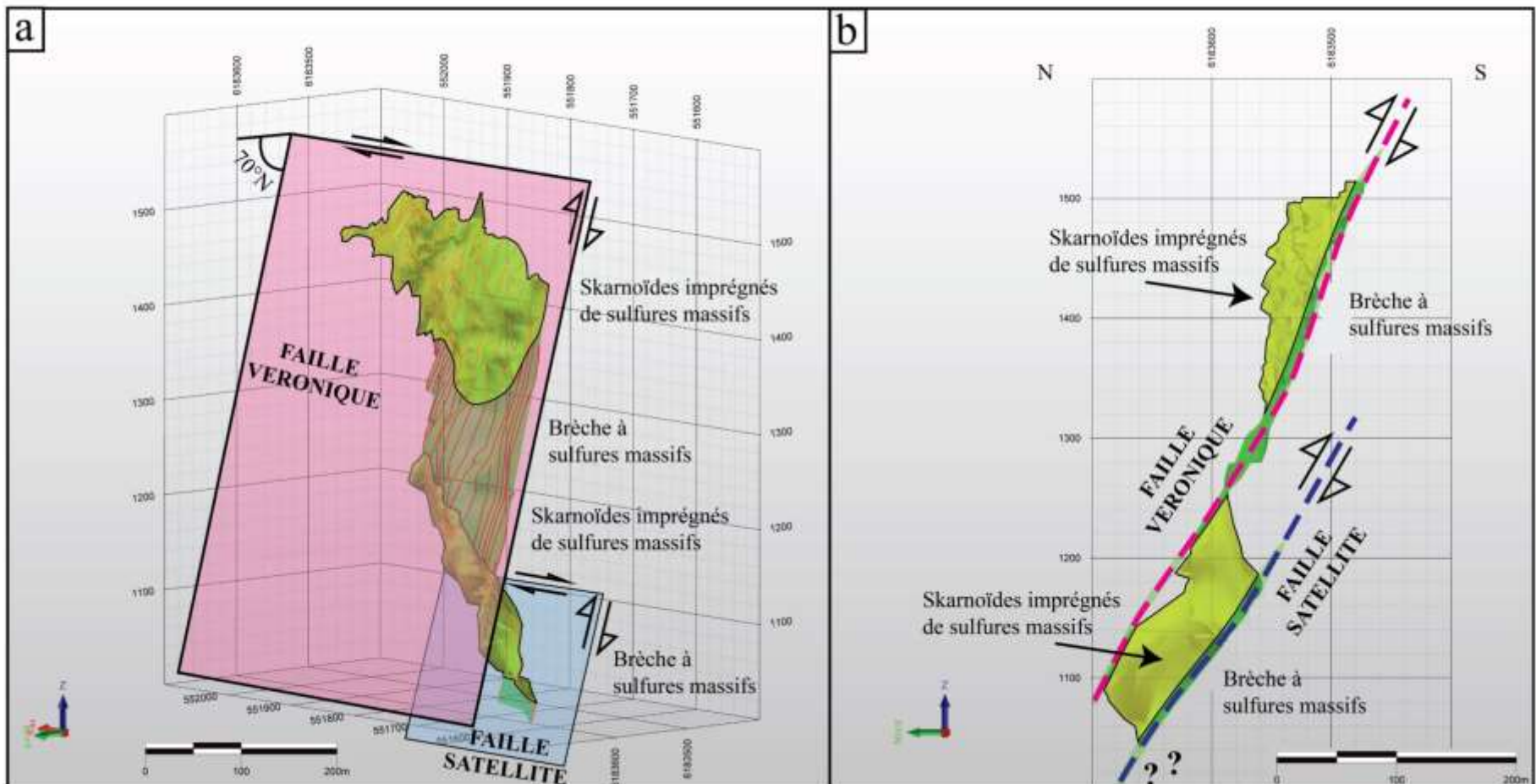
Modélisation des corps minéralisés

- 5 corps minéralisés modélisés : Bois d'Anglade, Quer de l'Aigle, Véronique, Zone V, Zone VI



Modélisation 3D

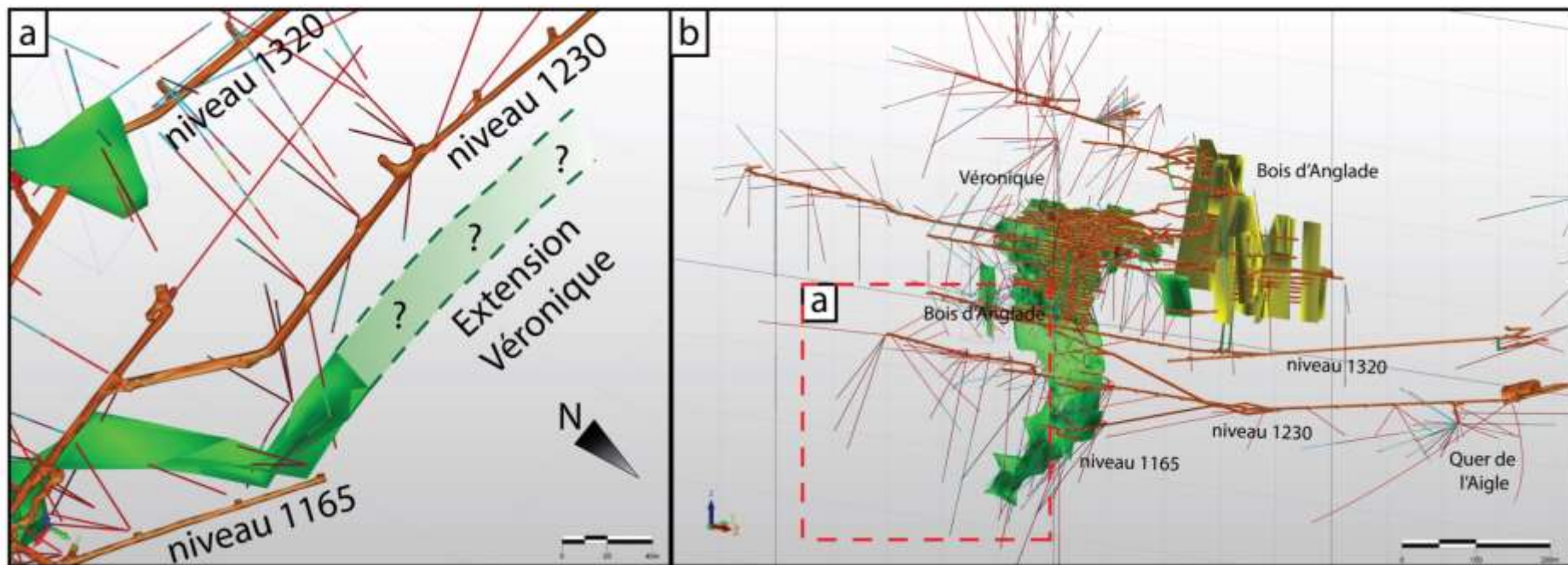
- A l'échelle du quartier Véronique, un jeu inverse dextre d'environ 200 à 250 m et présence d'une faille satellite (même cinématique que Véronique)
- Les minéralisations doivent être recherchées **en aval vers l'ouest**



Modélisation 3D

Modélisation de l'extension de Véronique

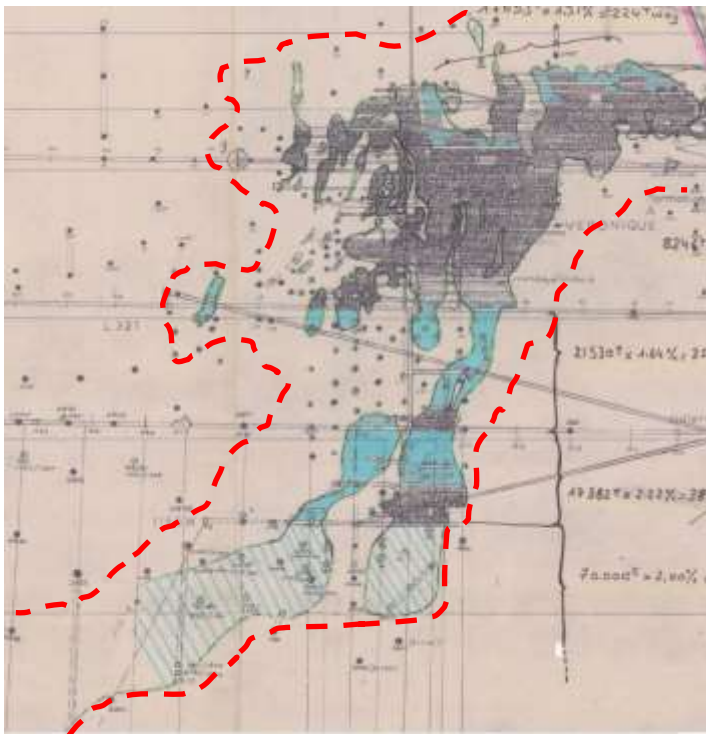
- **Aval pendage de la faille manqué** (sondages réalisés vers le sud)
- L'extension de Véronique est à rechercher vers le NW



