



# **Formation des gisements d'or et circulation des fluides dans le segment pyrénéen de la croûte varisque : cas appliqué du massif du Canigou**

**Gaétan Link**

**Encadrants : Olivier Vanderhaeghe (UPS), Laurent Guillou-Frottier (BRGM), Didier Béziat (UPS)**

**Journée du RGF**

**5 avril 2018**

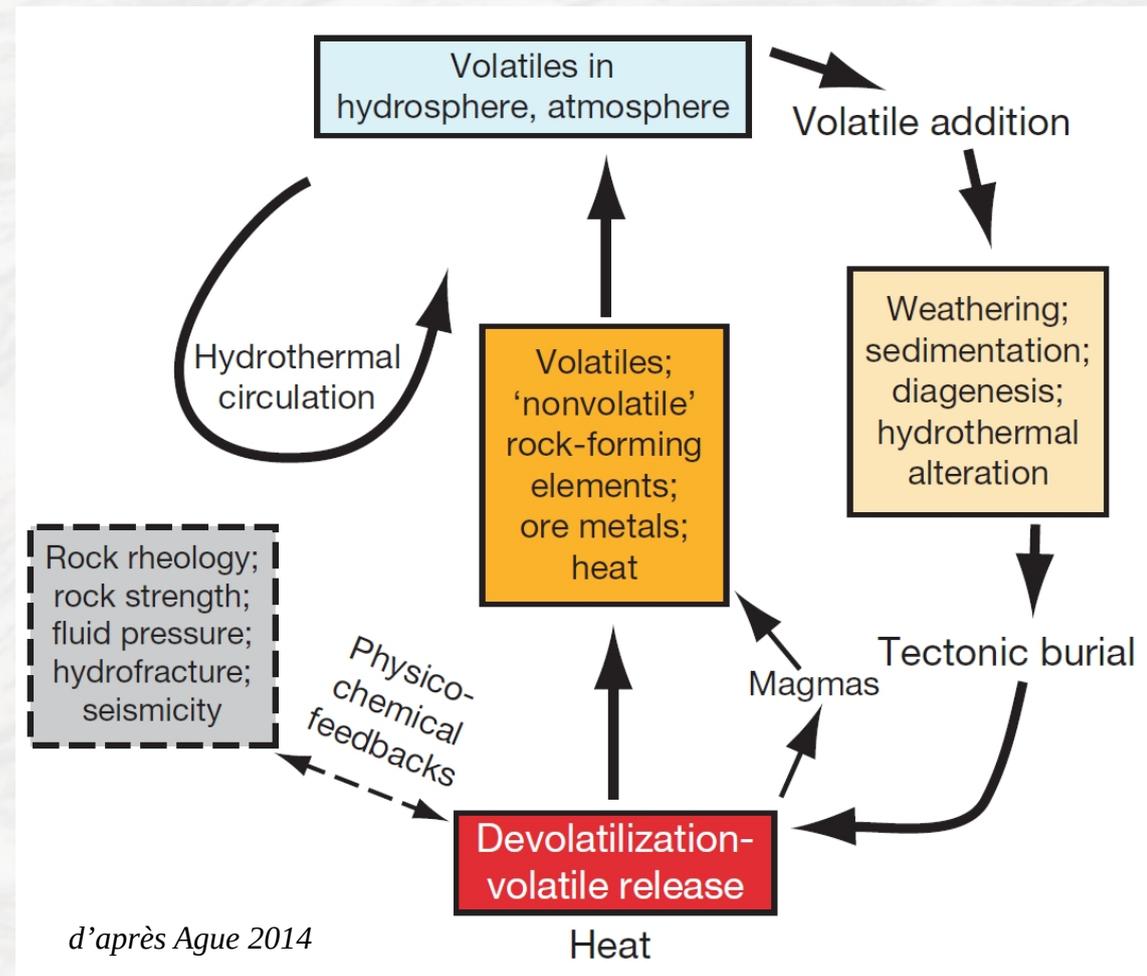
# Introduction

## Circulation des fluides et évolution de la croûte

Circulation des fluides contrôlée par les paramètres thermodynamiques et mécaniques (pression, température, perméabilité...).

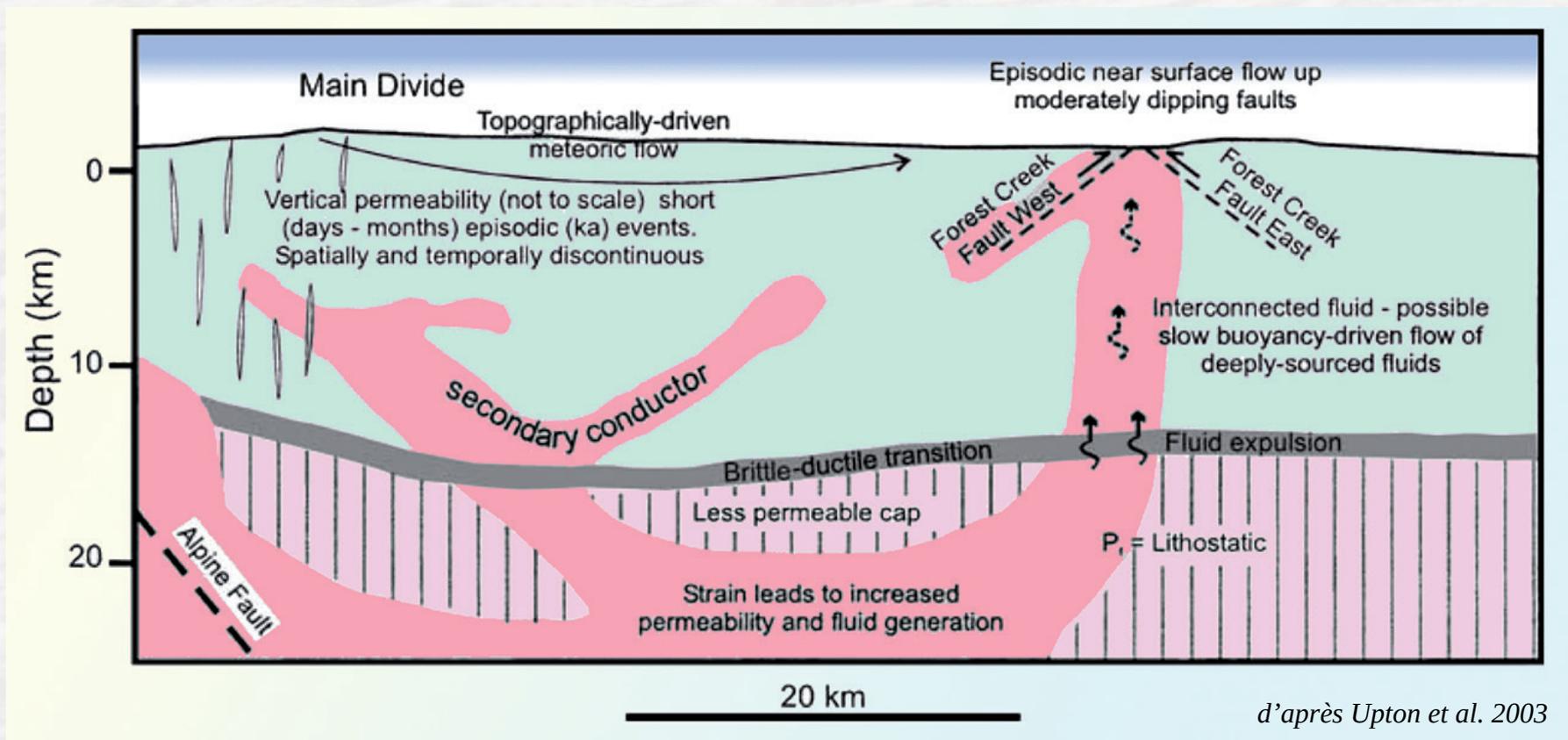
Réouverture de systèmes thermodynamiques → modification des paramètres de la croûte et réponse par transformations minéralogiques, déformation...

Libération et concentration d'éléments métalliques dans les fluides crustaux ascendants.



# Introduction

## Circulation des fluides et évolution de la croûte

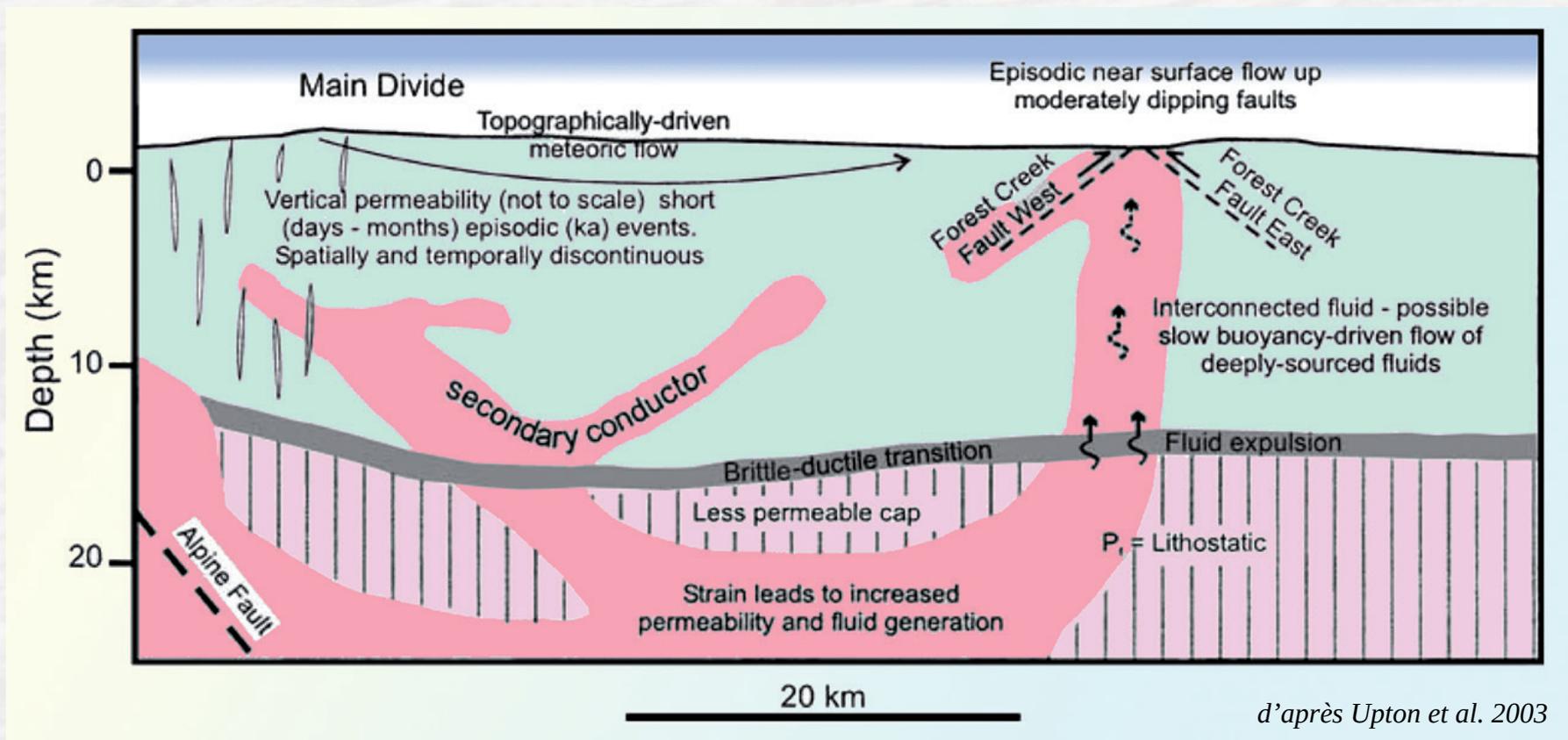


Transition fragile-ductile (ZTFD) considérée comme barrière hydrostatique empêchant transferts de fluides entre croûte supérieure et croûte inférieure → stockage de fluides et de métaux dans la croûte inférieure sous la ZTFD

Remontée de ces fluides à la faveur d'accidents tectoniques d'échelle crustale (hausse de perméabilité), souvent en contexte d'orogénèse.

# Introduction

## Circulation des fluides et évolution de la croûte



Transition fragile-ductile (ZTFD) considérée comme barrière hydrostatique empêchant transferts de fluides entre croûte supérieure et croûte inférieure → stockage de fluides et de métaux dans la croûte inférieure sous la ZTFD

Remontée de ces fluides à la faveur d'accidents tectoniques d'échelle crustale (hausse de perméabilité), souvent en contexte d'orogénèse.

