



CONTRIBUTIONS SPELEOLOGIQUES A LA GEOLOGIE DE LE GROTTE DE LA CIGALERE ET DE LA MINE DU BENTAILLOU (Ariège)

ARSHaL Octobre 2024

Photos de couverture J-L Hasbroucq : Salle Blanche

Photos du rapport : J-L Hasbroucq, C. Dourlens, V. Bruguera, B. Lafage, J-P Donnadieu

CONTRIBUTIONS SPELEOLOGIQUES A LA GEOLOGIE

de la GROTTE DE LA CIGALERIE et de la MINE DU BENTAILLOU

RECHERCHES GEOLOGIQUES 2024 dans le cadre de l'ARSHaL

Jean-Pierre DONNADIEU 02/10/2024

Suite à une visite rapide en 2023 de la galerie principale de la Cigalère et une incursion dans la mine du Bentaillou, il avait été décidé de débuter une étude géologique détaillée de ces cavités pour contribuer à améliorer la connaissance générale du secteur du Bentaillou.

METHODE SPELEO-GEOLOGIQUE :

Elle a déjà été appliquée sur de nombreuses cavités et mines de la partie est de la Montagne Noire (Hérault, Sud Aveyron). Les recherches et résultats sont publiés notamment sur le site IPVSMN.org et dans une brochure sur la Recherche du Nickel du Mont Marcou (2023-83p).

DEMARCHE :

Elle repose sur une suite d'étapes qui s'enchainent dans un ordre logique.

- Bibliographie :

La plus complète qui soit accessible.

Mise à disposition par les membres de l'ARSHaL, de documents sur la géologie des mines du Bentaillou et du secteur de la Cigalère.

Ex. : Thèses de D. Roucheux, J-P Marchand, Publications et observations de C. Perrin.
Recherche bibliographique la plus complète possible.

- Base de données :

Exploitation des informations recueillies dans une base de données élaborée sur logiciel ILLUSTRATOR, renseignée sur plus de 110 calques.

- Topographie : (déjà réalisée par l'ARSHal)

Mine du Bentaillou

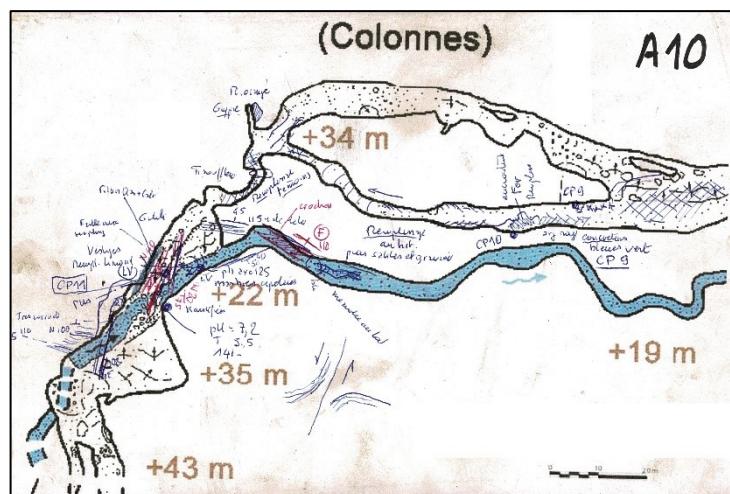
Plans miniers anciens du BRGGM et de la Société des Mines de Sentein : déjà en grande partie disponible. Mise à disposition des fichiers topographiques VTOPO (levés B Lafage | de Pazzis)

Grotte de la Cigalère :

Fichiers VTOPO sur l'ensemble de la cavité (B. Lafage et nombreux spéléos, synthèse G. Fanuel)

- Levés détaillés dans la Grotte de la Cigalère :

Préparation d'extraits de plans cartonnés au 1/500 -
ème sur la galerie principale et l'affluent GINO, facilement accessibles.



Méthodologie :

- Cartographie des formations géologiques et leur pendage
- Relevé des structures (failles, diaclases)
- Identification des phénomènes de karstification
- Levés des remplissages
- Cartographie des circulations d'eau avec mesures physico-chimiques.

Hydrogéochimie :

Mesures Cond, pH, T°) in situ, débit

Prélèvements venues eau



Géochimie roches et concrétions :

Analyses in situ, non destructives par analyseur fluorimètre portatif XRF



H																		He
Li	Be	Standard		See Notes		Cannot Add		Contact Apps		B	C	N	O	F	Ne			
Na	Mg	U8991010								Al	Si	P	S	Cl				
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Ar	
U8991061	U8990926	U8991101	U8991121	U8991123	U8990931	U8991012	U8990994	U8990932	U8991016	U8990933	U8991137	U8990987	U8990988	U8990921	U8991102	U8990924	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	U8991111	U8990992		
U8990929	U8990922		U8990990	U8999774	U8999632	U8991076	U8991025	U8990993	U8999630	U8990989	U8991013	U8991119	U8990998	U8990923	Po	At	Rn	
Fr	Ra		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			U8990996	U8990928	U8999633	U8999780	U8020736	U8024166	U8024458	U8024459	U8021013	U8024460	U8024461	Q0201776	U8020735	Q0201777		
			Th		Pa	U	U8991122	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Figure 1 Tableau des éléments chimiques analysés par fluorimètre X portatif

- **Levés détaillés d'une zone minéralisée dans la Mine du Bentaillou :**

Relevé d'une coupe et profil détaillés
Analyses géochimiques sur parement

- **Levés détaillés de surface d'une zone minéralisée et des affleurements importants :**

Repérage par points GPS des affleurements géologiques dans la zone d'influence de la cavité de la Cigalère et de la Mine afin de pouvoir faire des corrélations entre la surface et le fond.