Modélisation 3D

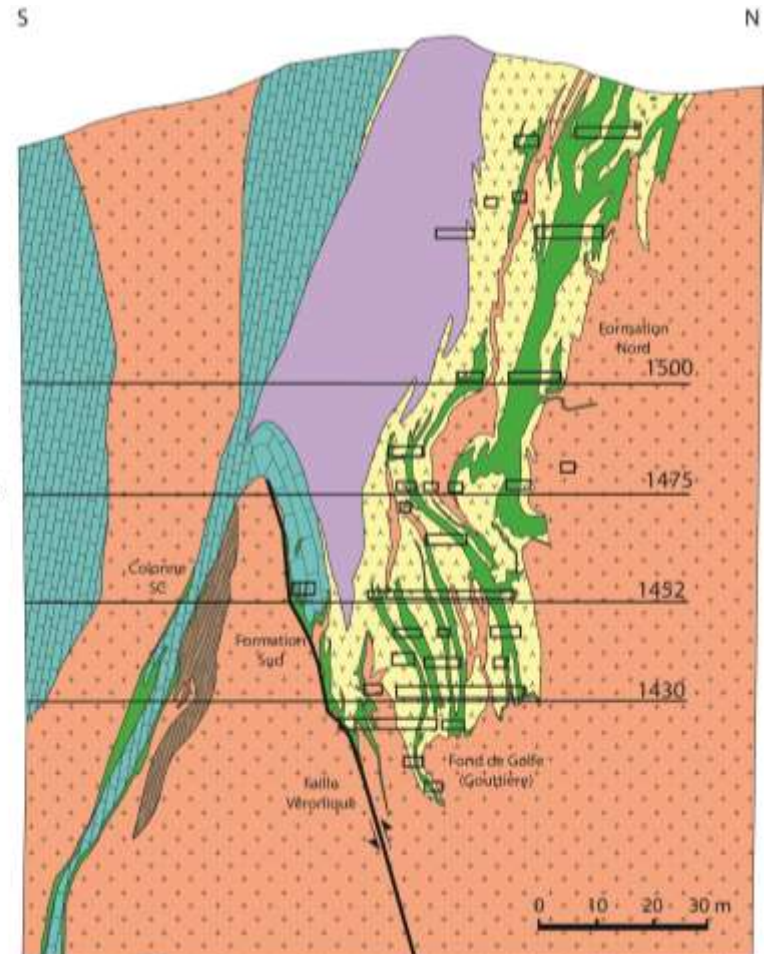
Ressources

- **25 000 t WO₃** nécessaires pour envisager une nouvelle exploitation
- Réserves historiques ≈ **2 860 t WO₃** → **cut off de 0,8 % WO₃** et puissance minéralisée > **1,8 m**
- **Calcul réactualisé en cours (cut off 0,3 % WO₃)**



Légende

- Marbre inférieur graphiteux
- Cornéennes calciques
- Skarnoides (skarn « pauvre »)
- Skarn à pyrrhotite massive (skarn « riche »)
- Cornéennes silico - alumineuses
- Granodiorite
- Faille Veronique
- Galeries principales



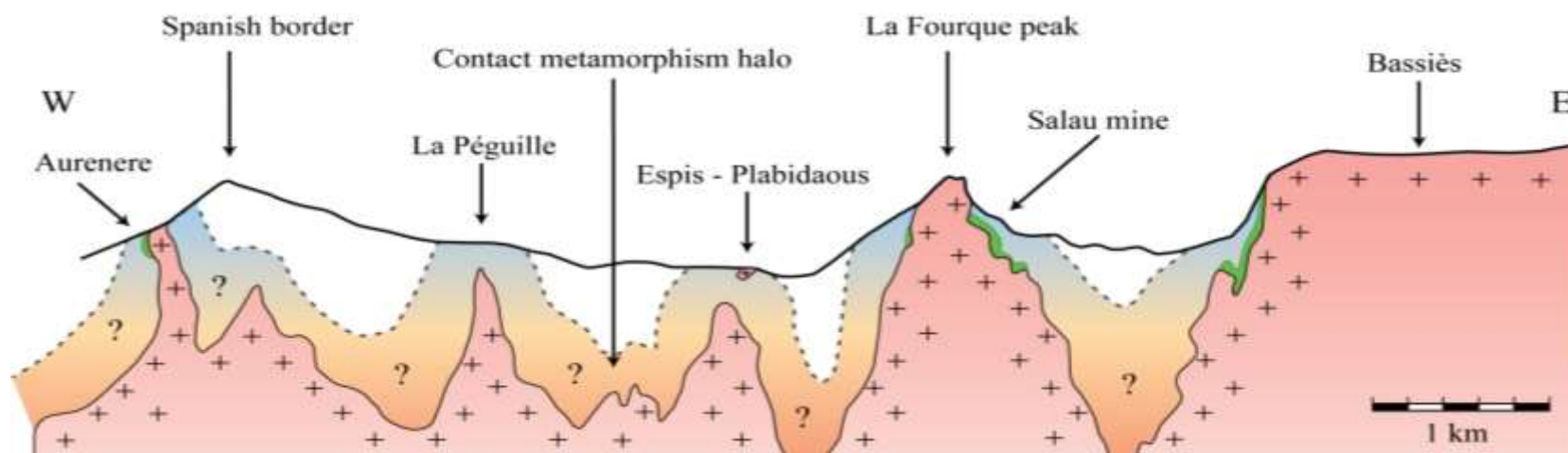
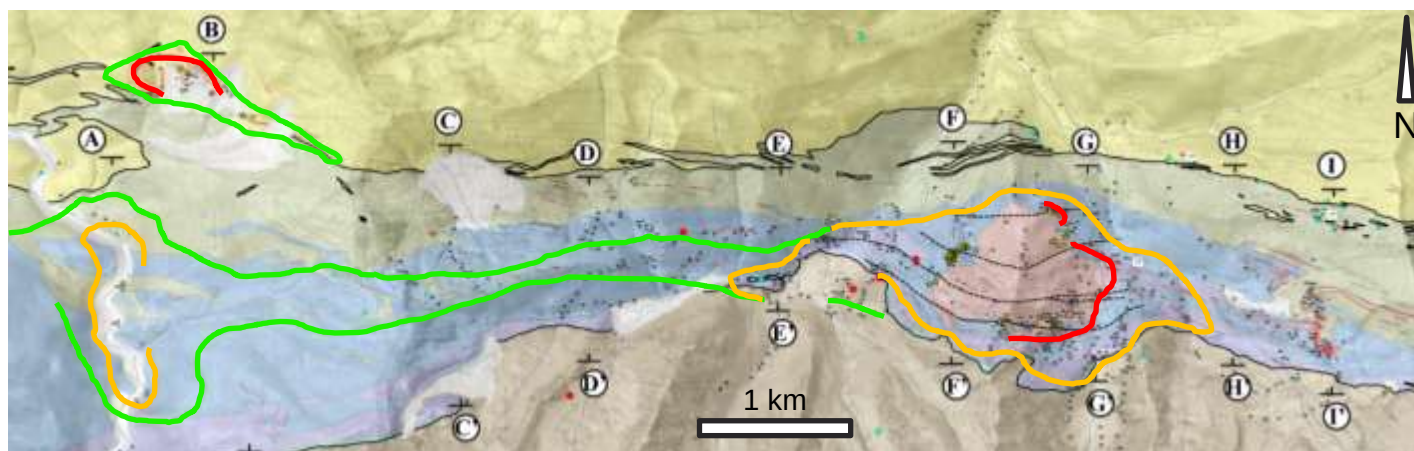