**Comment retracer ces anciennes circulations de fluides ?**

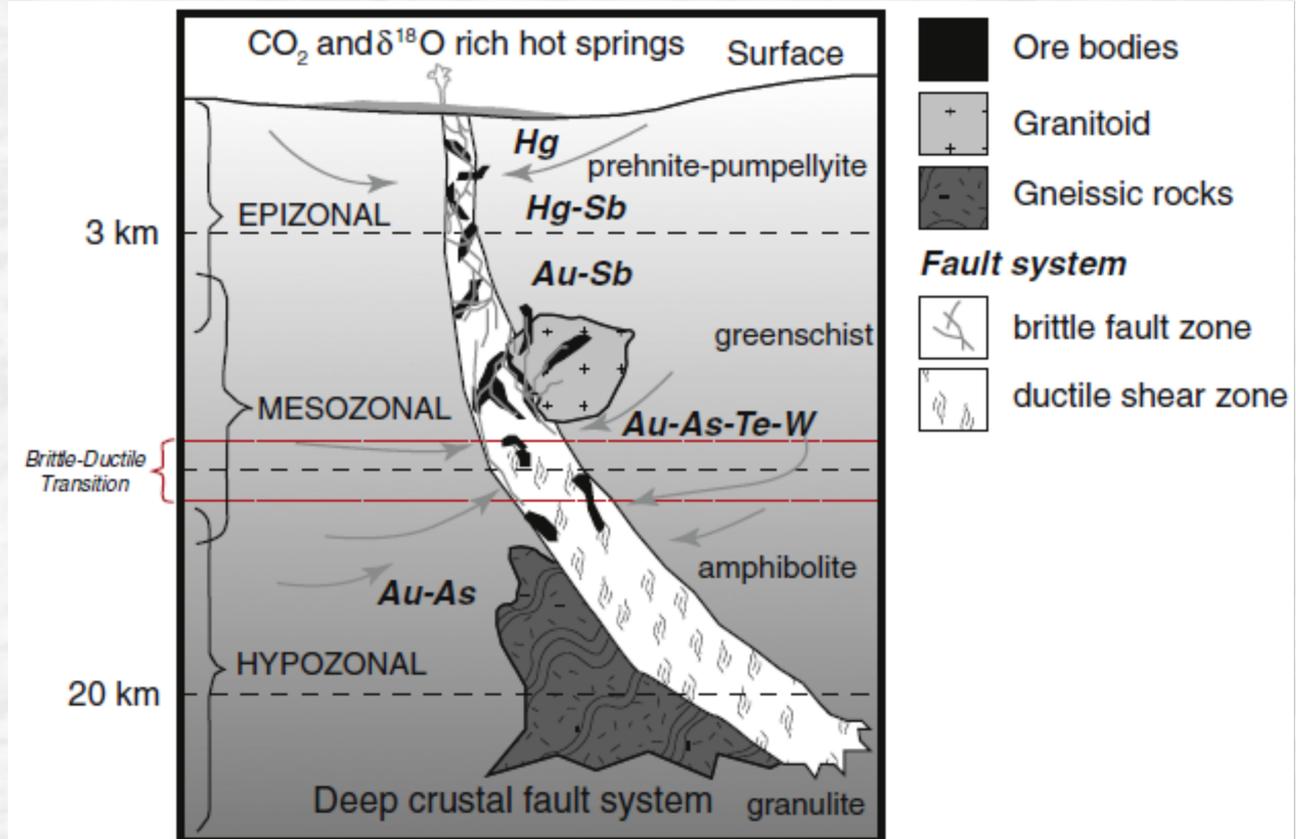
**Quelle est leur influence sur l'évolution crustale ?**

# Introduction

## Métallogénie de l'or

Or : élément hautement sidérophile, très difficilement mobilisable par les processus géologiques

Remobilisation de l'or sous des conditions thermiques importantes (métamorphisme HT, magmatisme...) via des fluides ascendants de la croûte inférieure vers la croûte moyenne



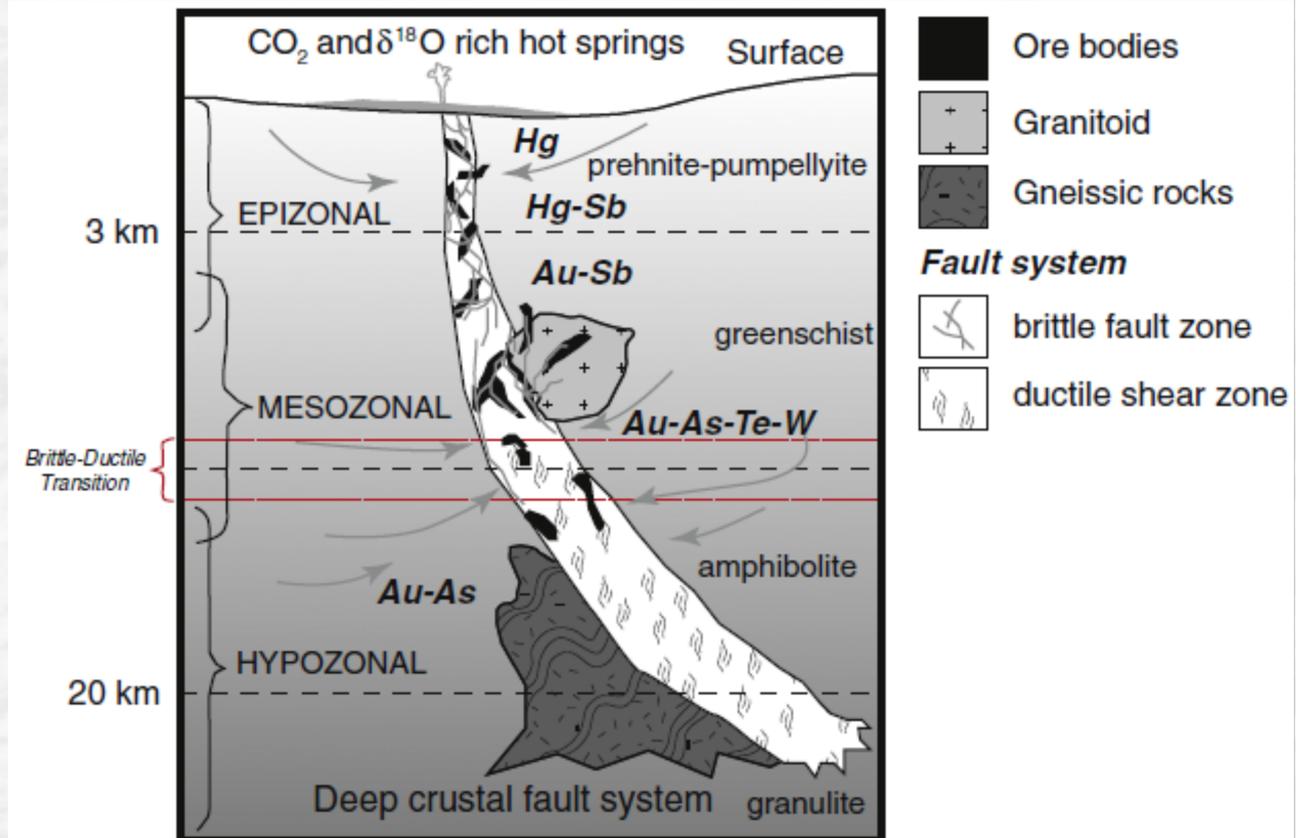
d'après Goldfarb & Groves 2015

# Introduction

## Métallogénie de l'or

Or : élément hautement sidérophile, très difficilement mobilisable par les processus géologiques

Remobilisation de l'or sous des conditions thermiques importantes (métamorphisme HT, magmatisme...) via des fluides ascendants de la croûte inférieure vers la croûte moyenne

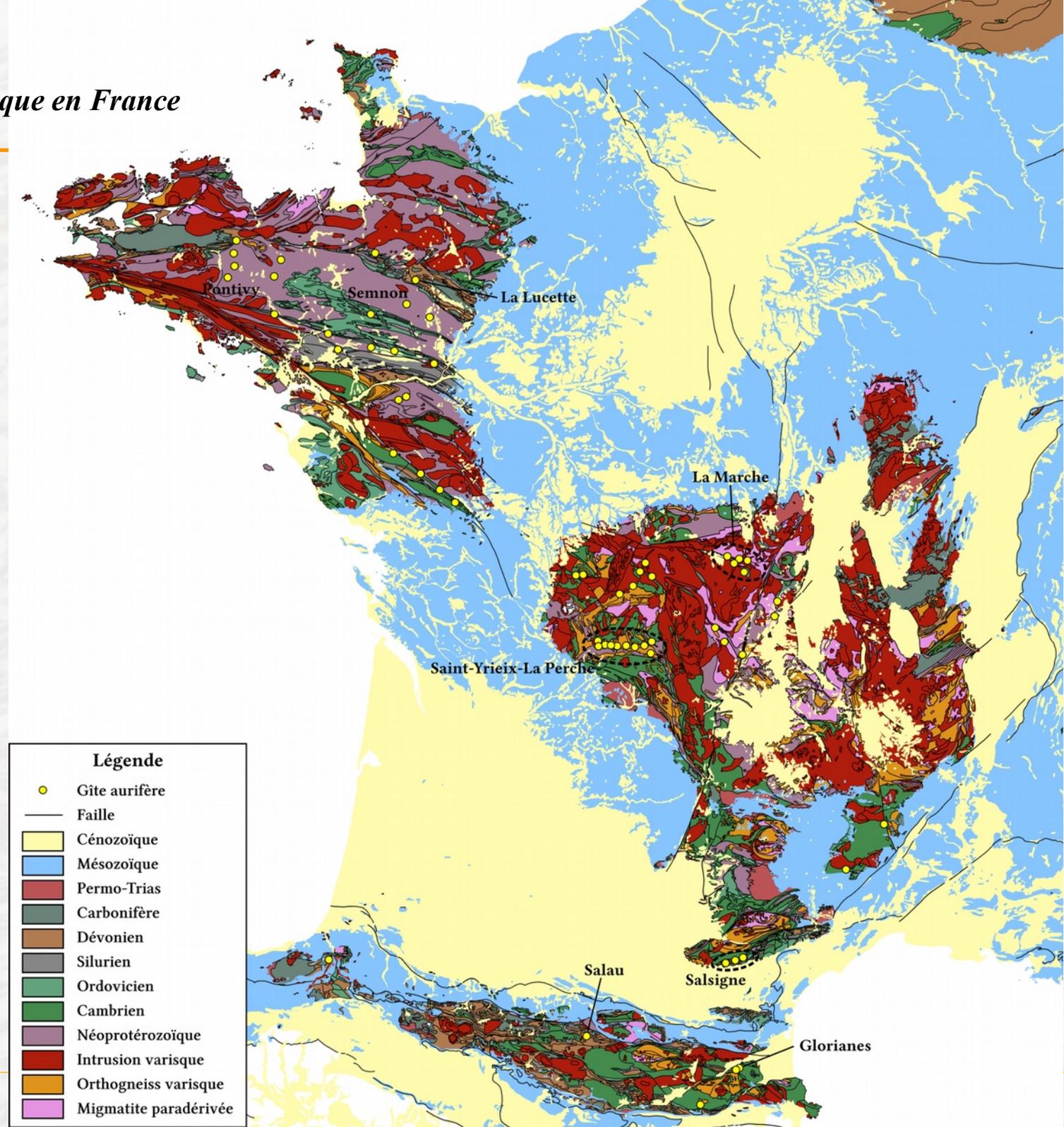


d'après Goldfarb & Groves 2015

**L'or peut-il être un proxy d'anciennes circulations de fluides crustaux ?**

# Introduction

## *L'or dans la chaîne Varisque en France*



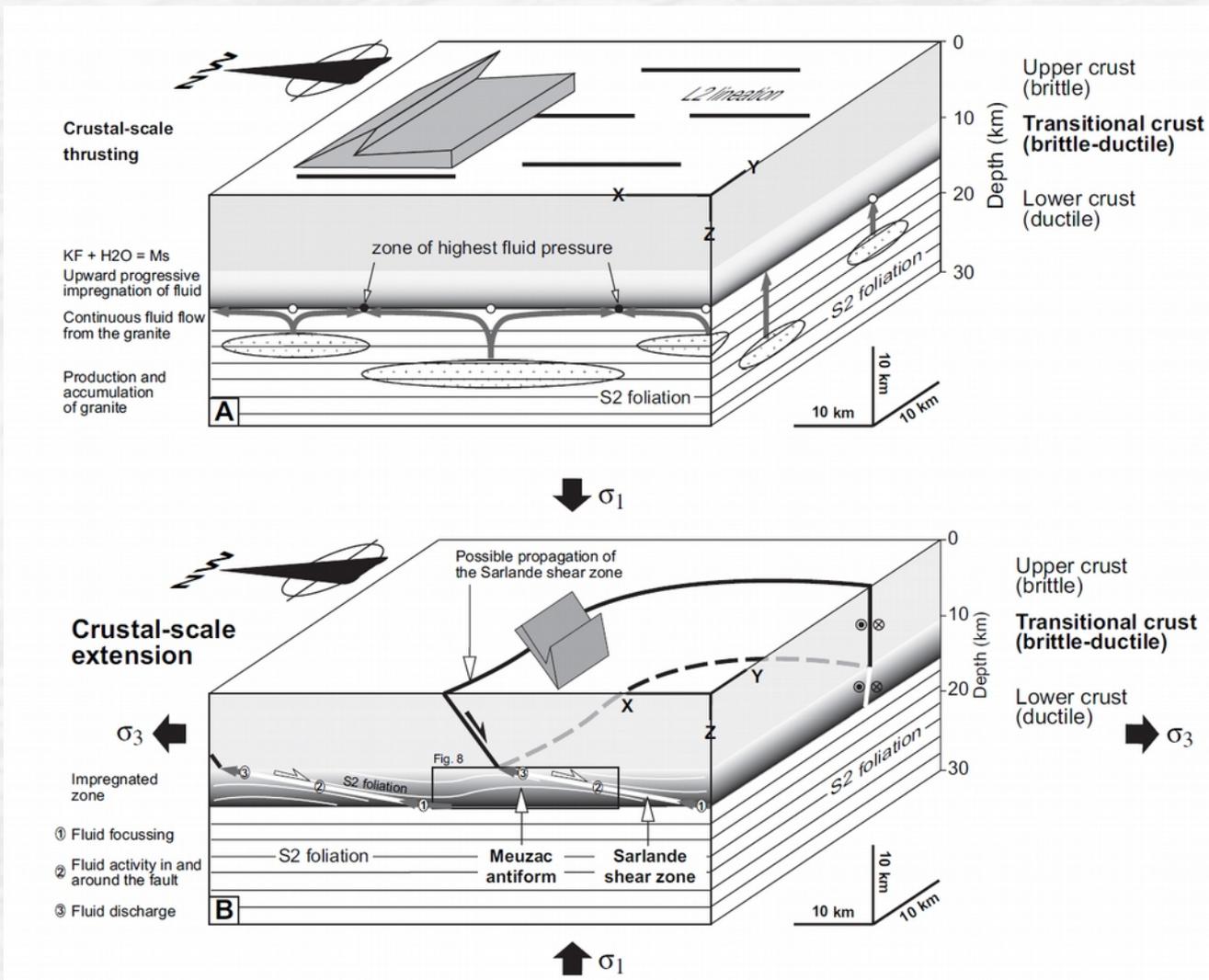
# Introduction

## L'or du massif central

Accumulation de fluides dans la ZTFD provenant de l'exsolution de granites profonds → lessivage des encaissants.