Analyses géochimiques sur affleurement

INTERPRETATIONS :

Restitution des levés :

- Base de données : Toutes les observations sont reportées sur logiciel ILLUSTRATOR avec création d'un calque par thème d'études permettant de superposer les différents plans miniers, topographies souterraines et de surface, cartes géologiques etc.... (plus de 100 calques)
- Synthèse cartographique en comparant et en modifiant les cartes géologiques existantes.
- Réalisation de coupes topographiques et géologiques pour les relations entre la géologie de surface, la mine et la grotte de la Cigalère, à l'aide du logiciel TOPGEO, basé sur les données VTOPO, logiciel créé par M. Lévy (spéléologue ASCO-IPVSMN).

EQUIPE DE RECHERCHES 2024 :

Une semaine de recherches s'est déroulée du 10 au 17 aout 2024 au Bentaillou, organisée par les membres de l'ARSHaL.

Ont participés à cette mission 2024 :

Anne Gallez, G. Fanuel, Y. Bourdel, L. De Pazzis, B. Lafage, M. Berbigé, S. Collet, C. Dourlens, P. Tyssandier, R. Parzybut, J-P Vié, J-L Hasbroucq, P. Landry, B. Racapé, T. Fialon, N. Faurie, J-P Donnadieu.



L'équipe était composée de spéléologues aguerris, observateurs et passionnés pour aider au recensement des divers phénomènes géologiques et karstologiques, le tout accompagnés par un photographe spécialisé dans la prise de vue souterraine de ce genre d'objets géologiques (J-L Hasbroucq).

Les sorties ont été guidées par G. Fanuel et L. De Pazzis et animées par J-P Donnadieu (ASCO-Olargues), géologue minier de métier à la retraite, passionné de spéléologie de longue date et d'archéologie minière. Il s'intéresse plus particulièrement aux relations entre mines et karsts dans les terrains d'âge primaire.