*La méthode RSCM en tant qu'outil
thermométrique pour l'exploration minière*



Hypothèse de départ

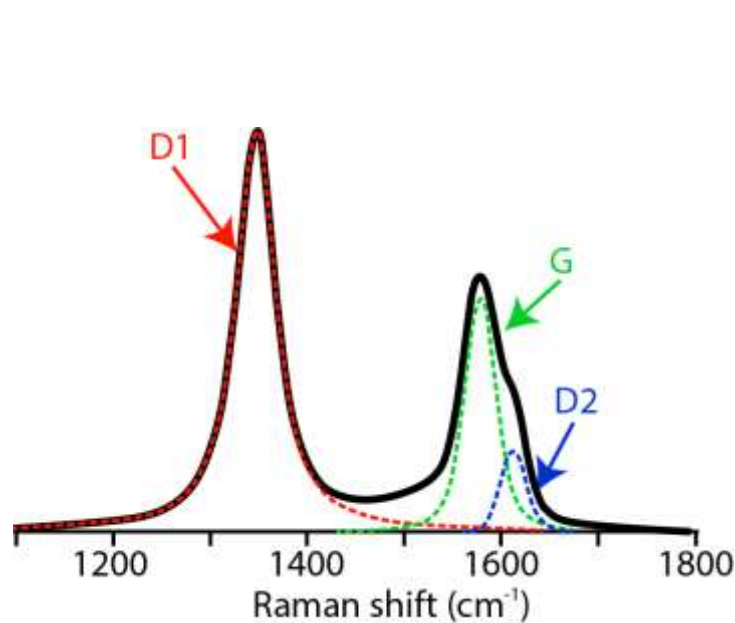
- **Géométrie** des corps magmatiques entre Salau et Aurenère ?



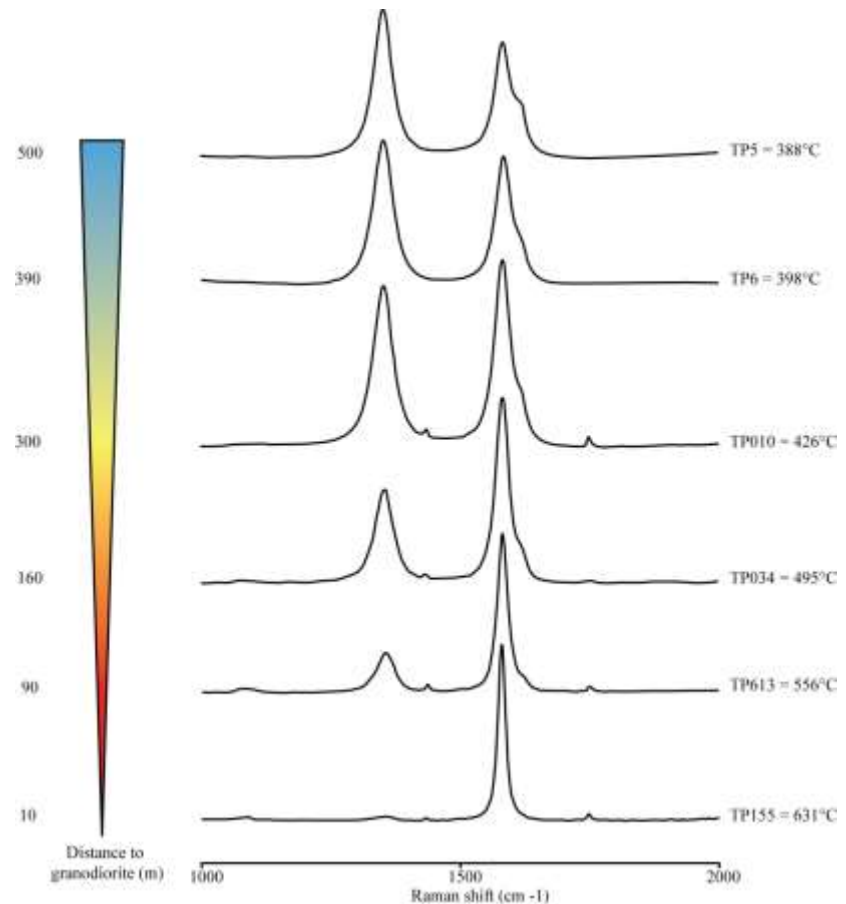
modifié d'après Michard & Bouquet, 1986

Estimation des Tmax

- Raman Spectra of Carbonaceous Matter (RSCM) → Tmax subie par une roche (irréversible)
- Estimation de Tmax basée sur **un rapport d'intégrales** entre différents pics
- **140 échantillons** avec une gamme de températures : **393 – 665°C** (calibration [Aoya et al., 2010](#))

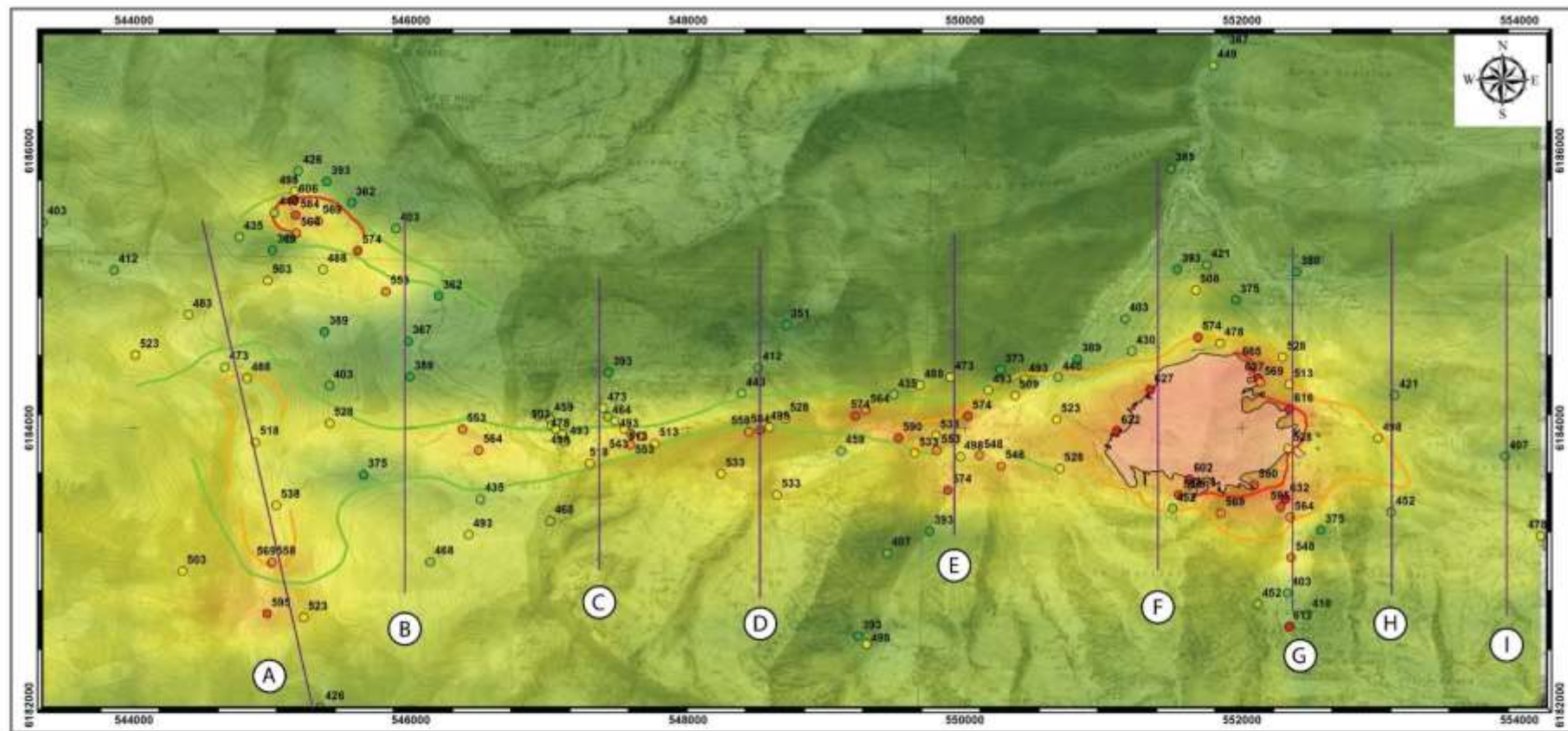


d'après Aoya et al., 2010



Carte de paléotempératures

Variographie et krigeage ordinaire



RSCM temperature (°C)

- < 400
- 400 - 430
- 430 - 470
- 470 - 500
- 500 - 540
- 540 - 570
- 570 - 600
- 600 - 665