Remontée des fluides au cours de l'extension tardi-orogénique → formation d'une zone de cisaillement avec drainage massif de fluides crustaux chargés en métaux.

Formation de gisements aurifères le long de la ZTFD.



d'après Bellot 2007

**Minéralisations en or marquent l'extension tardi-orogénique varisque (310-300 Ma)**

# ***Introduction***

## ***Pourquoi l'or dans les Pyrénées ?***

---

Présence de nombreux placers aurifères le long des principaux cours d'eau pyrénéens, mais peu de gisements « primaires » reconnus.

Contexte géodynamique au tardi-varisque favorable à la circulation de fluides minéralisateurs aurifères (tectonique transpressive, métamorphisme HT-BP).

Circulation des fluides dans la croûte varisque mal contrainte.

---

# Contexte géologique

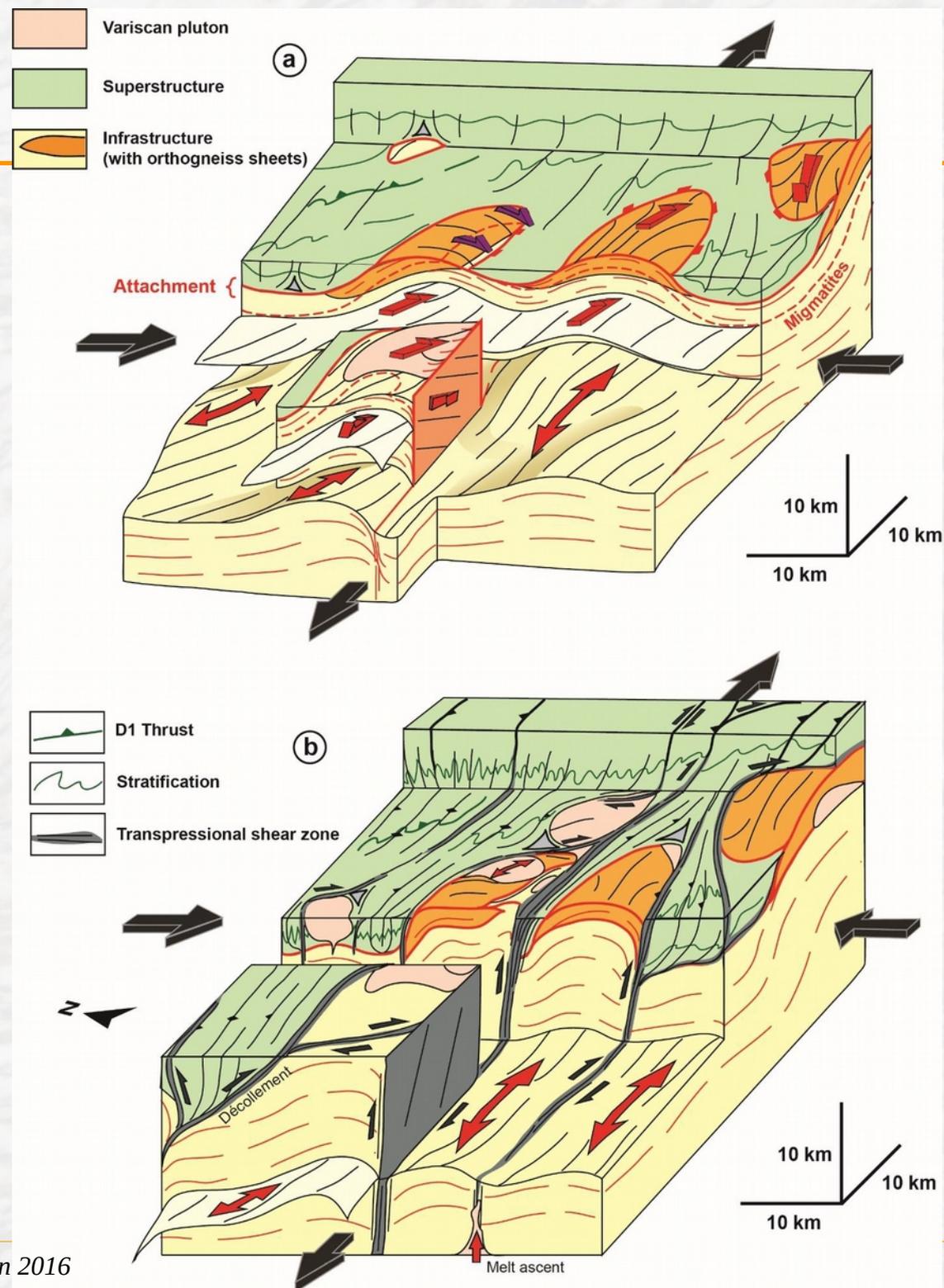
## Structuration de la croûte varisque

Infrastructure : croûte inférieure ductile

Suprastructure : croûte supérieure fragile

**Pas de zone de transition fragile-ductile entre les deux ! Mais présence d'une interface thermo-mécanique (« attachment zone »).**

Formation de dômes métamorphiques lors de la phase tardi-orogénique transpressive avec grands couloirs de cisaillement dextre-inverse crustaux.



# Contexte géologique

## Structuration de la croûte varisque

Infrastructure : croûte inférieure ductile

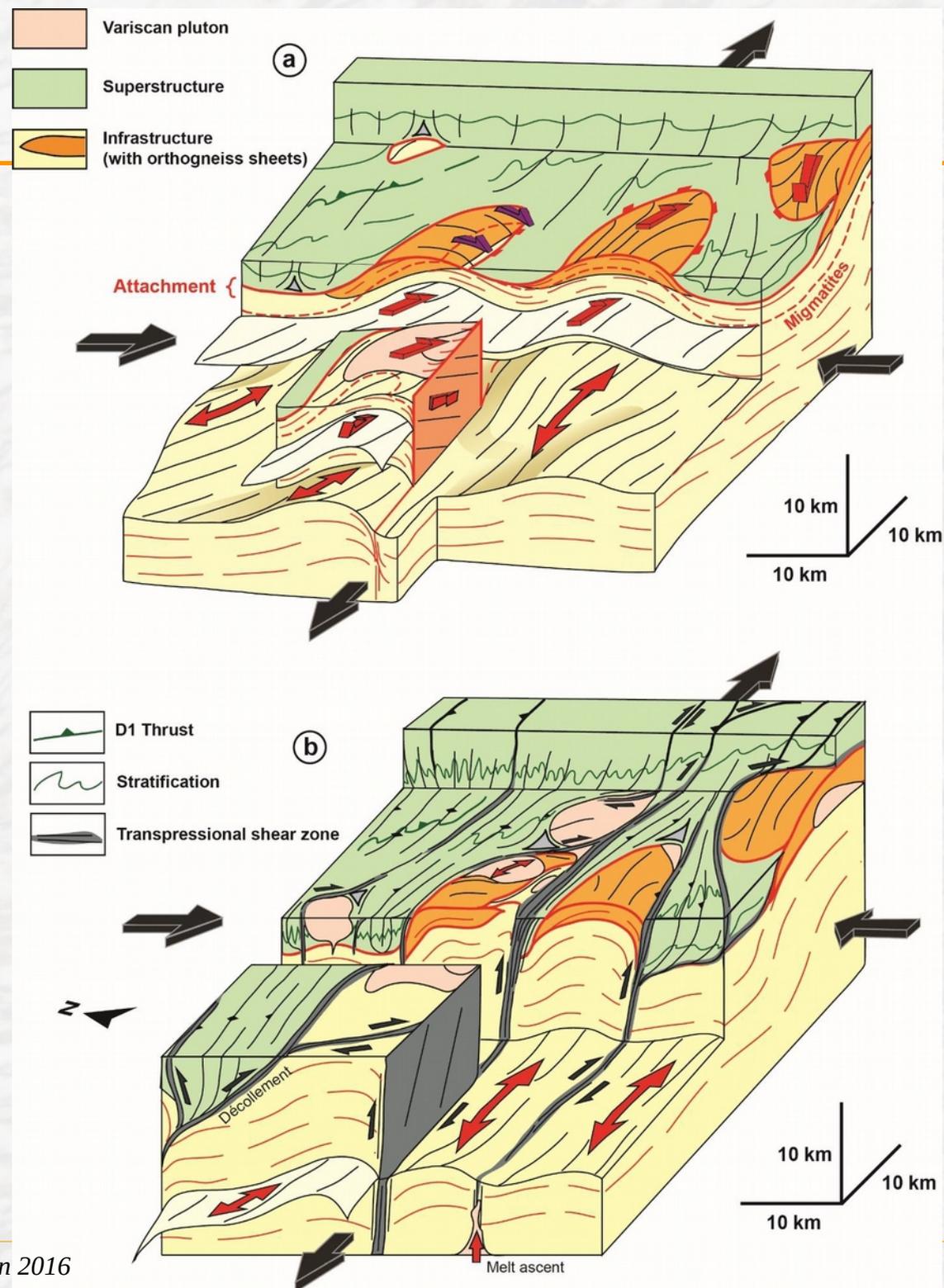
Suprastructure : croûte supérieure fragile

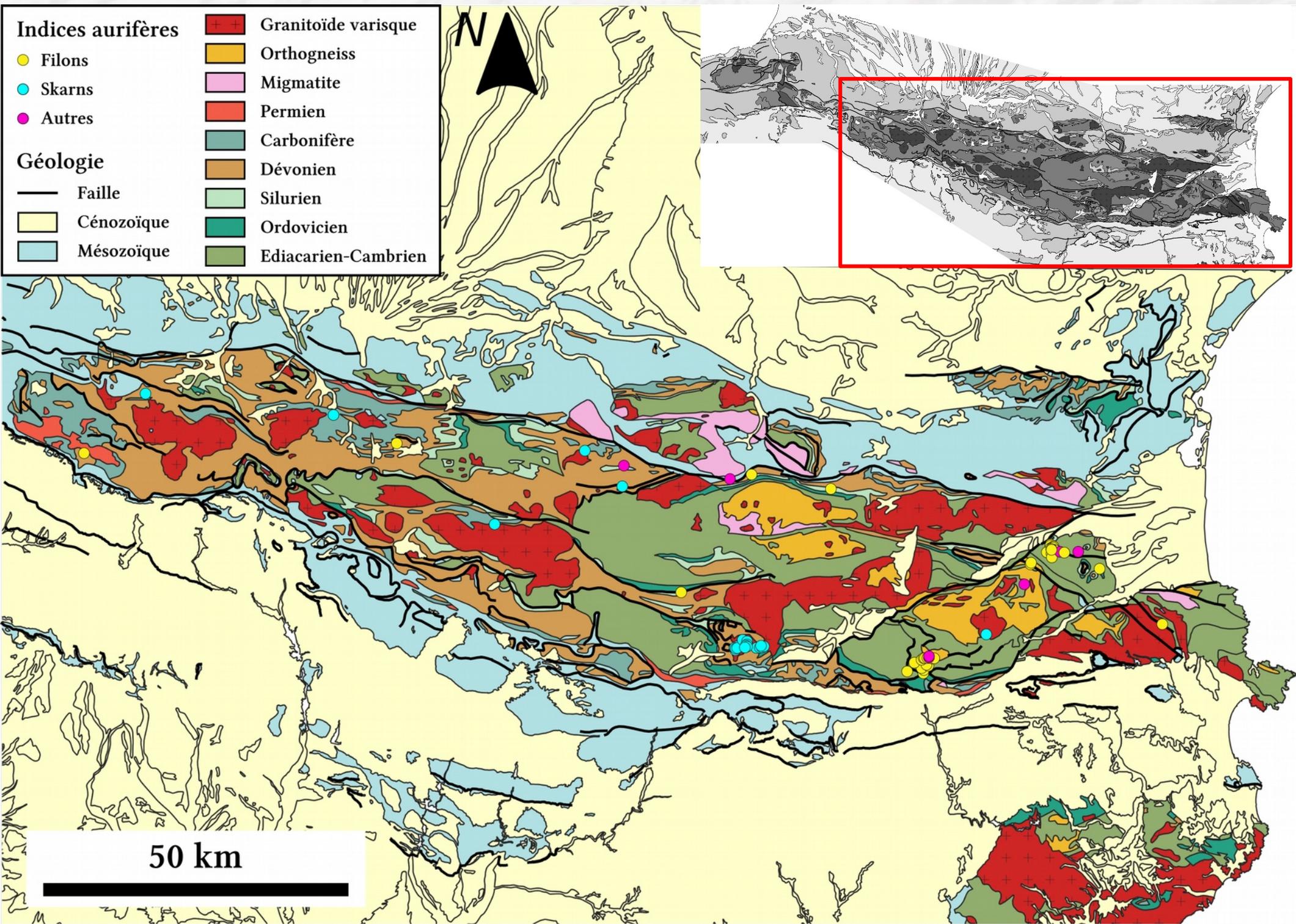
**Pas de zone de transition fragile-ductile entre les deux ! Mais présence d'une interface thermo-mécanique (« attachment zone »).**