TOPOGRAPHIES

D'après la synthèse des données topographiques VTOPO par B. Lafage

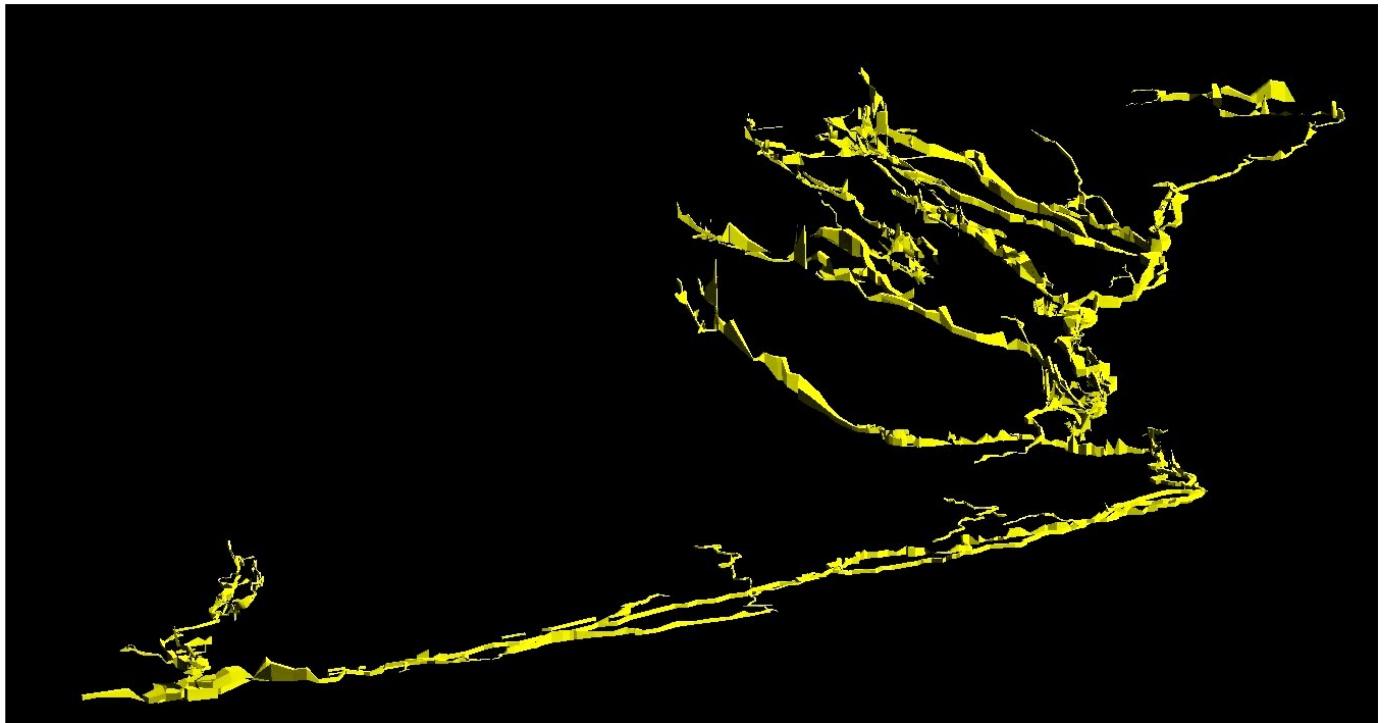


Figure 2 Représentation 3D de la grotte de la Cigalère, vue du nord vers le sud

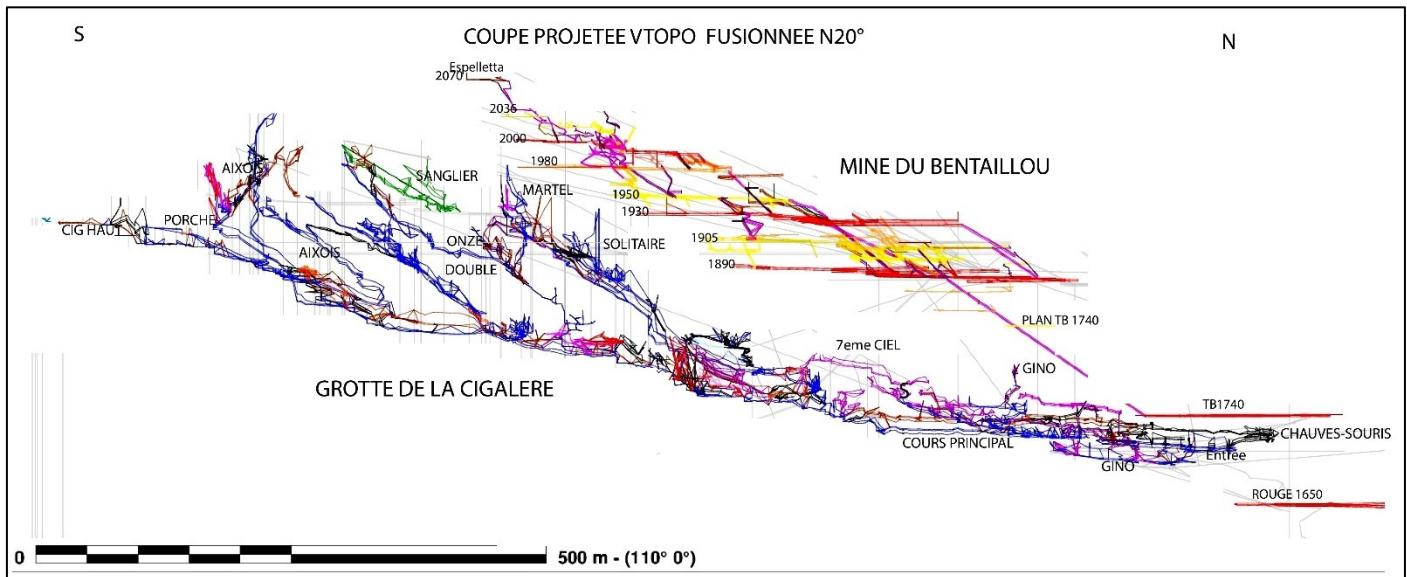


Figure 3 Coupe projetée N20° Mine du Bentaillou-Grotte de la Cigalère

Coupes projetées de la totalité des données d'après les fichiers topographiques VTOPO :

- **Coupe N20° (fig. 3)** : elle montre le parallélisme entre les topographies de la Mine et de la grotte. La Mine se développe entre 2070 et 1650 m plus bas que le cours actif de la Cigalère.

- **Coupe morphologique N35° (fig. 4)** : la géométrie des galeries est caractéristique des différents secteurs. De l'entrée à la Cascade Noire, il y a superposition de 4 niveaux espacés régulièrement de 15 m : affluent Gino (1), Cours actif (2), Galerie des chauve-souris (3), Réseau contemplatif (4). Le 7^{ème} Ciel représenterait aussi un ancien niveau de drainage.
Au-delà, c'est le secteur des cascades et des affluents. Les affluents présentent une symétrie dans leur développement vertical avec des sections pentées à 40° et d'autres plus verticales. On peut ainsi déterminer 5 niveaux (A, B, C, D, E) d'une trentaine de mètres de puissance ! Le niveau supérieur (E) correspond aux cheminées verticales des remontées à l'extrémité des affluents. L'origine de cette configuration est peut-être à rechercher dans des variations de faciès de la série calcaire du Bentaillou ?