Metamorphism isograds

- Biotite
- Biotite, tremolite, albite
- Diopside, idocrase, garnet, epidote

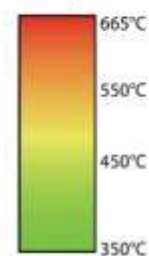
Lithology

- Salau granodiorite

Cross sections (fig. 6)

- N-S traces

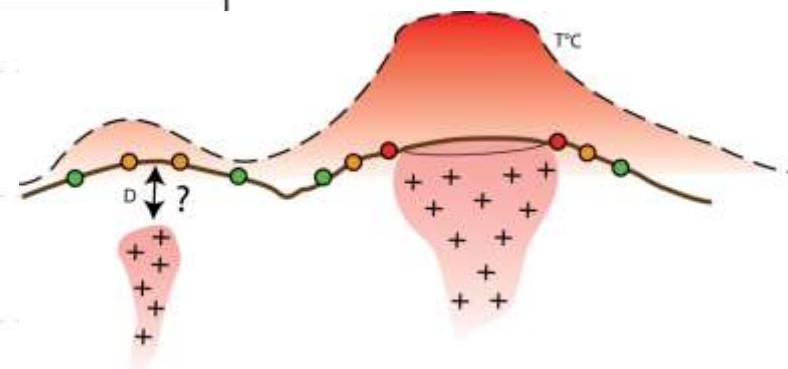
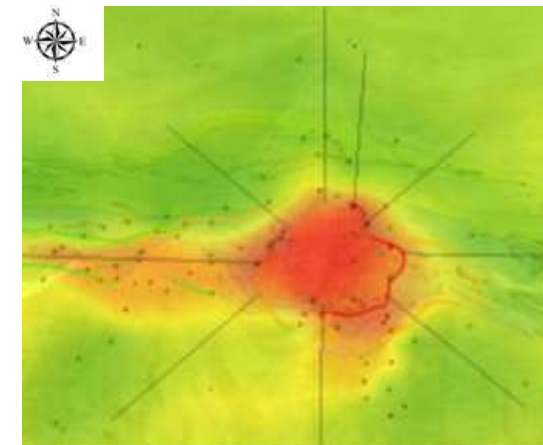
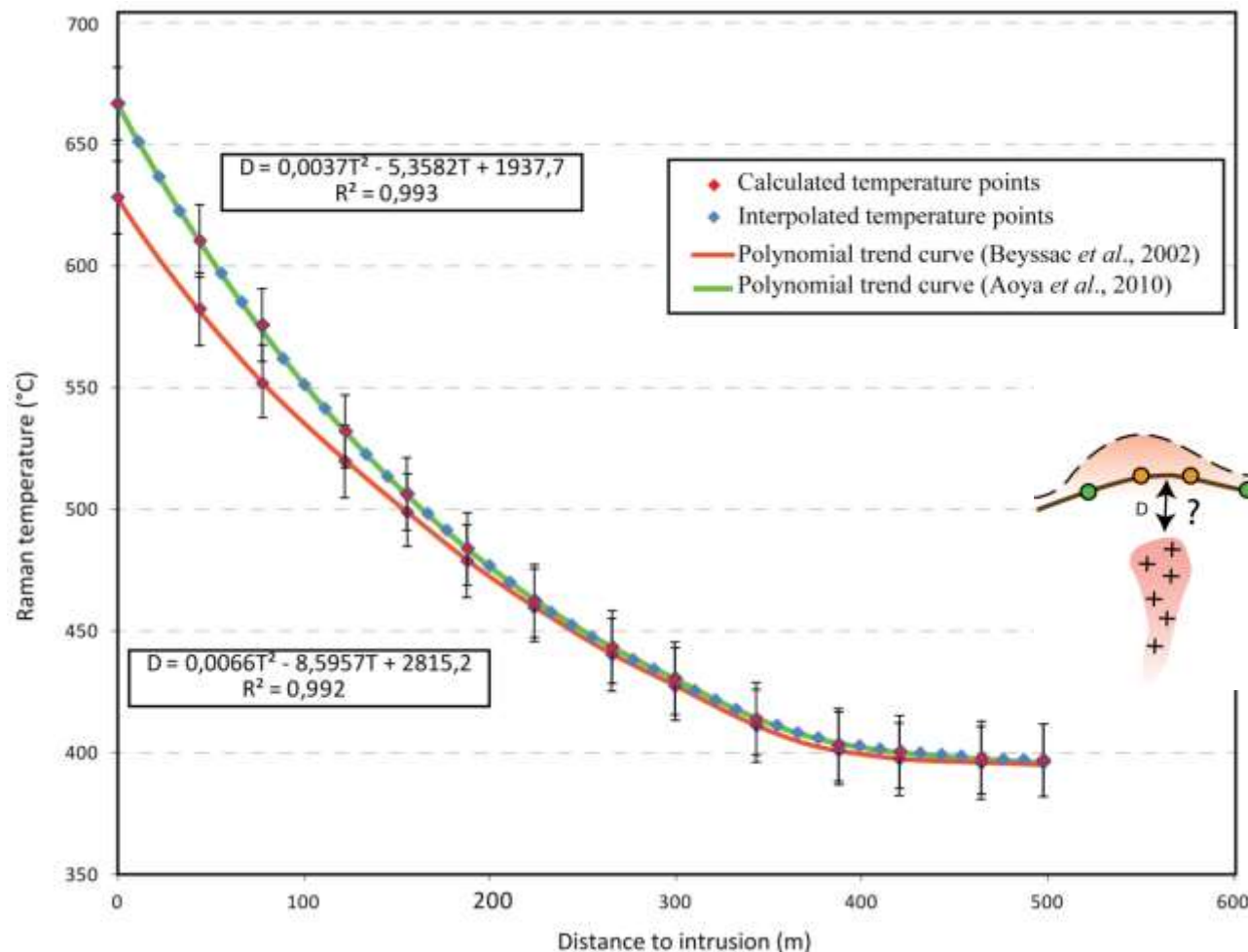
Interpolated raman temperature



Coordinate system : Lambert 93
Units : Meters

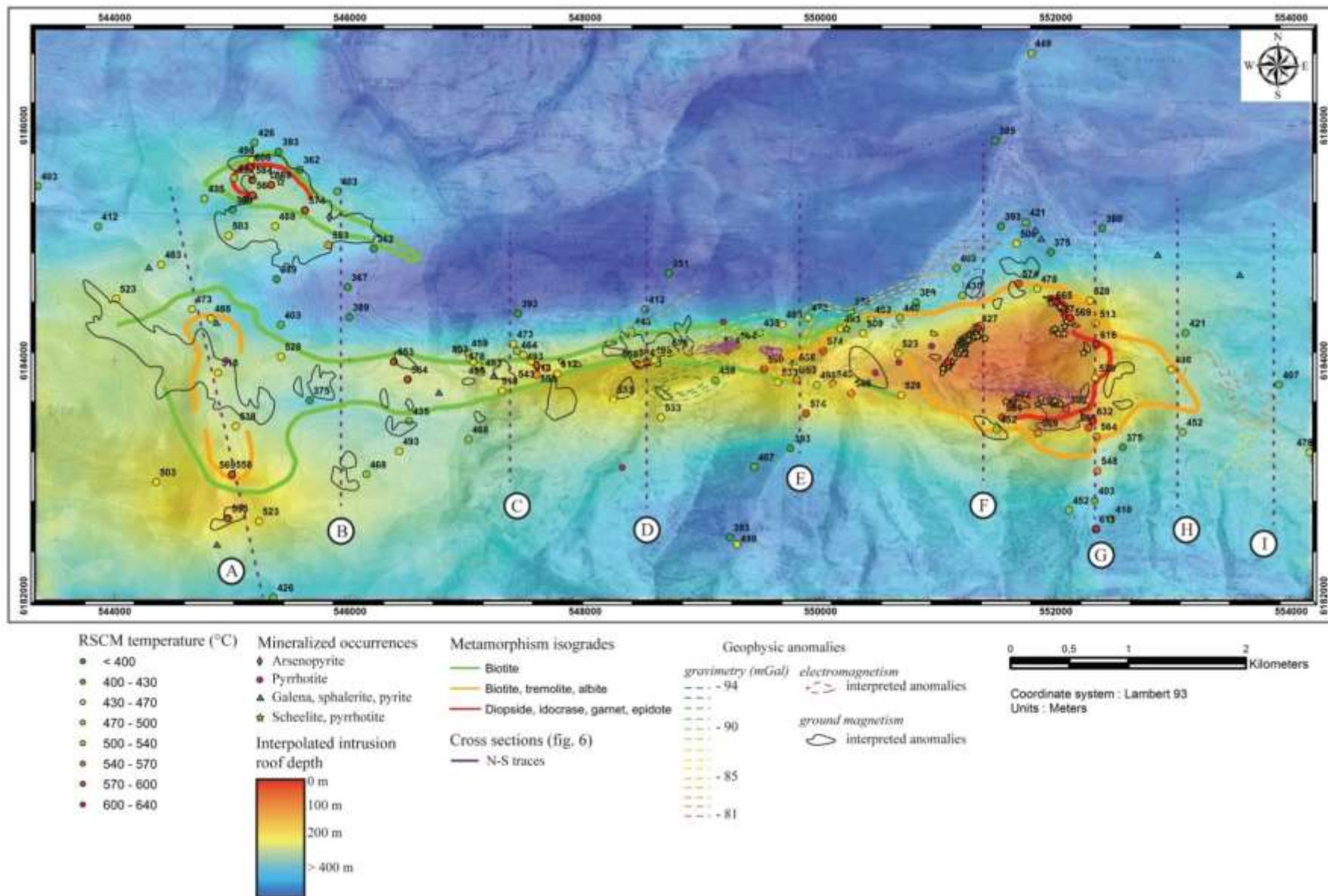
Température vs « distance à l'intrusion »