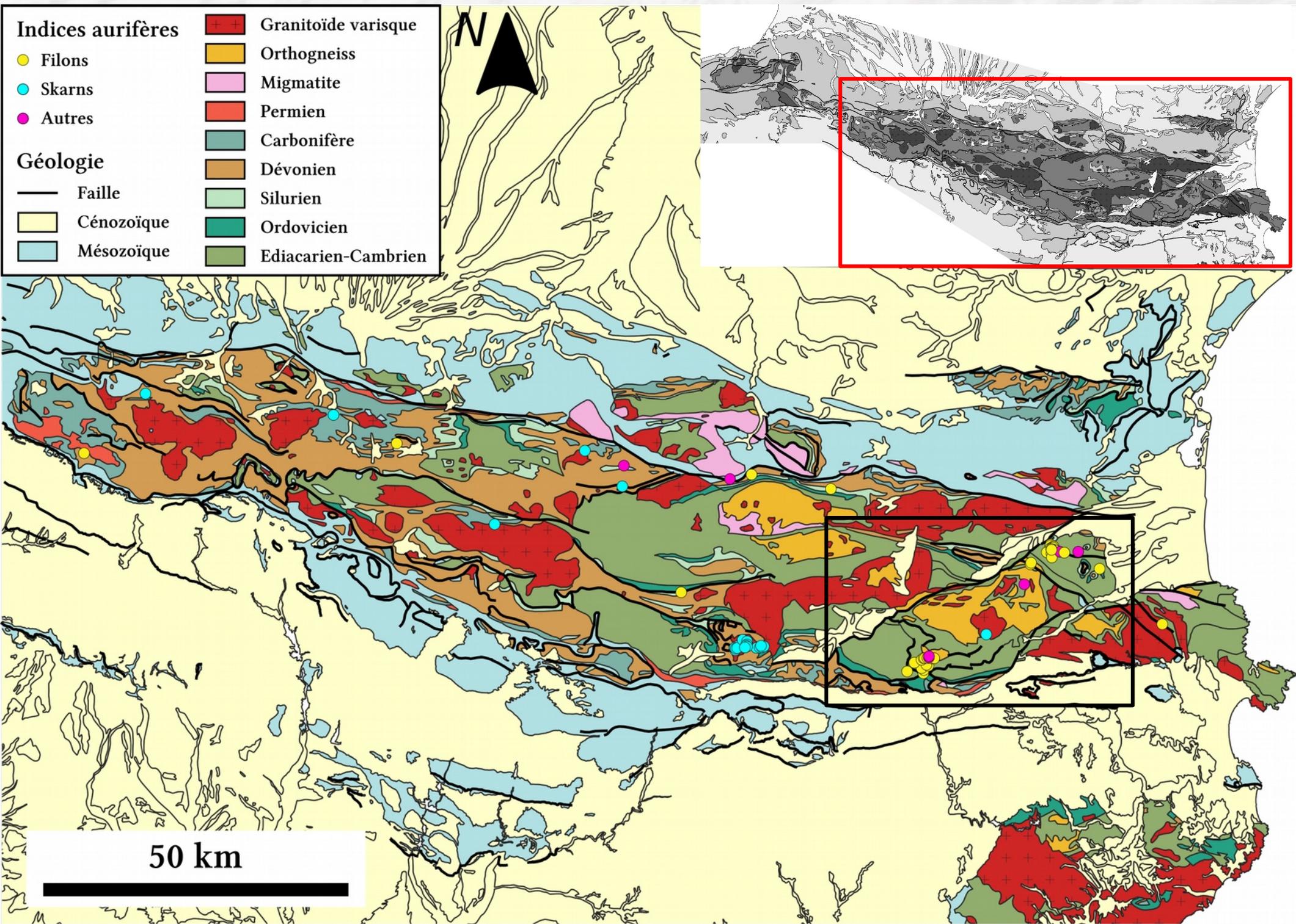
Formation de dômes métamorphiques lors de la phase tardi-orogénique transpressive avec grands couloirs de cisaillement dextre-inverse crustaux.

**Zone d'attachement est-elle une barrière thermo-mécanique ?**

**Transferts de fluides entre la croûte ductile et la croûte fragile à la faveur de la phase transpressive ?**

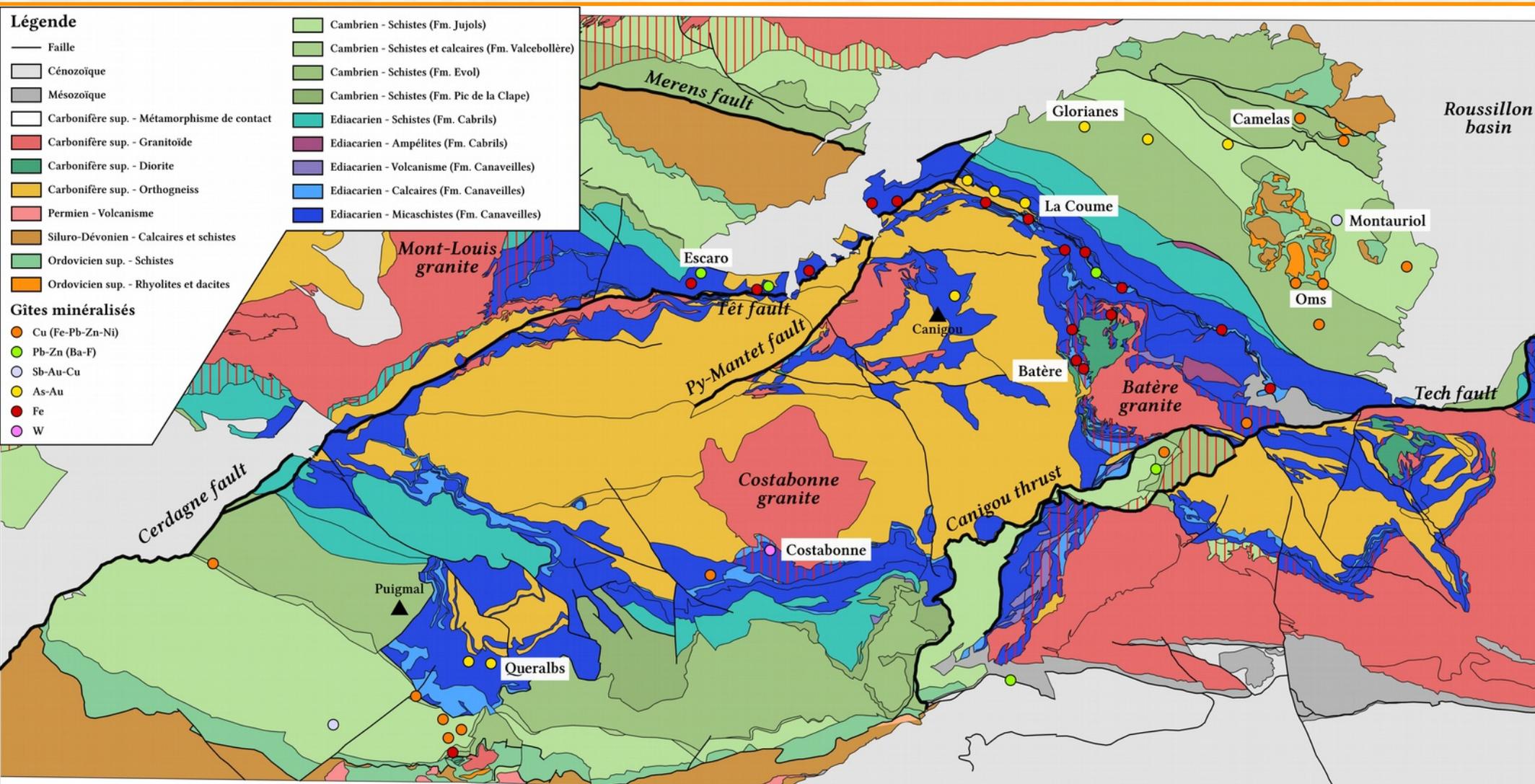






# Contexte géologique

## Dôme du Canigou

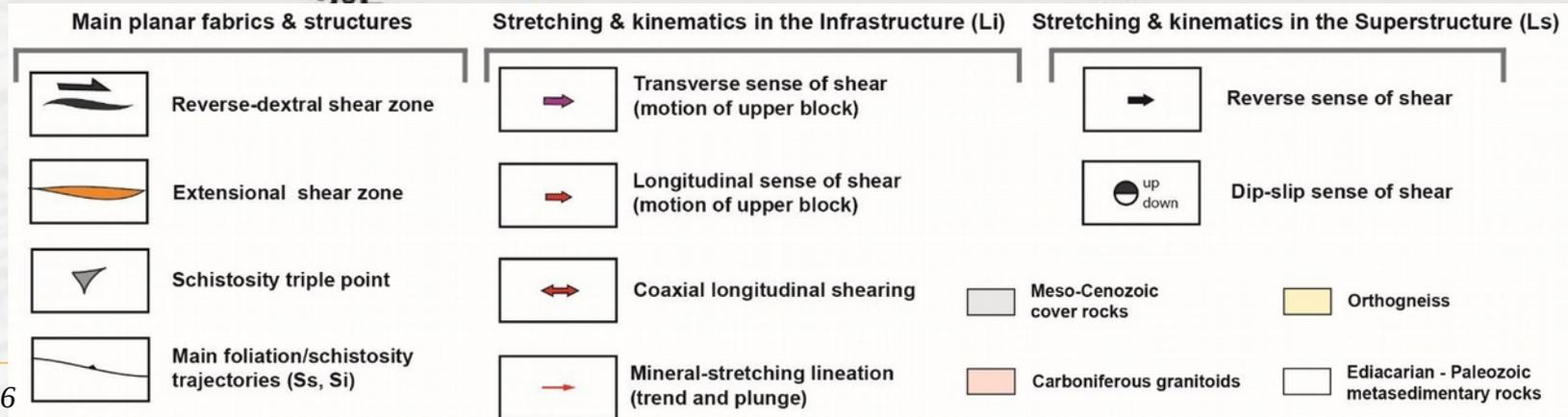
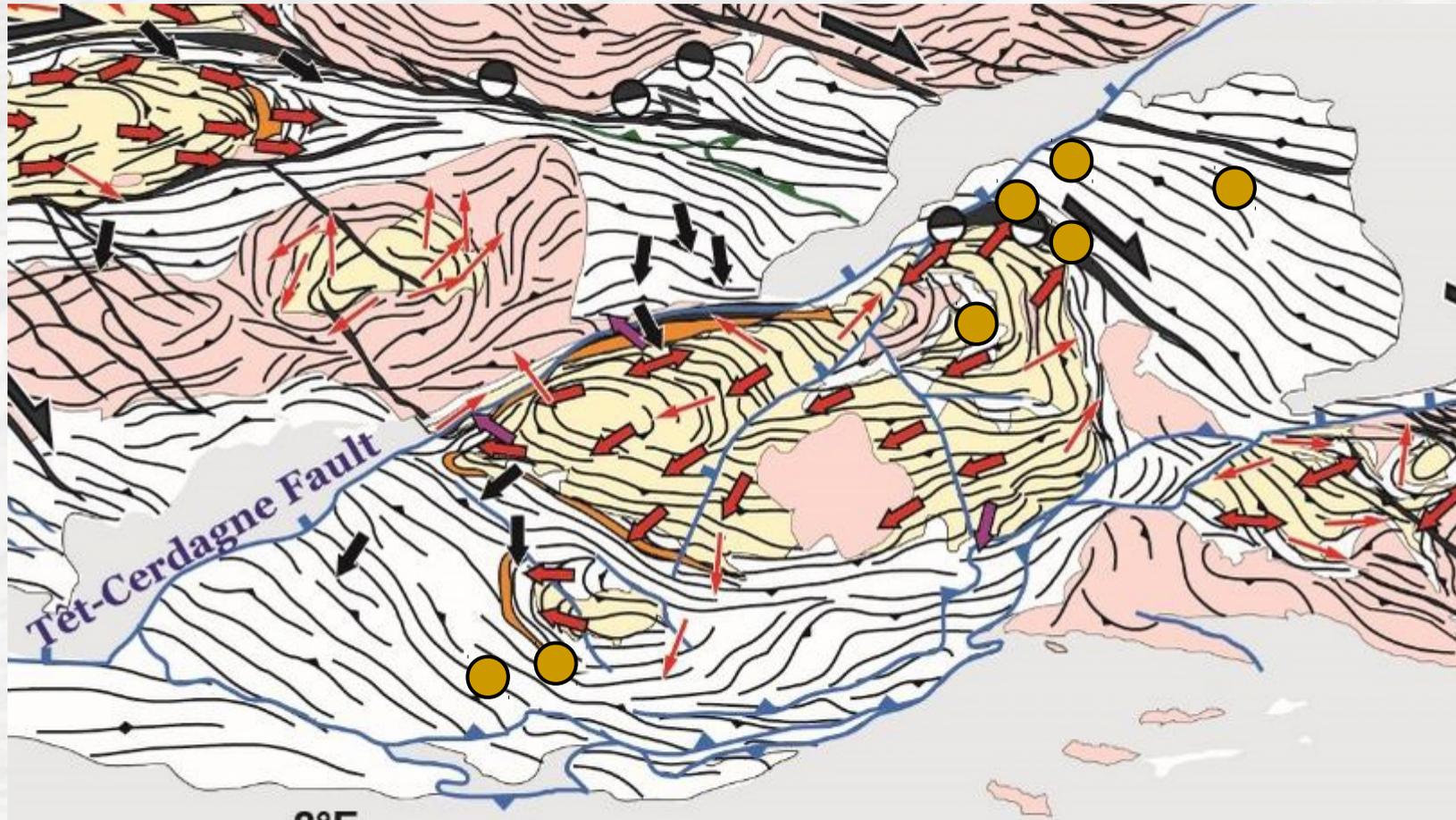


Lithostratigraphie d'après Laumonier et al. (2015) & Padel (2016)

Structure d'après Cochelin (2016)