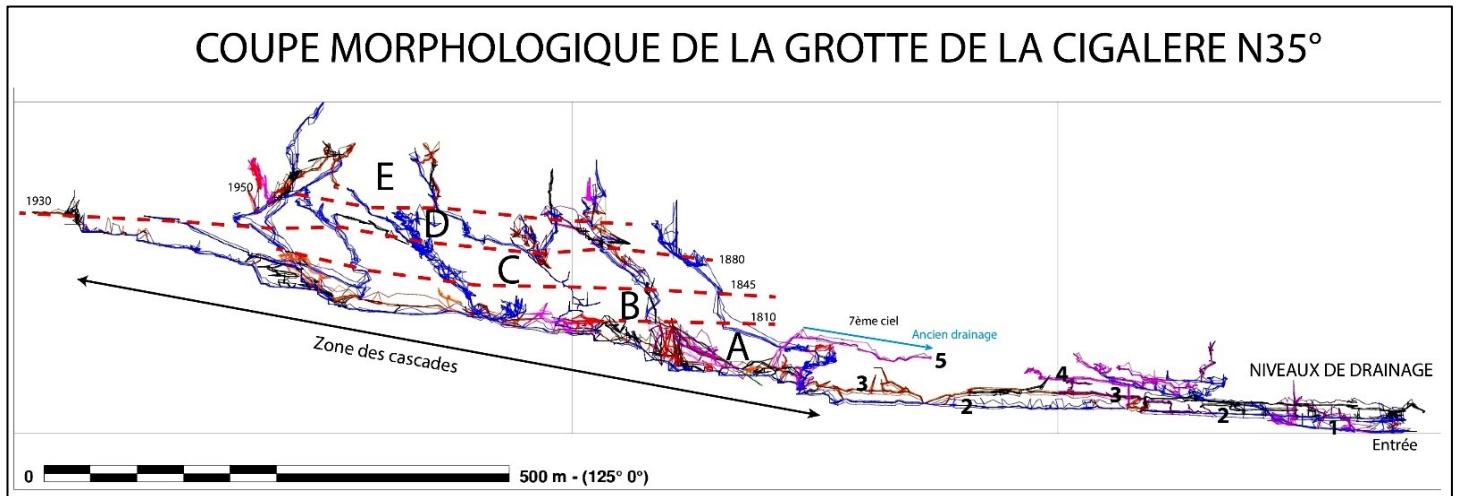


Figure 4 Coupe morphologique N35° Grotte de la Cigalère

COMPTE-RENDU DES RECHERCHES 2024

LEVES DE SURFACE :

Les relevés ont porté le long du contact supérieur des calcaires avec les quartzophyllades au niveau des mines les plus anciennes.
Quelques observations :

Stratigraphie :

- le calcaire du Bentaillou conserve la même épaisseur d'Ouest vers l'Est (entrée de la Cigalère), soit environ 100 m.
- le pendage des couches est relativement régulier vers le Nord-Ouest : 30 à 40° au niveau des mines, 15 à 20° dans la grotte de la Cigalère plus au nord (fig. : 7). On n'observe pas d'inclinaison du pendage des couches comme indiqué dans les études géologiques générales.
- le fond de la « cuvette » de Chichoué est constitué par le toit des quartzophyllades inférieures.
- D'après J-P Marchand, la base des calcaires repose sur une série de calcschistes lités et de schistes gris-bleu qui peuvent constituer le plancher de la Cigalère.

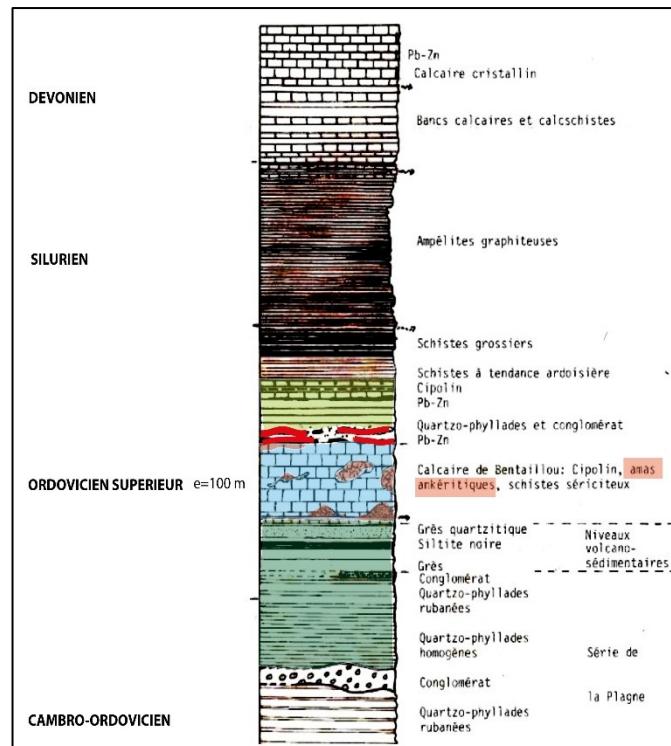


Figure 5 Log géologique de la série du Bentaillou (d'après D. Roucheux)