- Approximation par une équation polynomiale ($R^2 = 0,99$)
- Cohérent avec les résultats par modélisation numérique (Comsol)



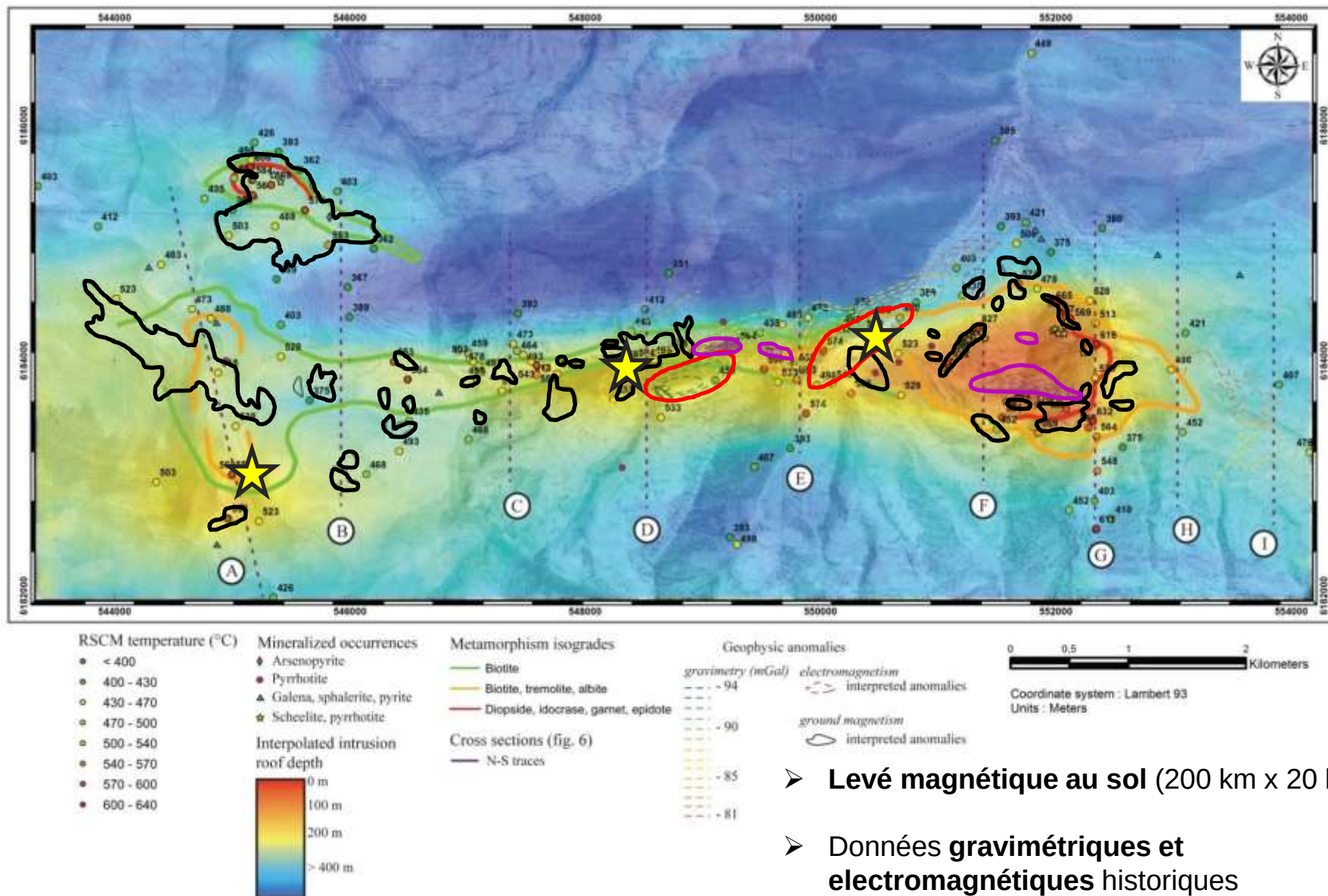
Carte de « distance à l'intrusion »

Coll. R. Augier

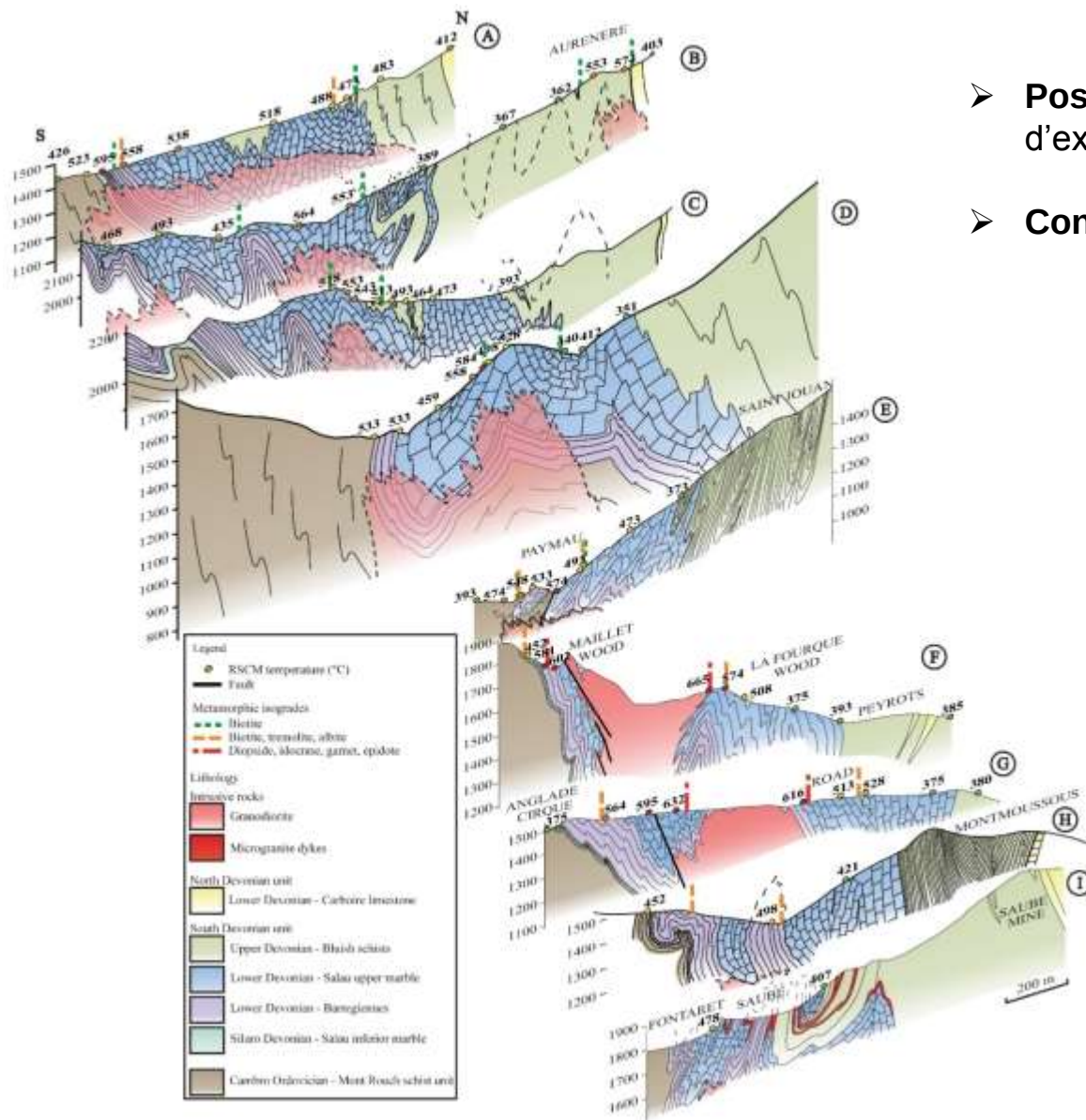
 Institut des Sciences de la Terre d'Orléans
ISTO