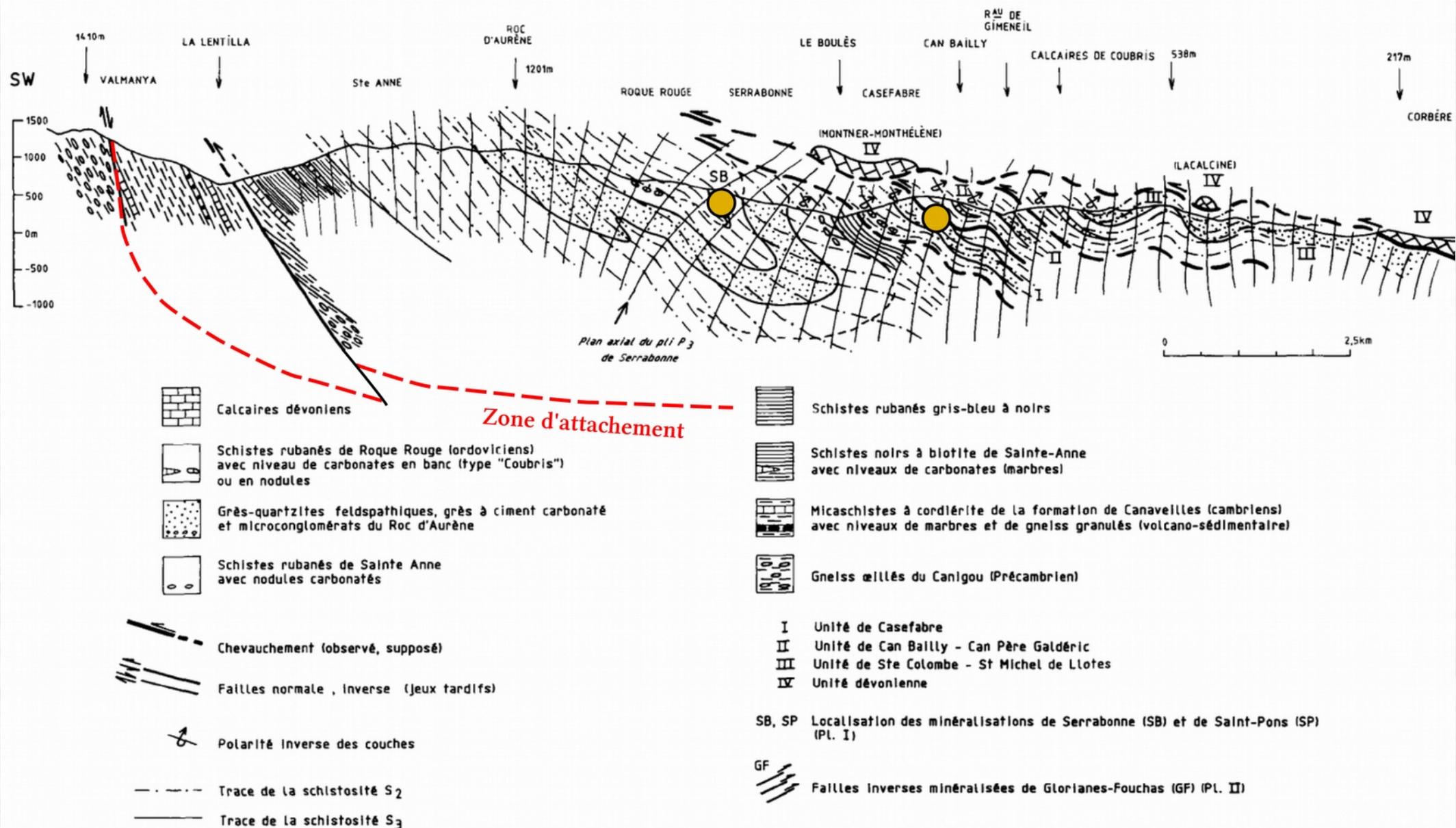
# Contexte géologique

## Position structurale des gisements aurifères



# Contexte géologique

## Nord-est Canigou et Aspres



# *Gisement de Glorianes*

## *Présentation*

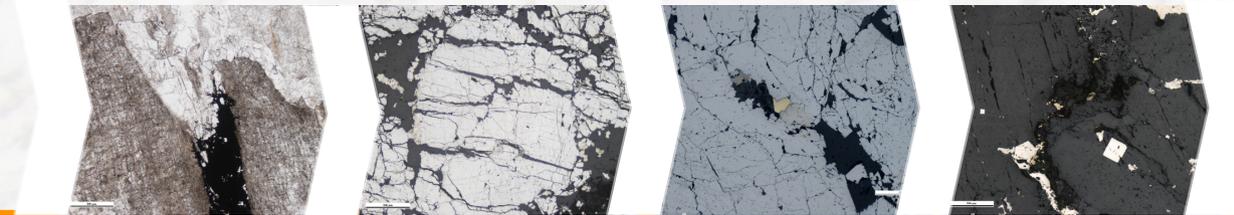
Ancienne mine d'or et d'arsenic de la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle (1922-1951).

Corps filoniens de taille modeste, mais à forte teneur en or (> 5 g/t en moyenne).

Exploités : 1200 t d'arsenic et 350 kg d'or.

Réseau de galeries : 2 km.

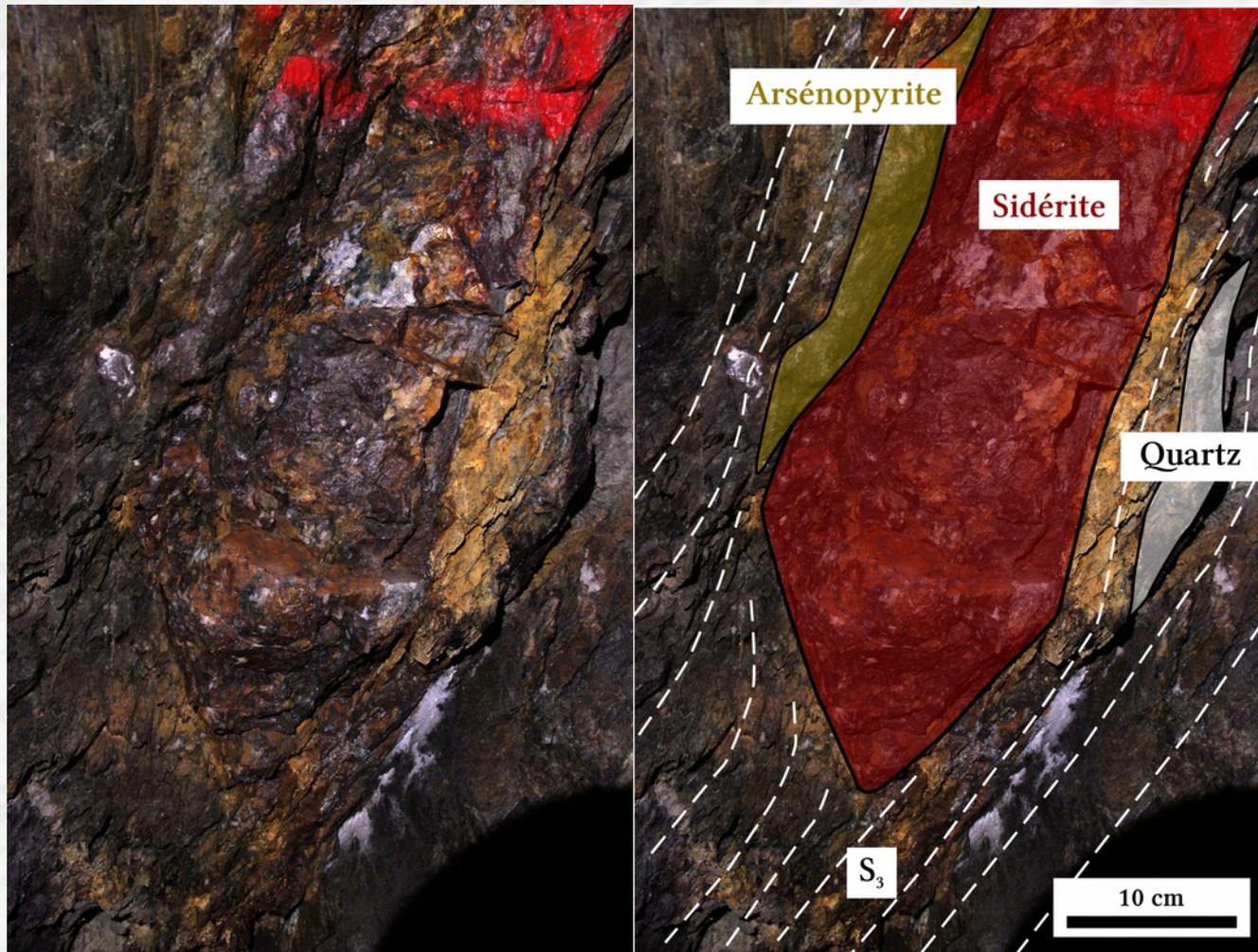


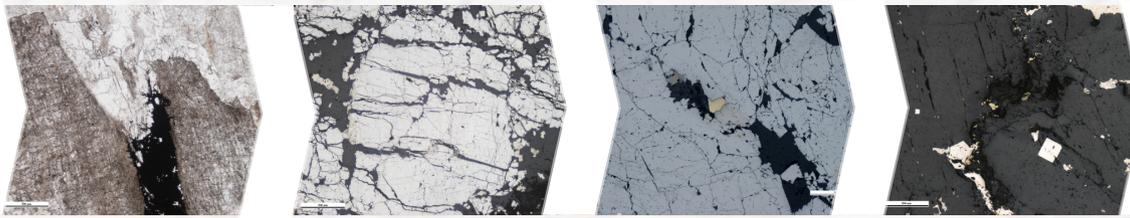


**Phase à Sid**

Filons de sidérite boudinés par la foliation  $S_3$ .

Exclusivement constitués de sidérite spathique magnésienne ( $X_{\text{Sid}} = 0,80$  ;  $X_{\text{Mgs-Rds}} = 0,20$ ).