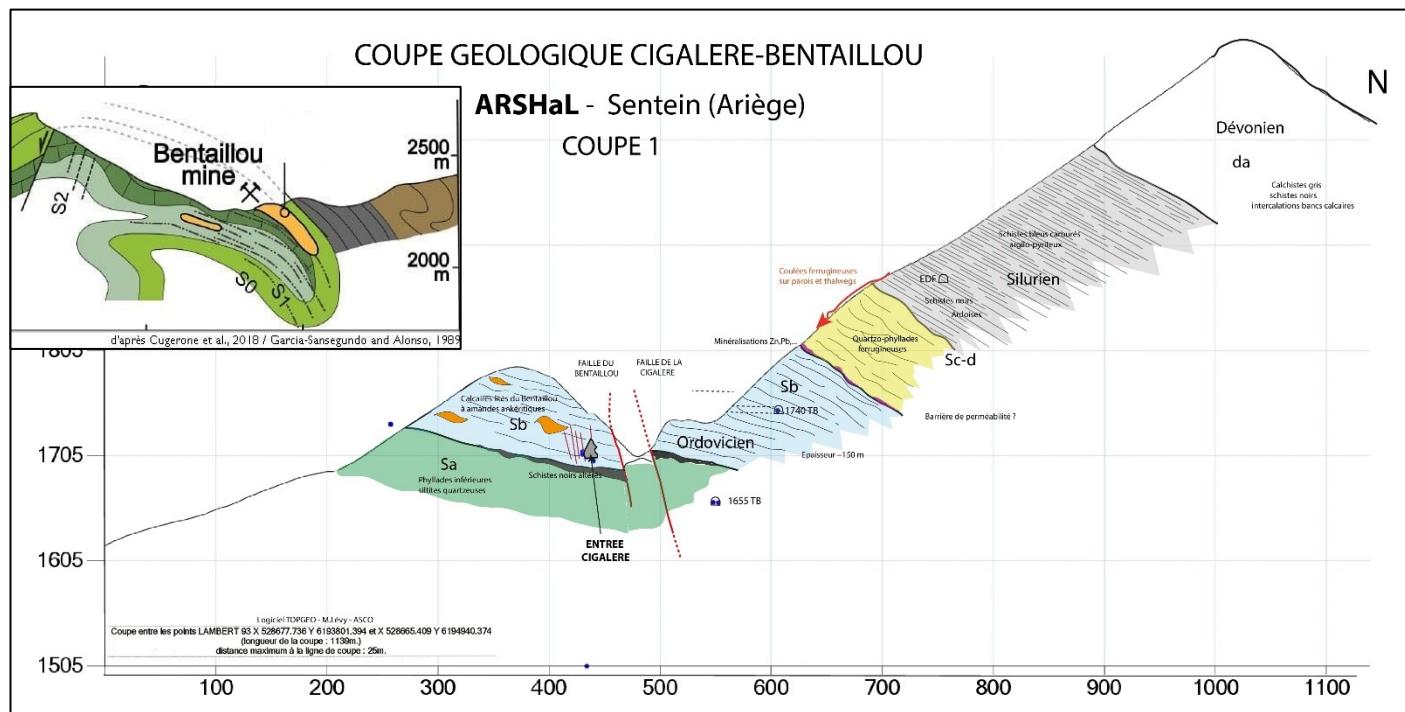


Figure 6 Coupe géologique Nord-Sud au niveau de l'entrée de la Cigalère

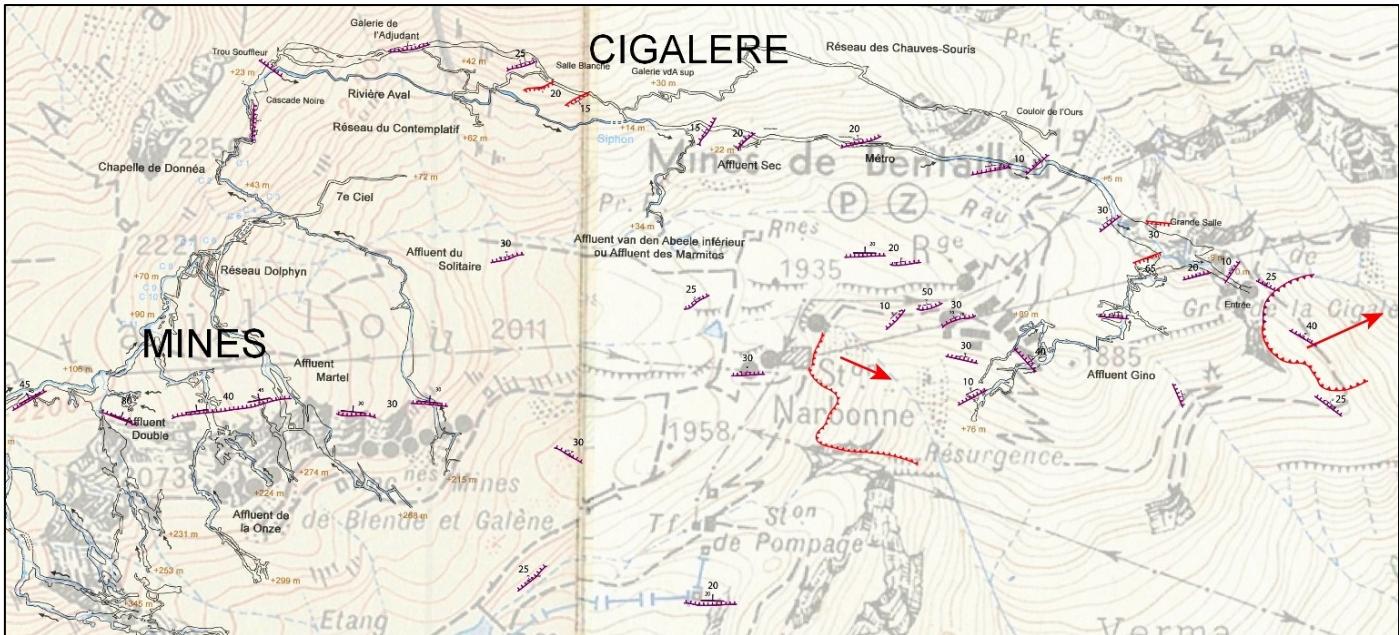


Figure 7 Carte des pendages du secteur Bentaillou-Cigalère

Structures :

- Pas d'indices de pli couché en surface, ni de plissements, en dehors des bordures de failles, en mine ou dans la grotte de la Cigalère (fig. 6)
- A Chichoué, présence d'une faille importante N110° qui se divise vers l'Ouest.
- Réseau dense de diaclases N10 à 30° au NE de Chichoué (fig. : 8)
- Au nord du Bentaillou, les failles importantes sont Est-Ouest.