Carte de « distance à l'intrusion »

Corrélation / validation avec les données géophysiques



Coupes sérieées de « distance à l'intrusion »



- **Positionnement direct** des travaux d'exploration (sondages, tranchées...)
- **Contrôle des résultats** dès que possible



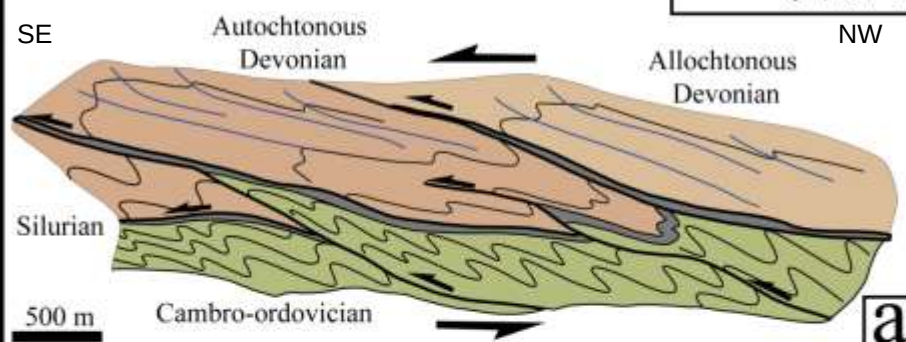
Synthèse

Modèle génétique

À l'échelle du gisement de Salau

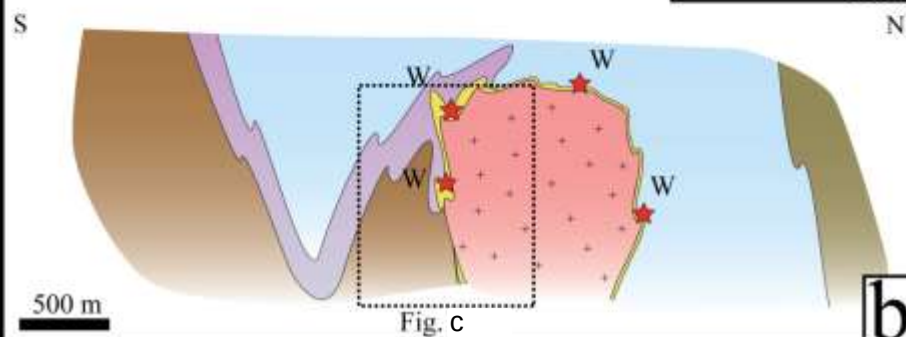
D1 320 Ma

Plis couchés P1 N30°E
Chevauchements E-W top SE



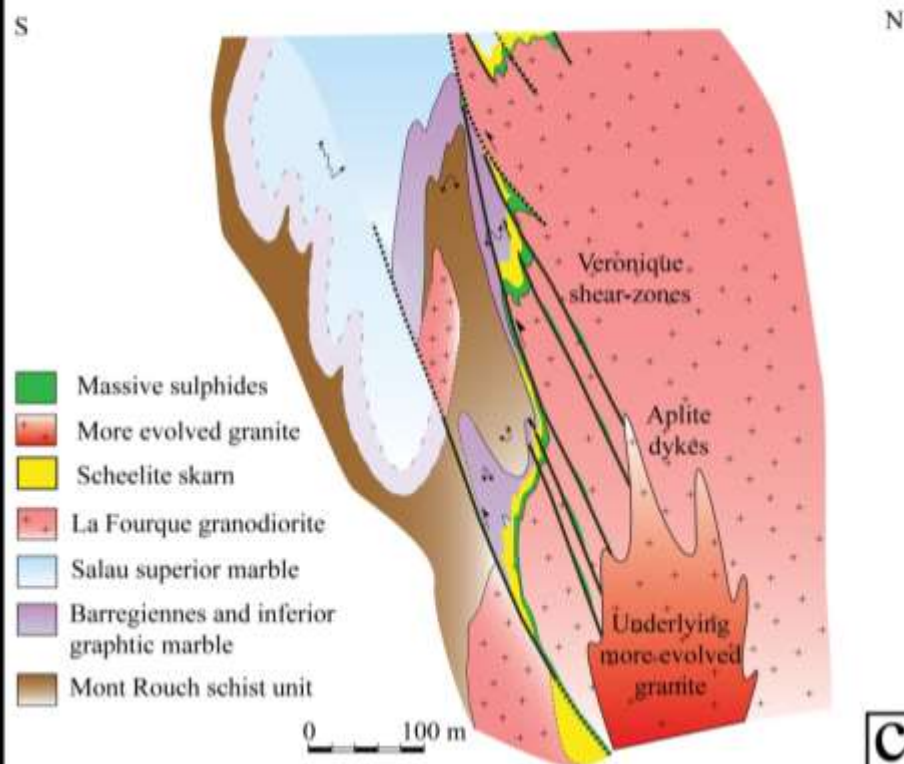
D2 295 Ma

Plis sub-verticaux P2 N110°E
Intrusion granodioritique
Formation des skarns



D3 289 Ma

Failles inverses dextres E-W 70°N
Intrusion évoluée (aplite)
**Formation des brèches à sulfures massifs
scheelite abondante et or**

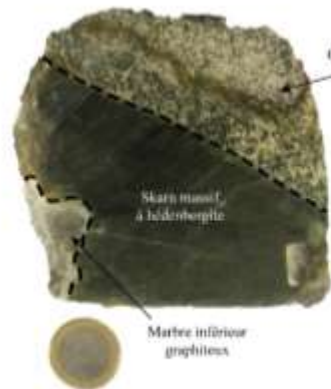
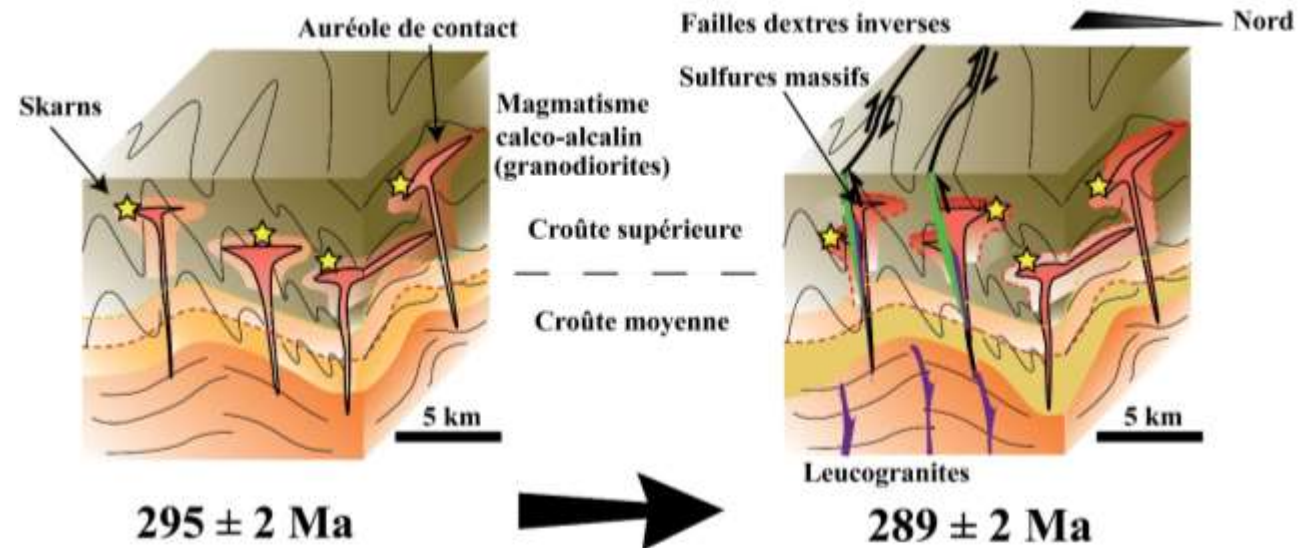