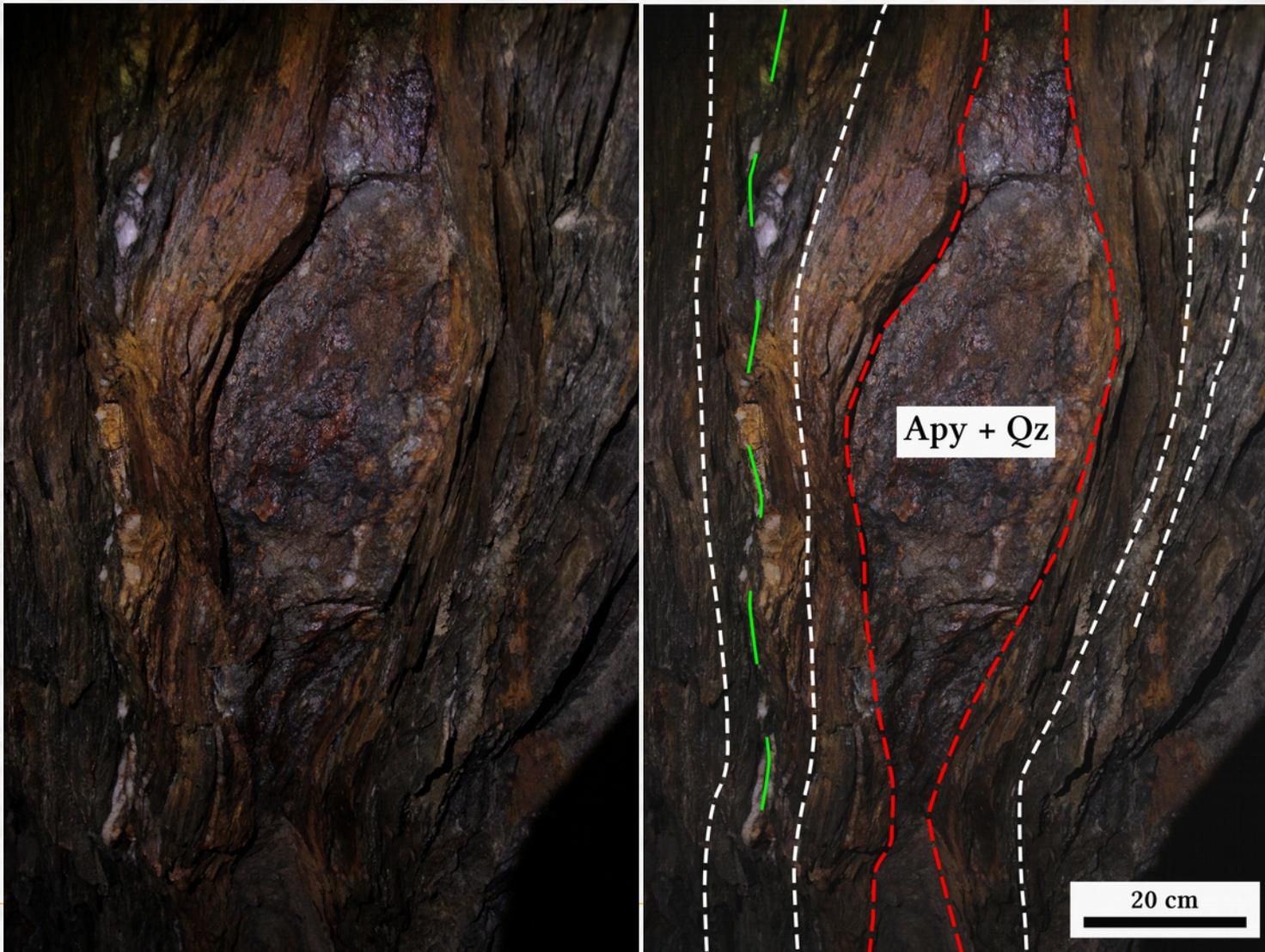


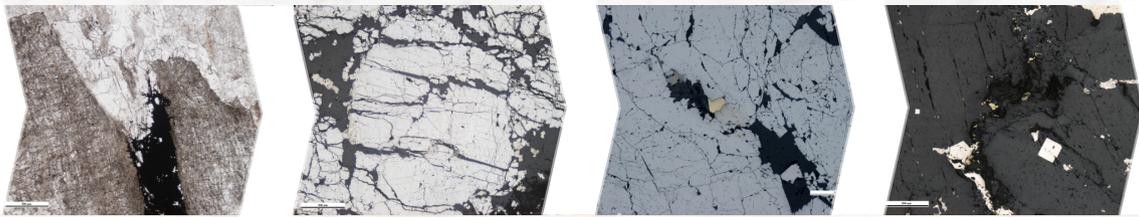


Phase à Apy

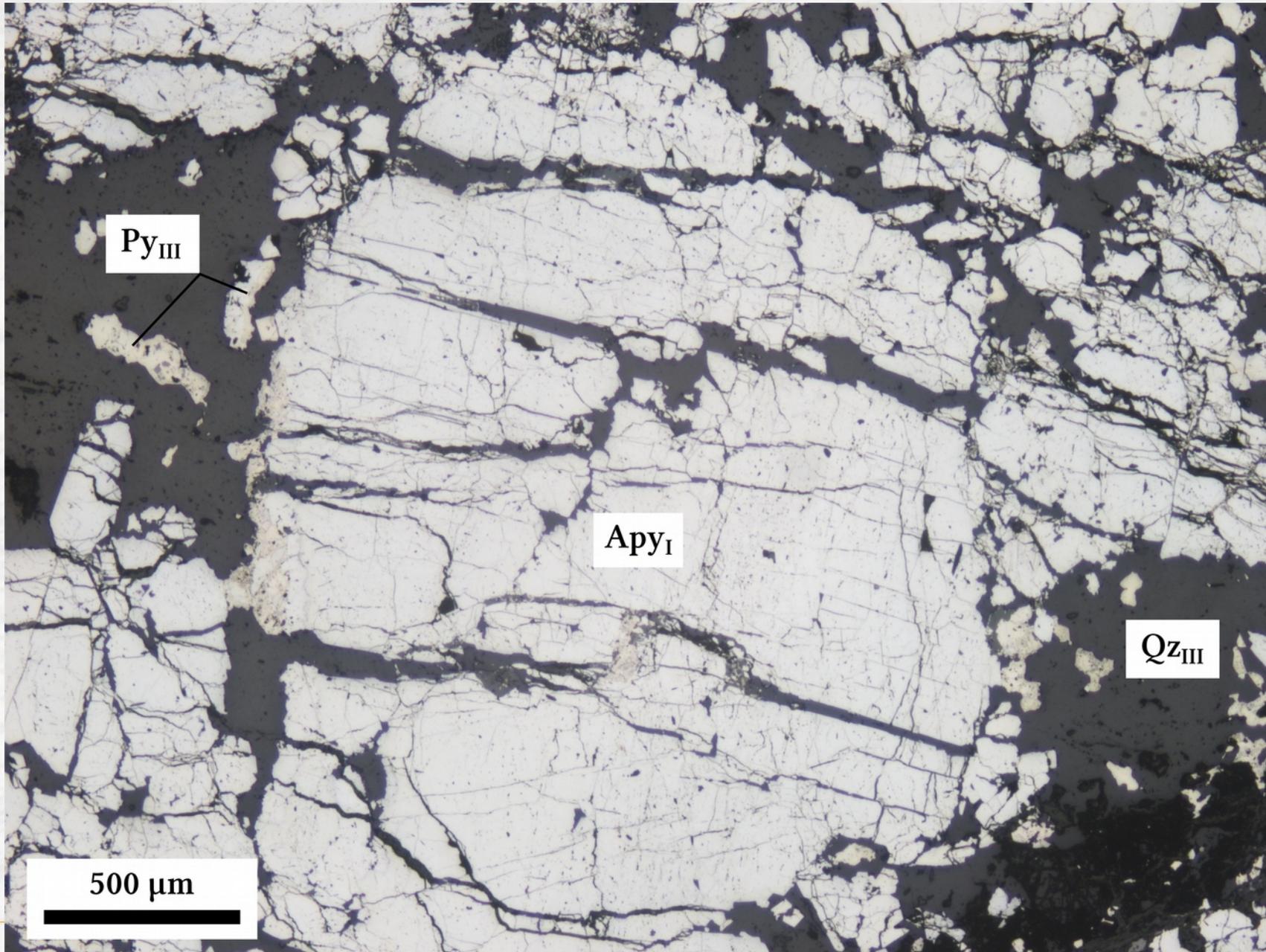
Filons d'arsénopyrite massive suivant la direction de la foliation  $S_3$ , mais la recoupant légèrement aussi.

Recoupent les filons boudinés de sidérite.



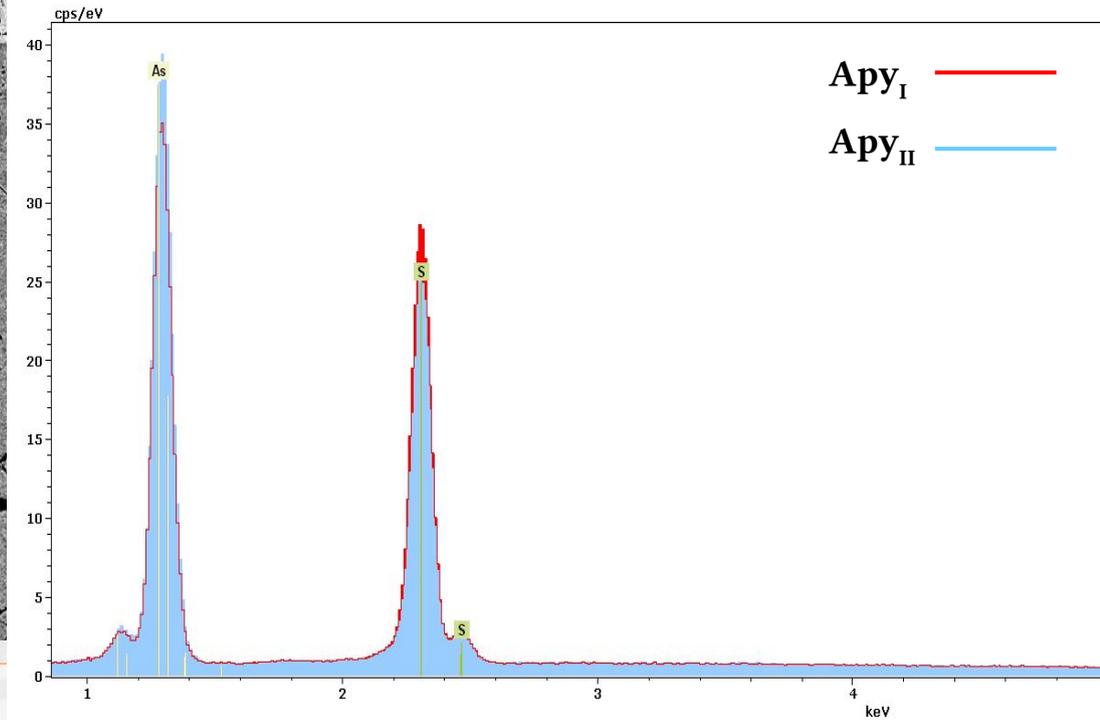
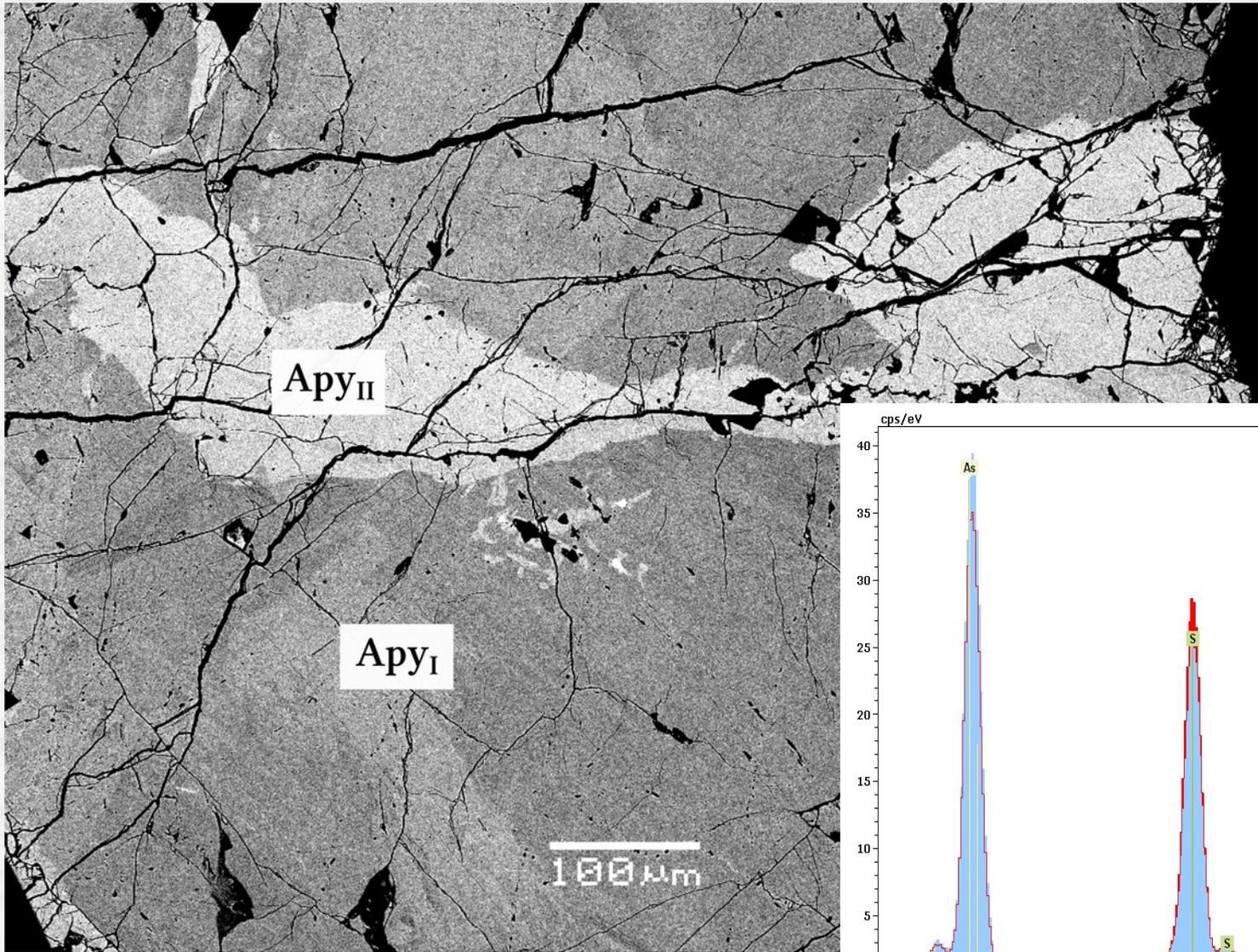


Phase à Apy



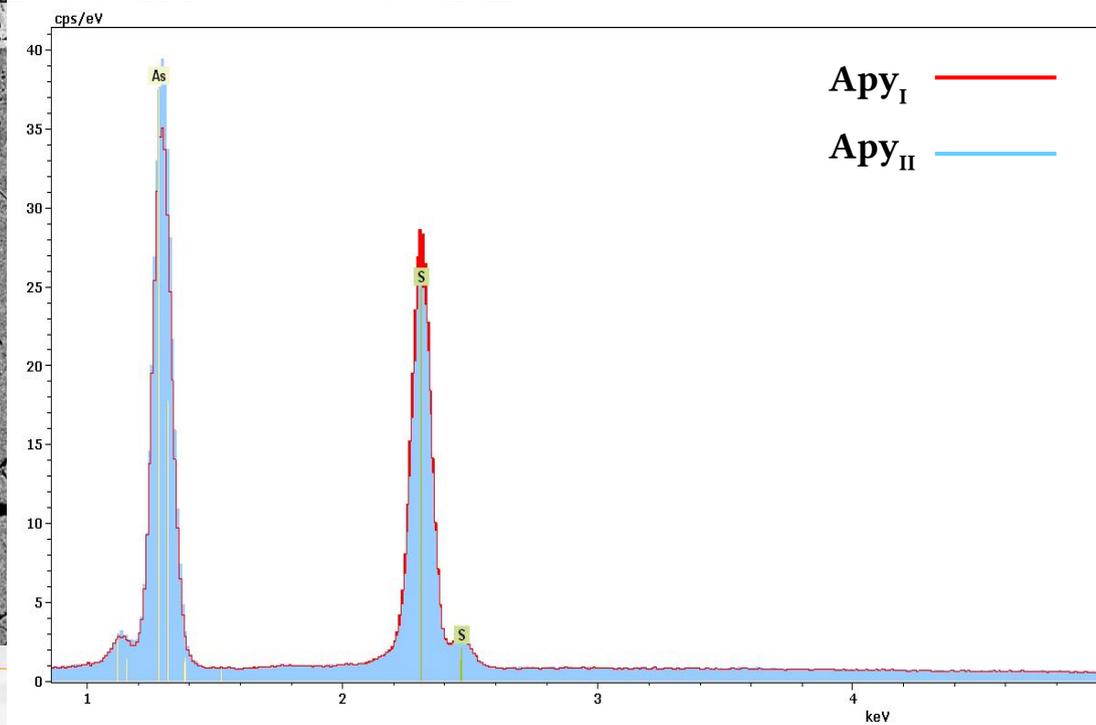
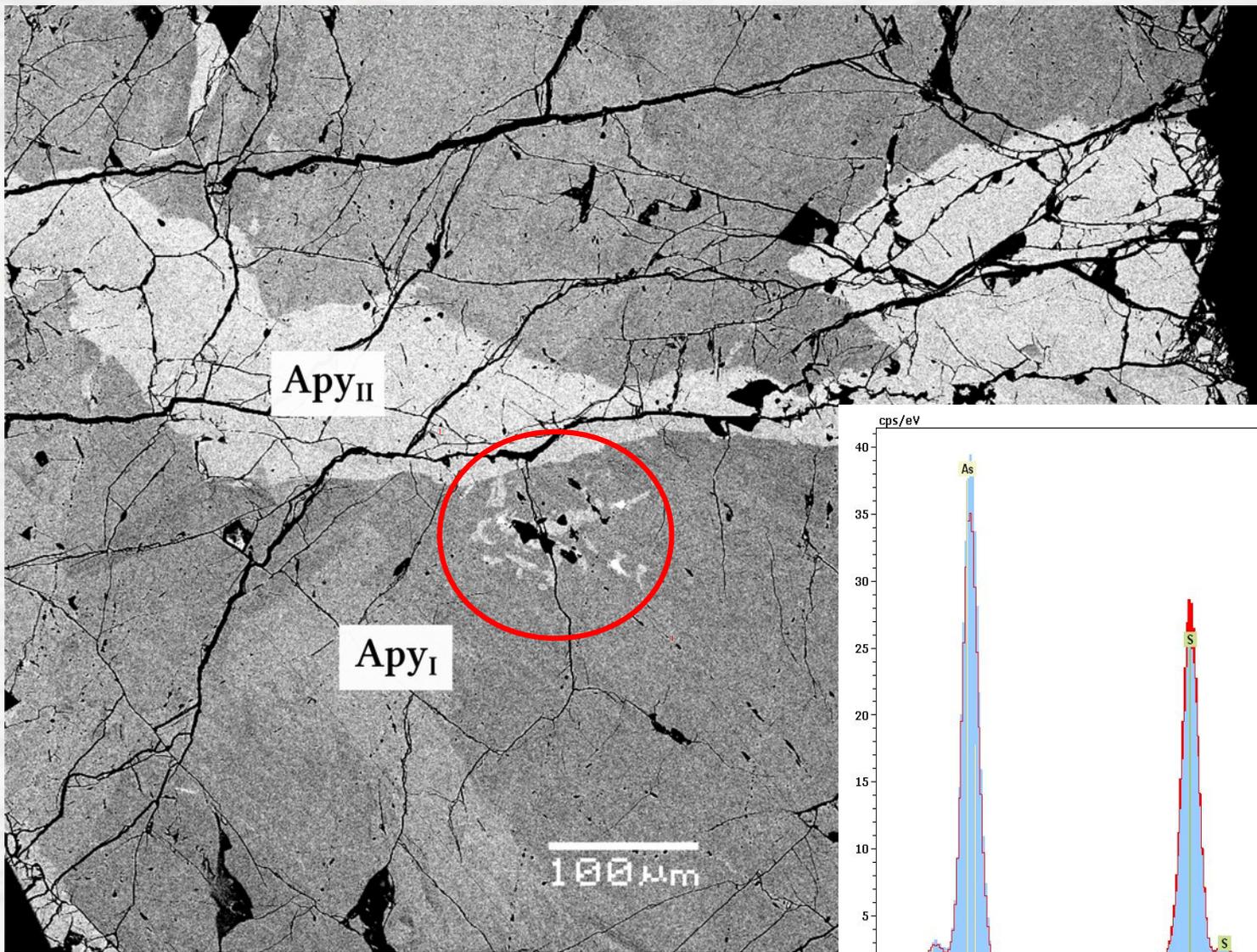
Phase à Au-Bi