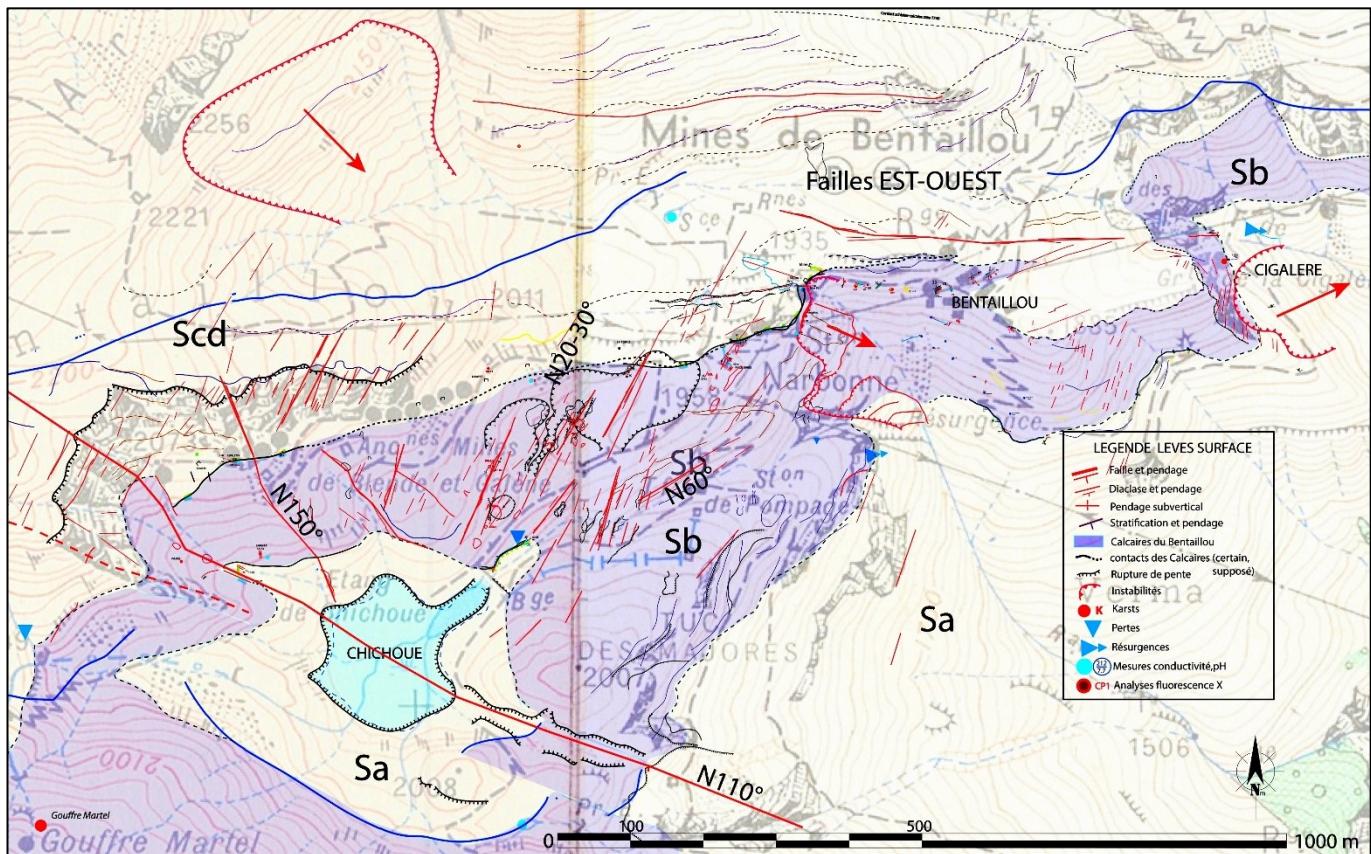
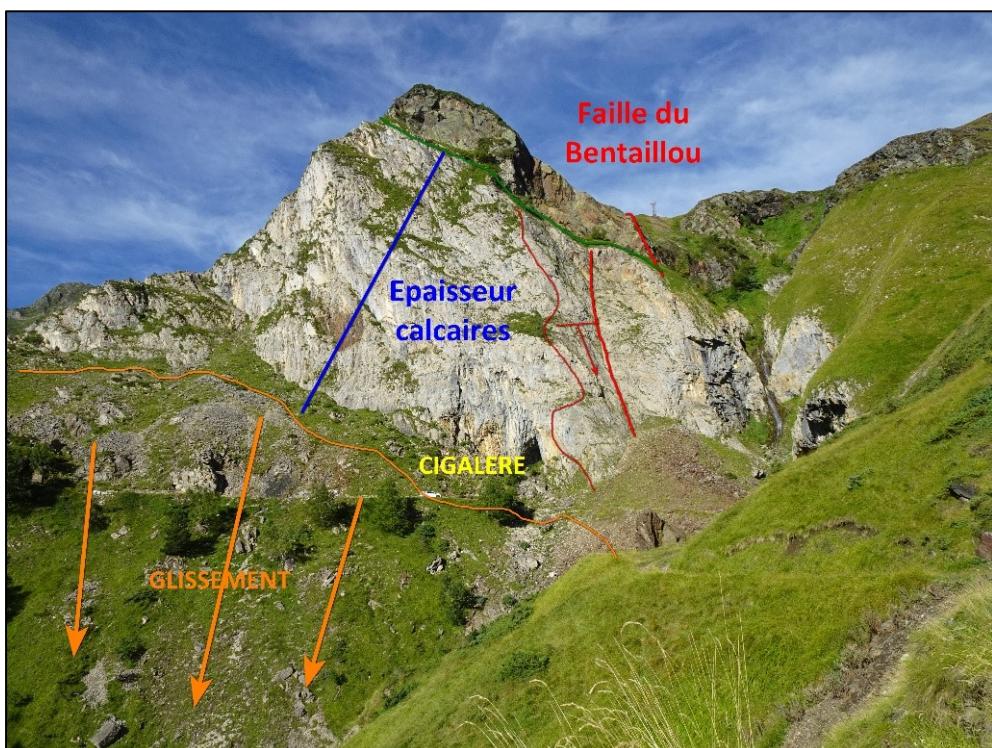
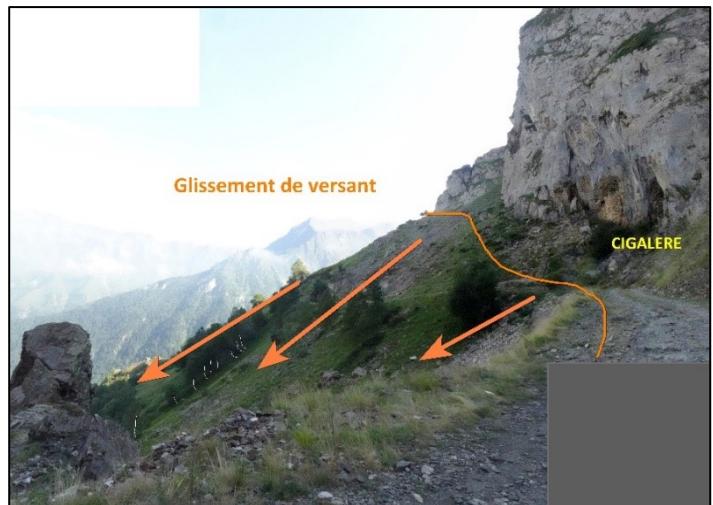