Modèle génétique

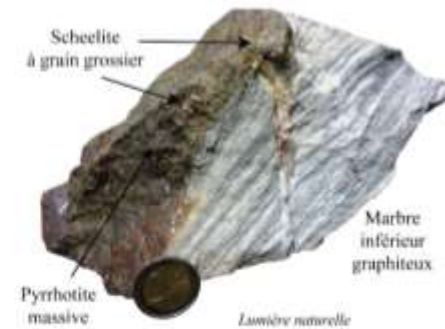
À l'échelle de la zone axiale

- Evolution de la différenciation d'un même système magmatique depuis des termes intermédiaires (**granodiorite**) jusqu'à des termes évolués (**aprites**)

- **Relation spatiale étroite** entre ces différentes intrusions

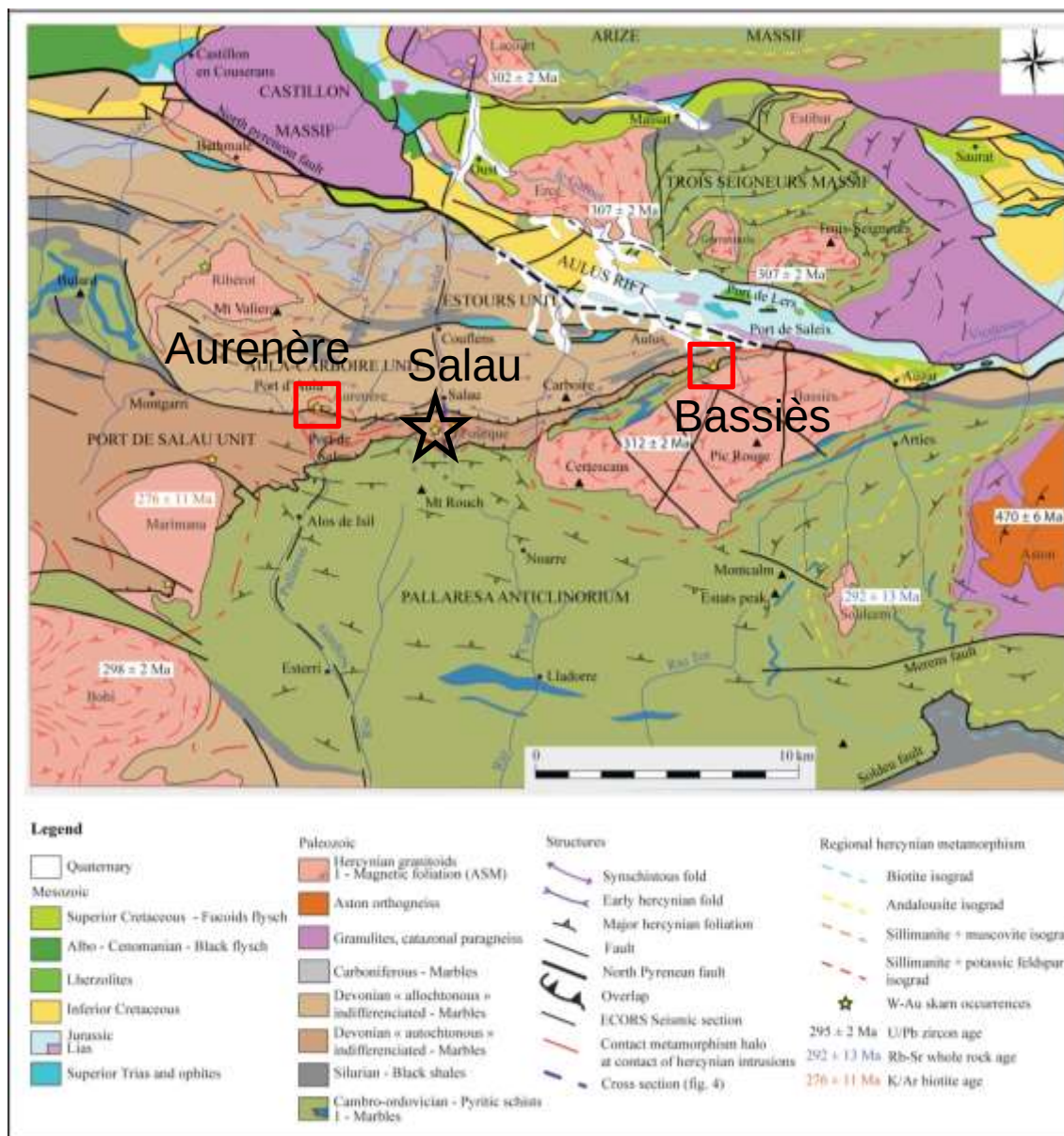


Skarn à silicates calcaïques, scheelite fine et sulfures disséminés



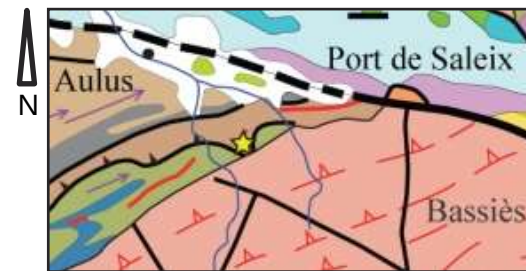
Sulfures massifs, scheelite grossière et or

Validité à l'échelle régionale ?

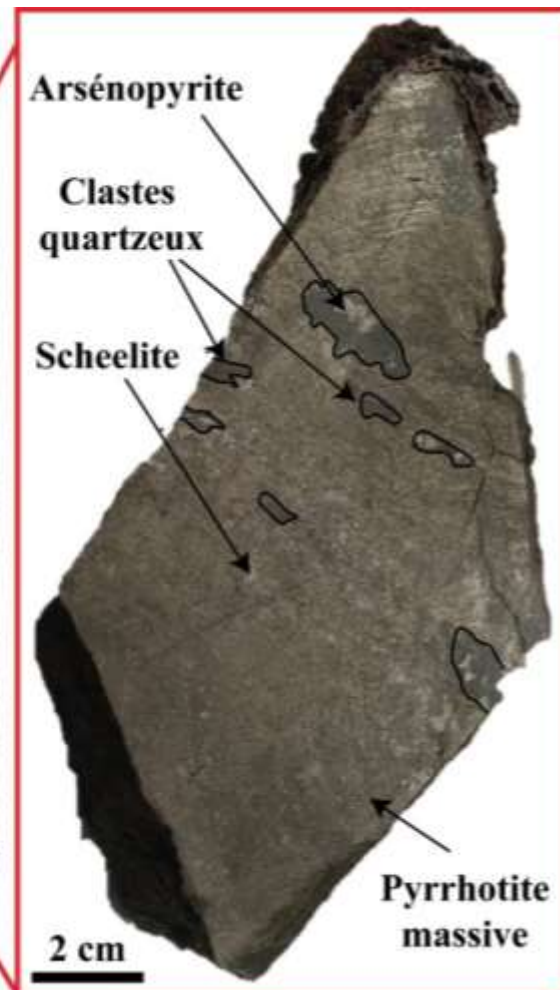
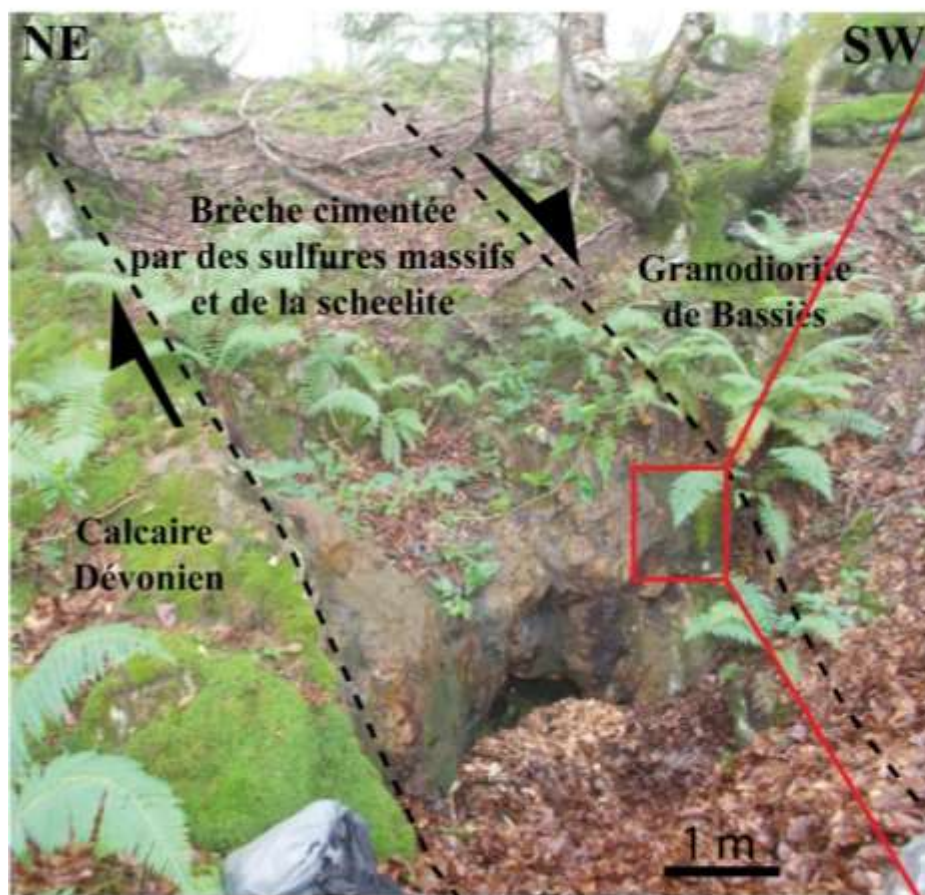