Apy<sub>I</sub> remplacée localement par une Apy<sub>II</sub>, avec gain d'arsenic et perte en soufre → zones de circulation de fluides



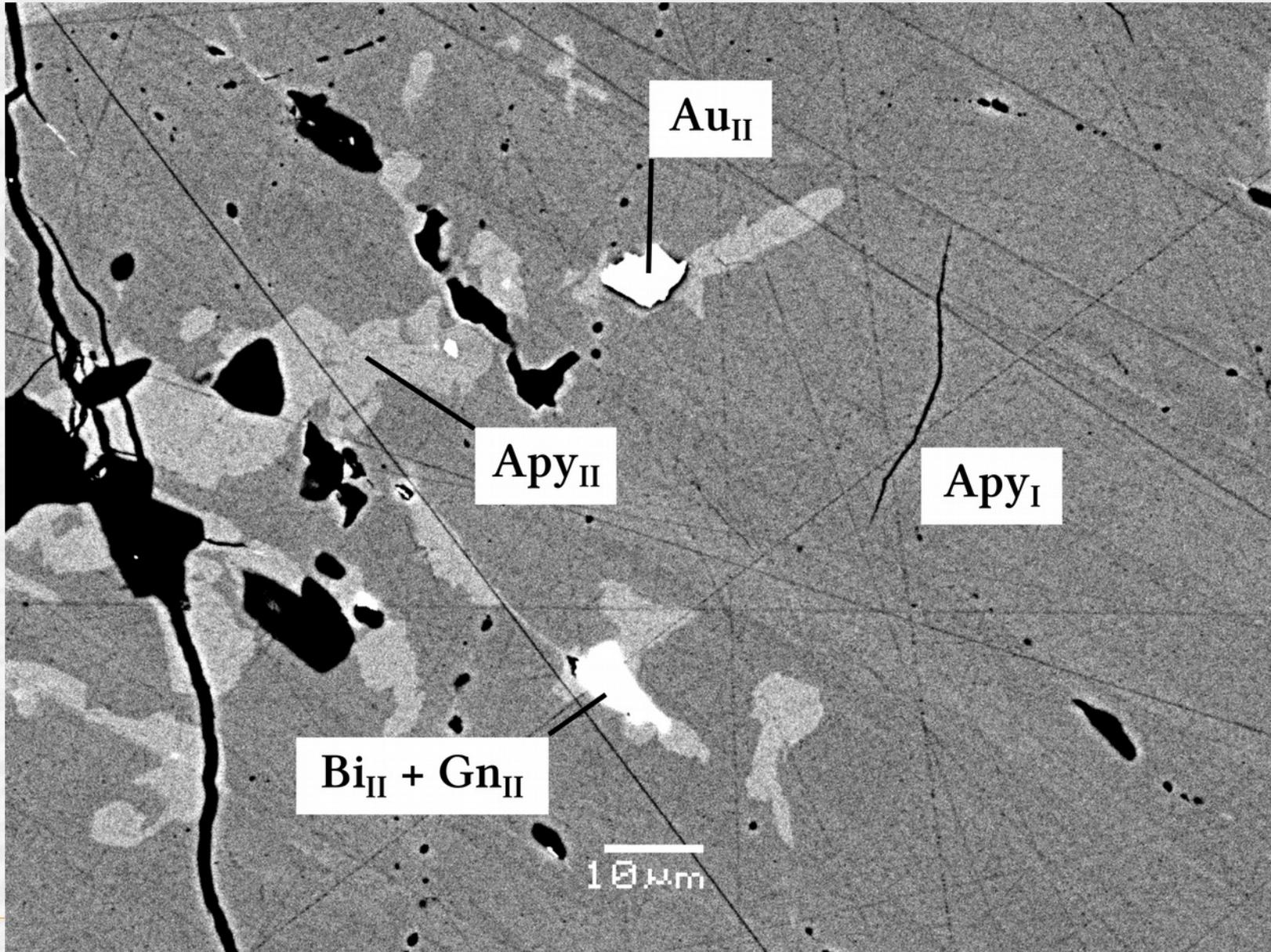
Phase à Au-Bi

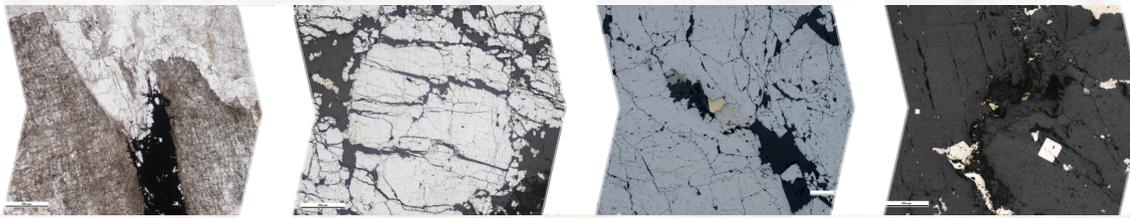
Apy<sub>I</sub> remplacée localement par une Apy<sub>II</sub>, avec gain d'arsenic et perte en soufre → zones de circulation de fluides



Phase à Au-Bi

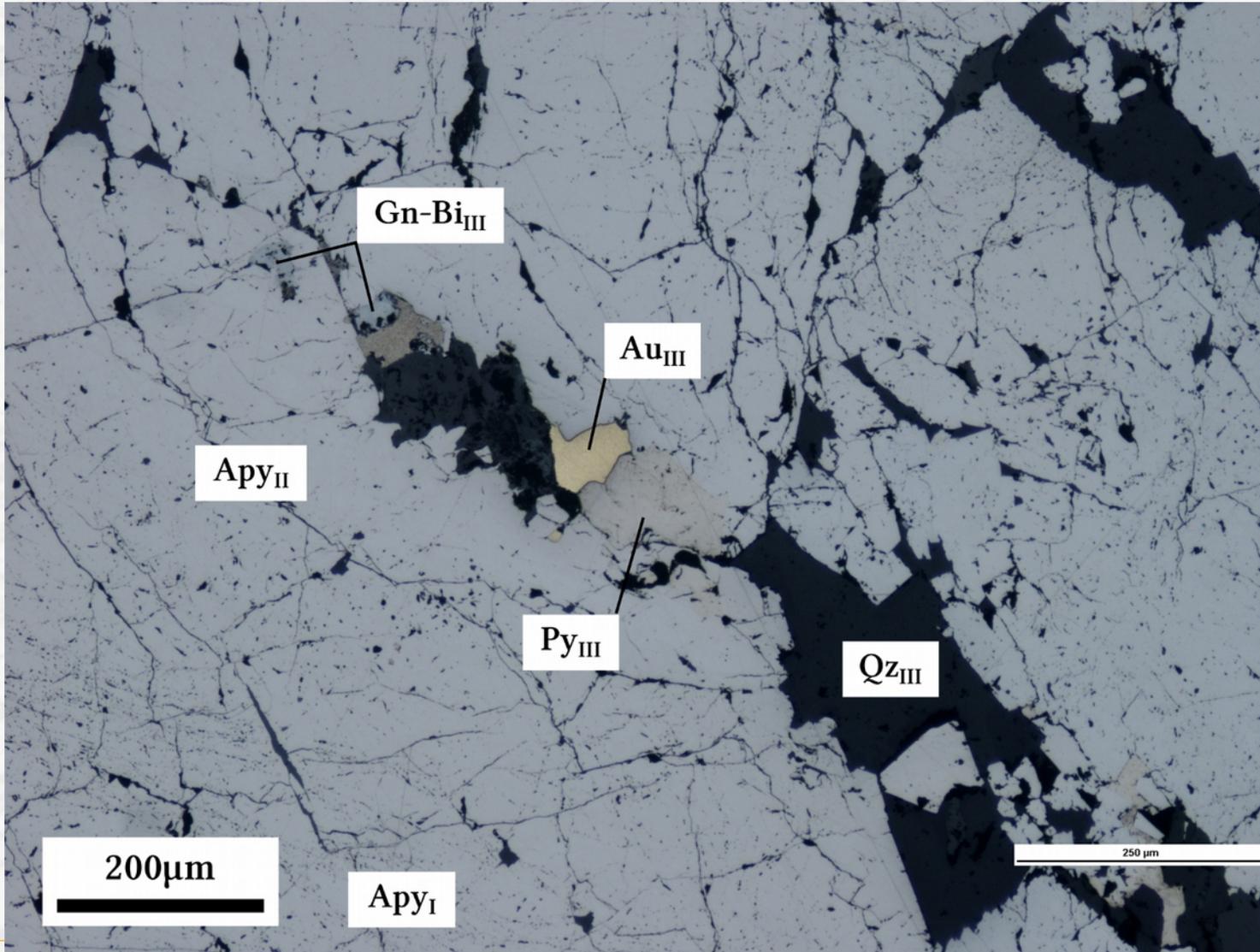
Cristallisation d'or natif, de bismuthinite et de complexes à Pb-Bi, contemporaine de l'arsénopyrite II.