Figure 8 Carte des structures de surface

Instabilités :

- Entrée de la Cigalère : glissement du versant sous l'entrée (arbres déformés) sur les schistes altérés (voir photo).
- Entrée Mine St Louis : verre décrochée sur plan important N10° (voir photo)
- Indices possibles de glissement en masse au nord de la résurgence de Chichoué, à rechercher.
- Versant du Pic de l'HAR : glissement sur les schistes noirs siluriens (D. ROUCHEUX).



GEOMORPHOLOGIE

Morphologie glaciaire :

Le secteur présente un relief glaciaire prononcé avec une vallée à parois verticales (J-L MARCHAND - 1974), ce qui permet d'en dessiner les contours (fig. : 9). Le calcaire a peu été érodé par le glacier et a constitué ainsi une surface de base. Les formes du calcaire sont héritées d'une morphologie glaciaire ou antérieure, préservée par le glacier. On observe deux secteurs avec surcreusement de la vallée glaciaire (ombilic glaciaire). Après le retrait du glacier, ces dépressions sont occupées par des lacs de taille variable qui se comblent peu à peu par les colluvions de versant.

Morphologie karstique :

Au vu des conditions morphologiques, géologiques et spéléologiques, l'hypothèse de l'existence de paléopoljés peut être émise. Il s'agit d'une dépression à fond plat plus ou moins fermée dans l'axe de l'ancienne vallée. Les conduits karstiques explorés et topographiés dans les affluents de la grotte de la Cigalère, se répartissent « régulièrement » en auréole autour du périmètre de la cuvette de Chichoué. Les altitudes atteintes dans ces affluents sont cohérentes avec celles de la paroi de la cuvette calcaire lapiazée. L'eau du poljé a ainsi pu être évacuée par ces différents conduits naturels. Les conduits de l'affluent Gino et de la résurgence de Chichoué plus en amont, auraient aussi pour origine le bord est de la cuvette aujourd'hui érodé par le recul de la vallée du Haut Lez. Le fond de ce poljé est étanche par la présence des quartzophyllades inférieures sous-jacentes au calcaire. Les circulations sous glaciaires ont amenées des galets, graviers et sables morainiques dans la grotte de la Cigalère, dont il reste aujourd'hui des témoins.

Une autre morphologie de ce type pourrait être recherchée plus en amont de la vallée, au niveau des étangs Floret et Albe. Le réseau du gouffre Martel serait alors l'ancien exutoire de cette plaine. (Fig. : 10)