Bassiès

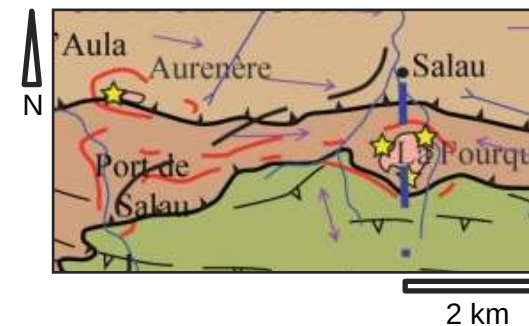
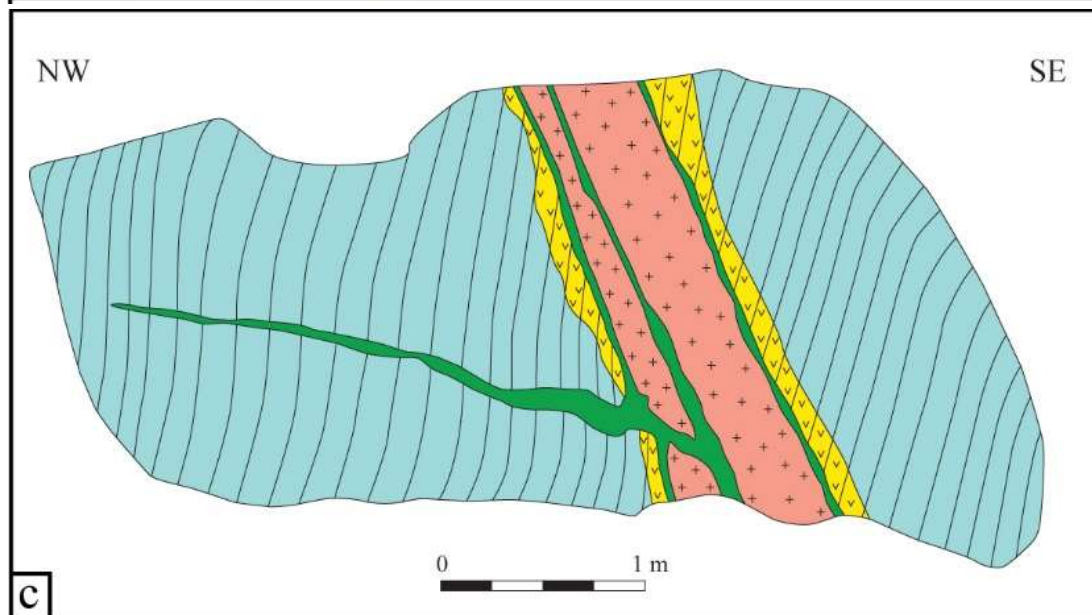
- **Faïlle** régionale N80°E 80°N au contact granodiorite – marbres dévoniens
- **Brèche** à sulfures massifs (1,2 % WO_3 – 3 g/t or)



2 km



Aurenère

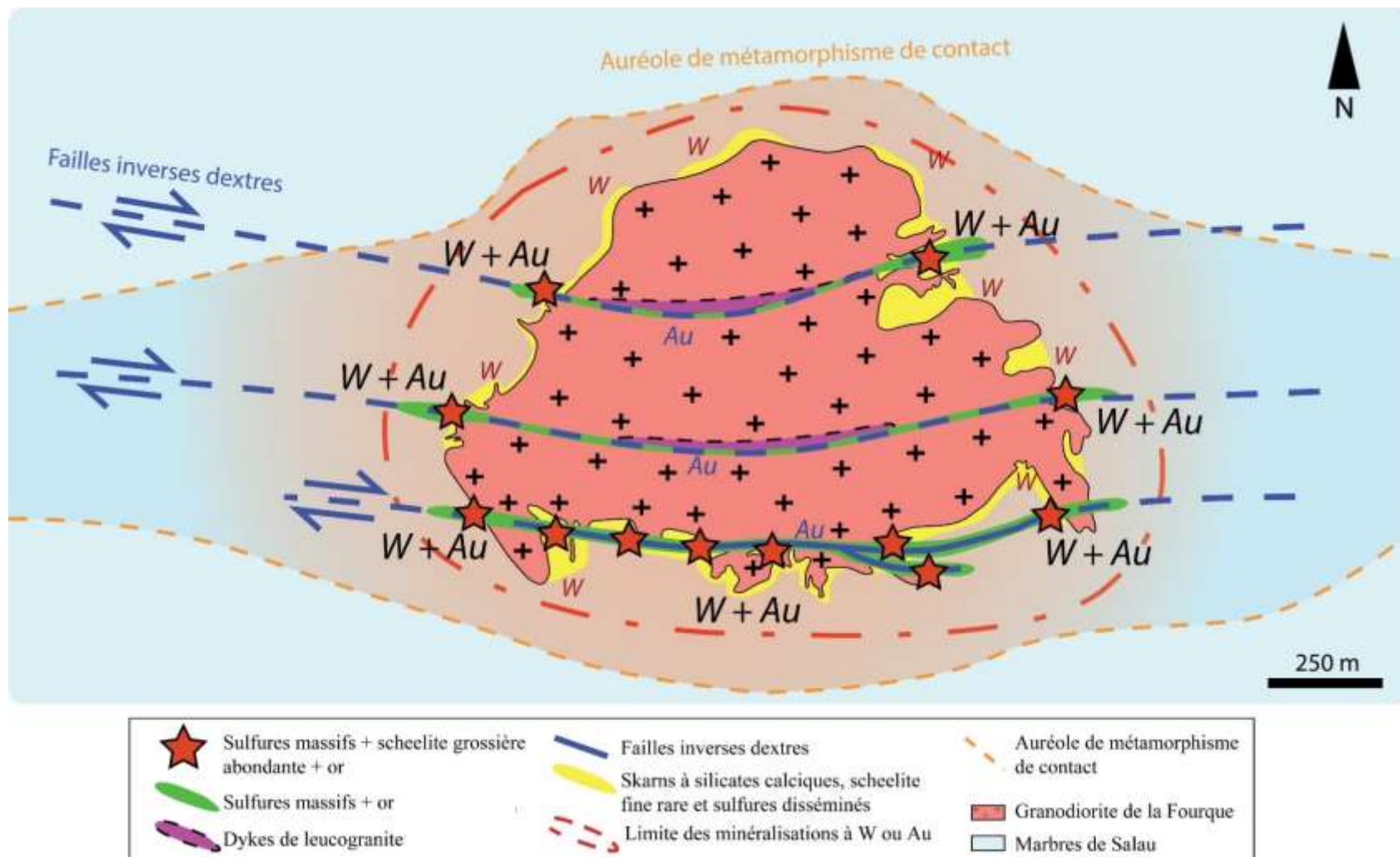


- **Skarn** à silicates calciques et scheelite fine **bréchifié** et **cimenté** par des **sulfures massifs**
- 70 échantillons ; moyenne de :
 - **0,8 % WO_3**
 - **7 g/t or**

Modèle génétique

Synthèse

- Triple contrôle : failles régionales - intrusion - encaissant





Merci de votre attention