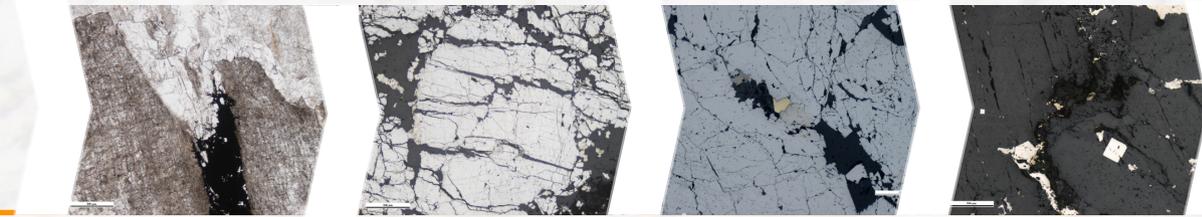




Phase à Py-Po

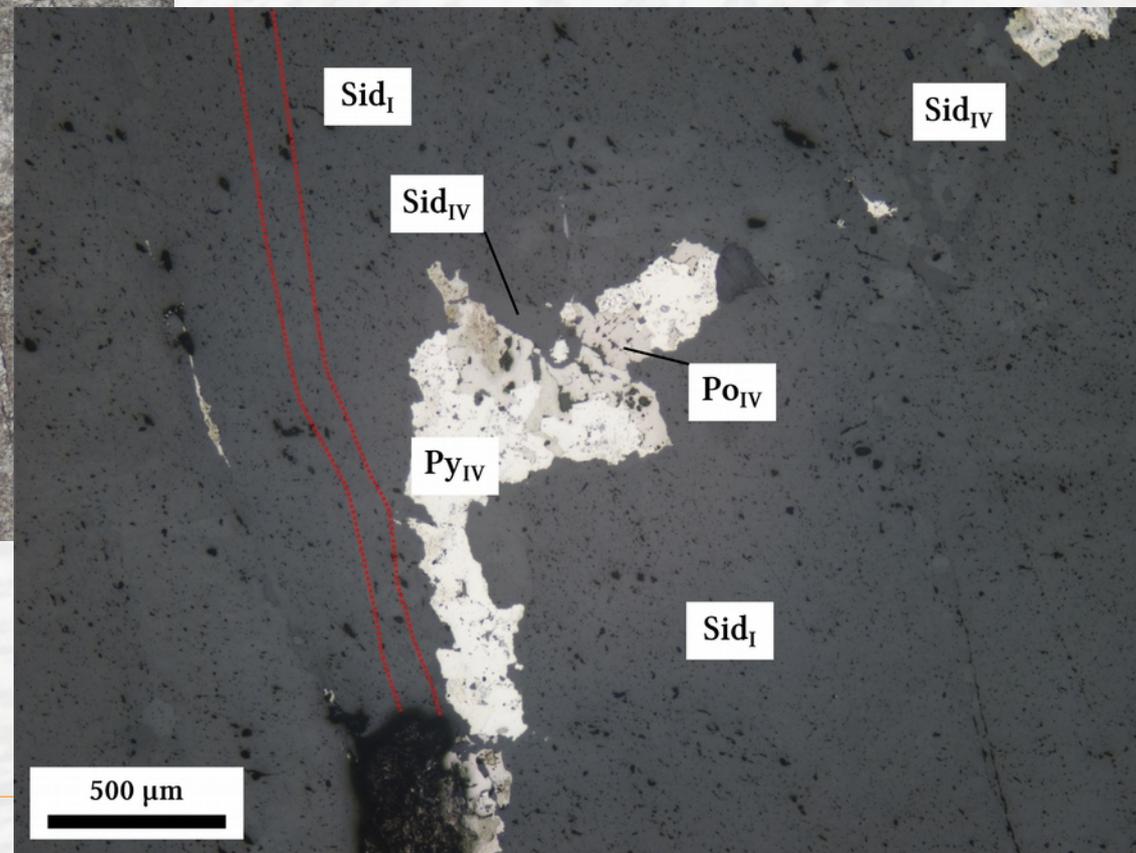
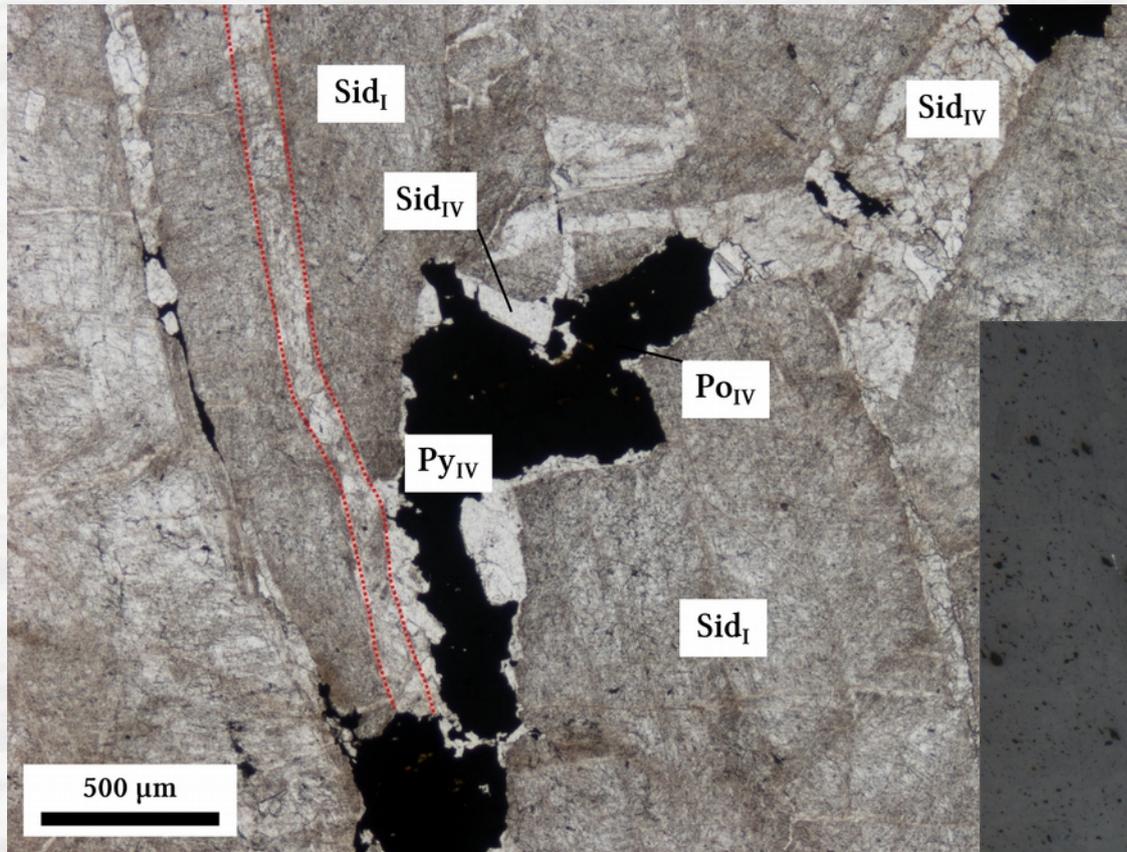
Fracturation de l'arsénopyrite et de la sidérite et remplissage par pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite, or natif, bismuthinite, galène et quartz.

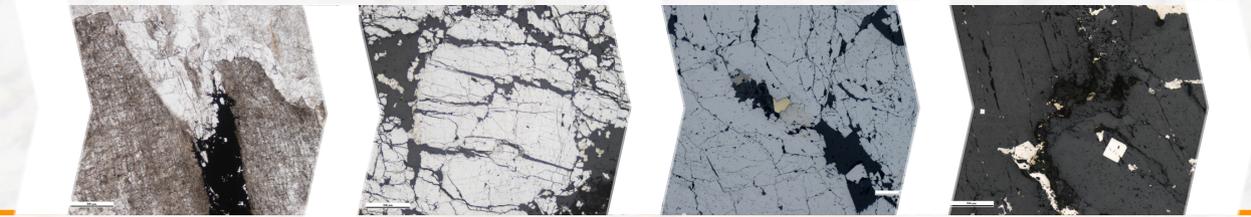




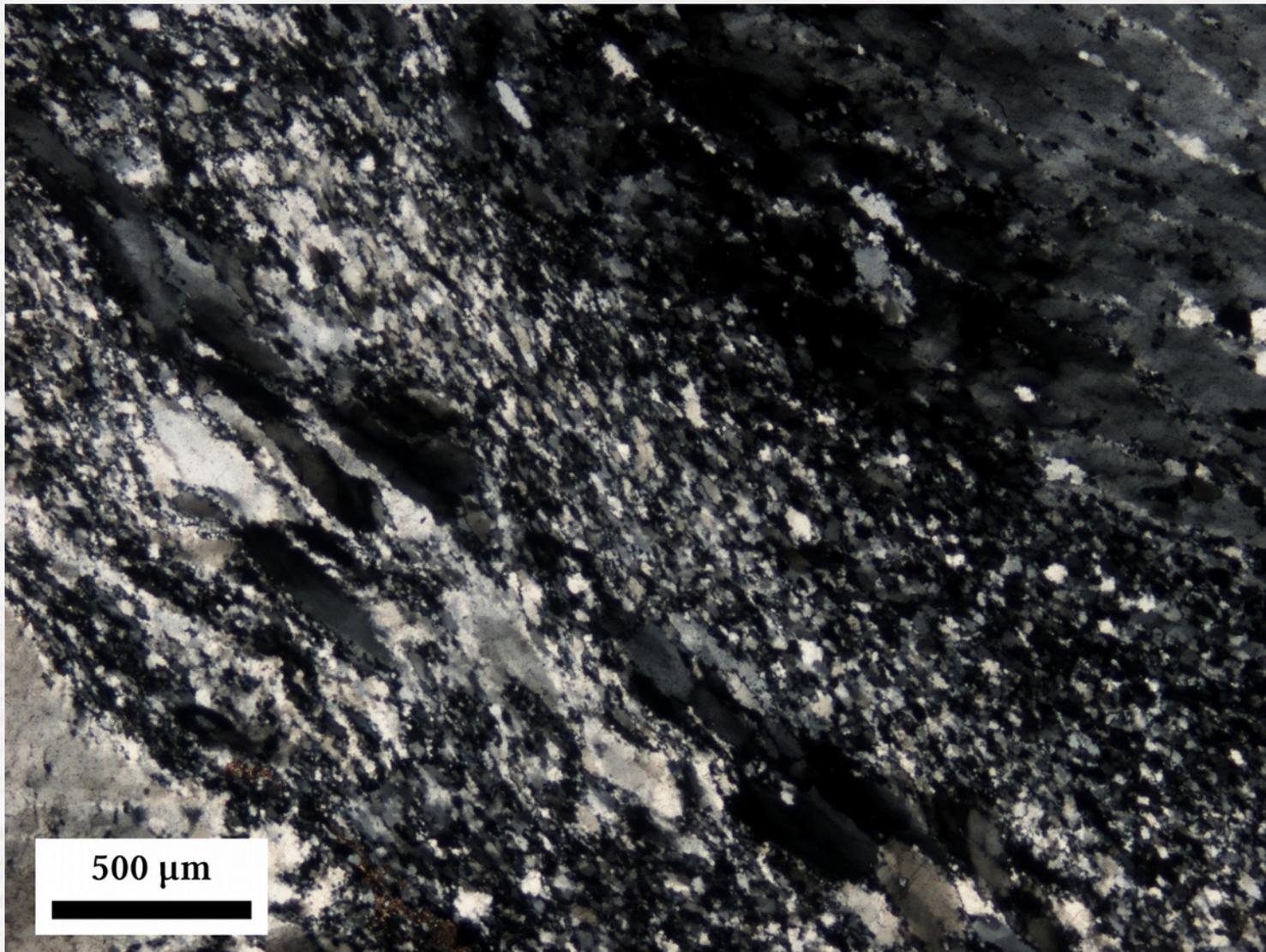
Phase à Py-Po

Fracturation de l'arsénopyrite et de la sidérite et remplissage par pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite, or natif, bismuthinite, galène et quartz.





Phase à Py-Po



Déformation ductile du quartz à moyenne température ( $> 350^{\circ}\text{C}$ )  $\rightarrow$  température très probablement supérieure à celle du pic thermique du métamorphisme de l'encaissant (schiste chloriteux).

**Circulation d'un fluide chaud ascendant sous contrainte.**

# *Gisement de Glorianes*

## *Evolution paragenétique et rhéologique*

	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV	Altération
Quartz				██████████	
Sidérite	██████████			██████████	
Arsénopyrite		██████████	██████████		
Pyrite			██████████	██████████	
Pyrrhotite				██████████	
Or natif			██████████	██████████	
Bismuthinite			██████████	██████████	
Galène			██████████	██████████	
Muscovite				██████████	
Chlorite					██████████
Fe-oxyde					██████████

Arsénopyrite	Ductile ?	Cassant
Sidérite	-	Ductile
Quartz	-	Ductile

**Fracturation de l'Apy → résultat d'une variation de volume du système minéralisé et/ou d'une surpression fluide ?**

## *Conclusions*

---

Présence de gisements aurifères à l'interface entre la croûte ductile et la croûte fragile et dans la croûte fragile, à l'aplomb des dômes gneissiques tardi-varisques.

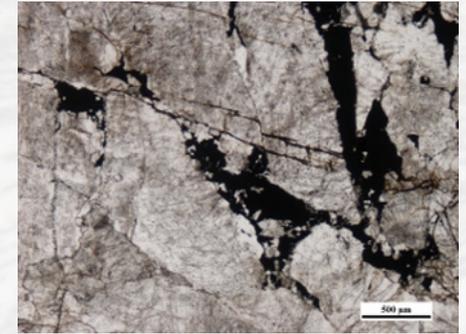
Mise en place des minéralisations au cours des derniers épisodes de déformation varisque, syn- à post-métamorphiques.

Circulation de fluides chauds ascendants à travers la croûte.

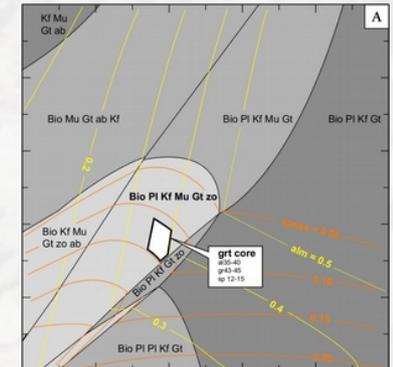
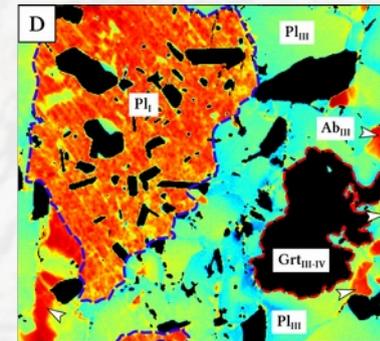
---

# Travaux en cours et futurs

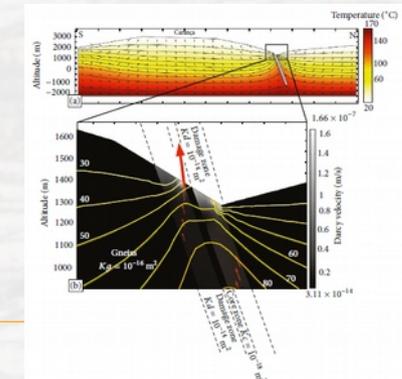
Lien entre les minéralisations en or et les minéralisations en fer du Canigou → *Stage de M2 Thibault Roattino*



Evolution des paragenèses minéralisées en fonction de la déformation et des circulations de fluides → *Cartographie chimique haute résolution par LA-ICP-MS + modélisation thermodynamique des équilibres de phases*



Origine et circulation des fluides à l'échelle crustale en lien avec la déformation et le métamorphisme → *Modélisation thermo-mécanique de la circulation des fluides*





*Merci de votre attention !*