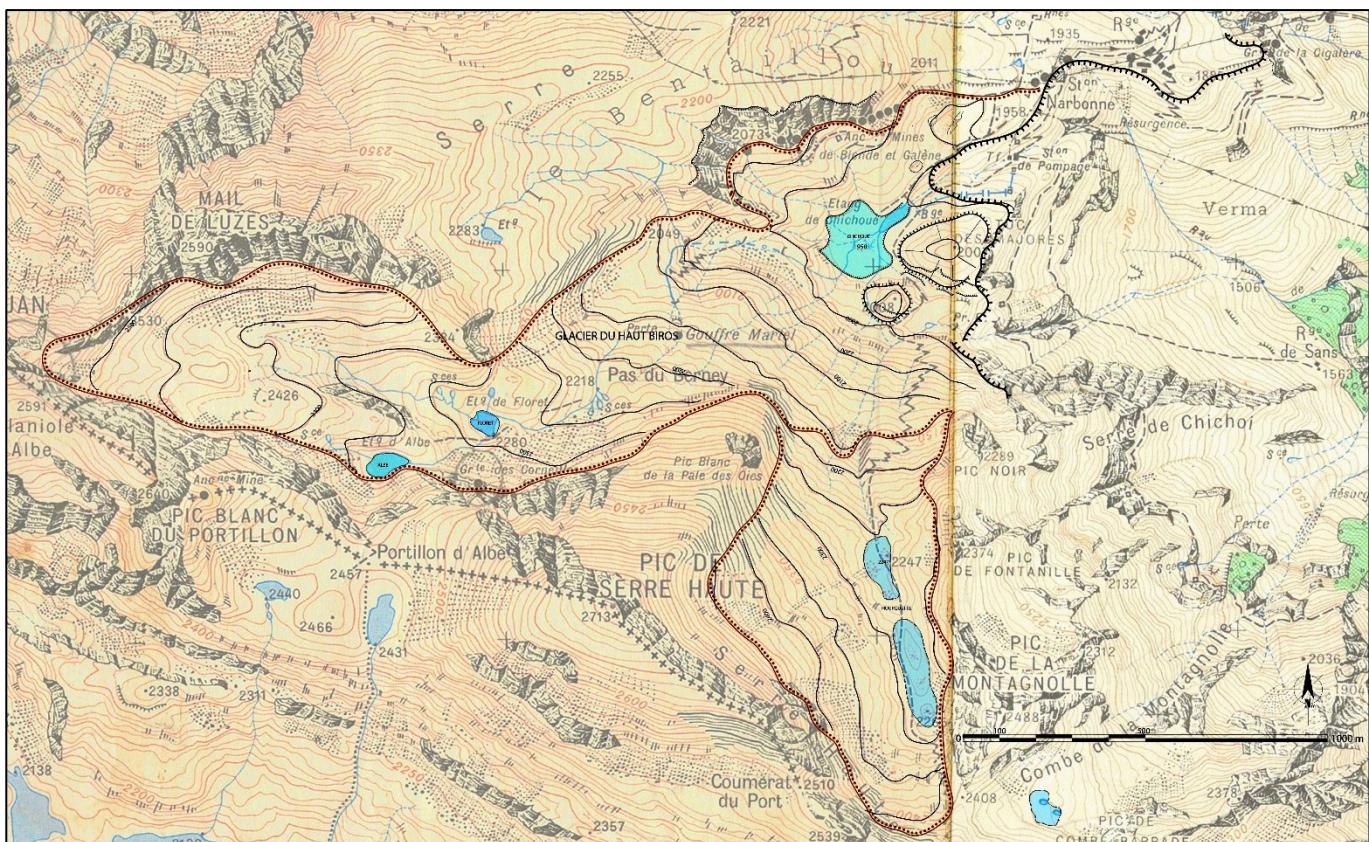


Figure 9 Carte de l'extension du glacier du Haut Biros

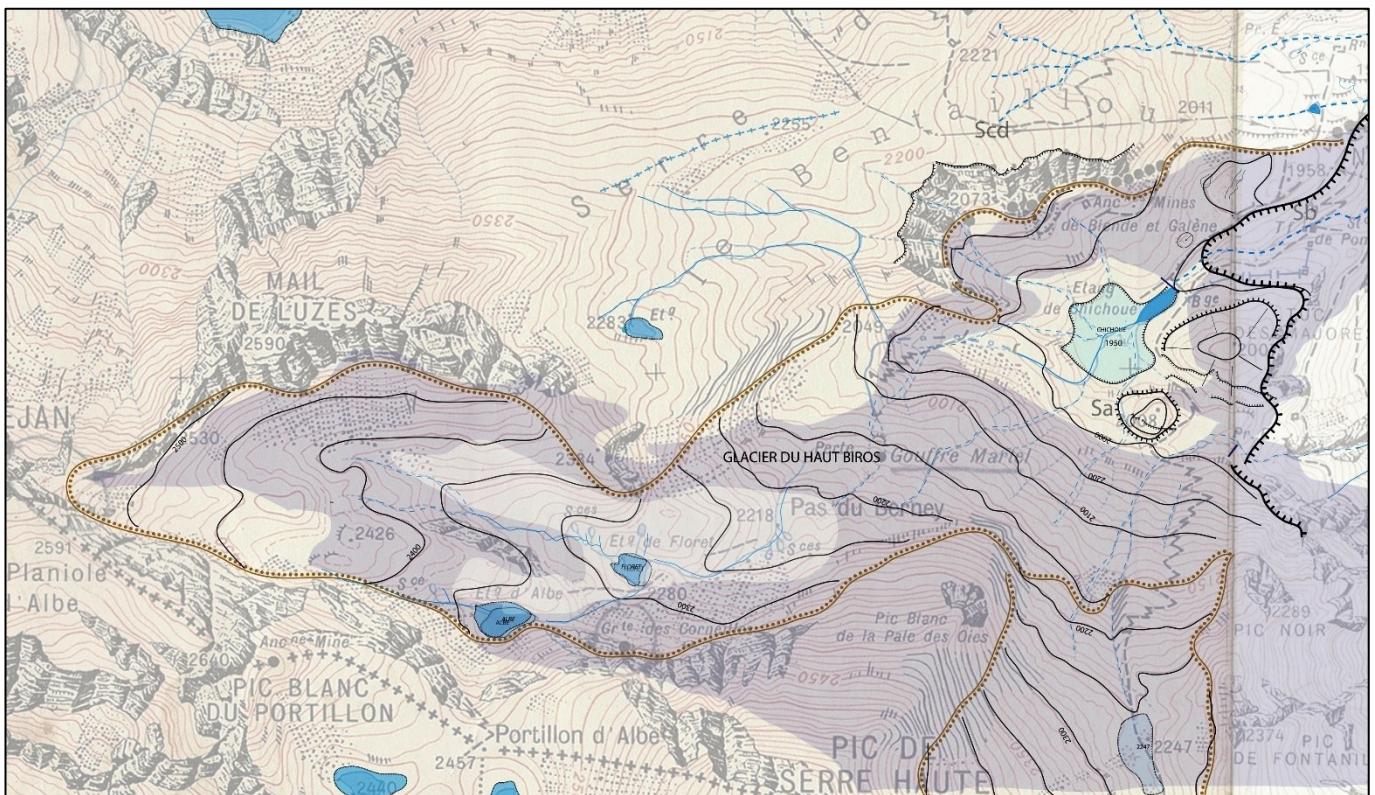


Figure 10 Géomorphologie glaciaire et les calcaires

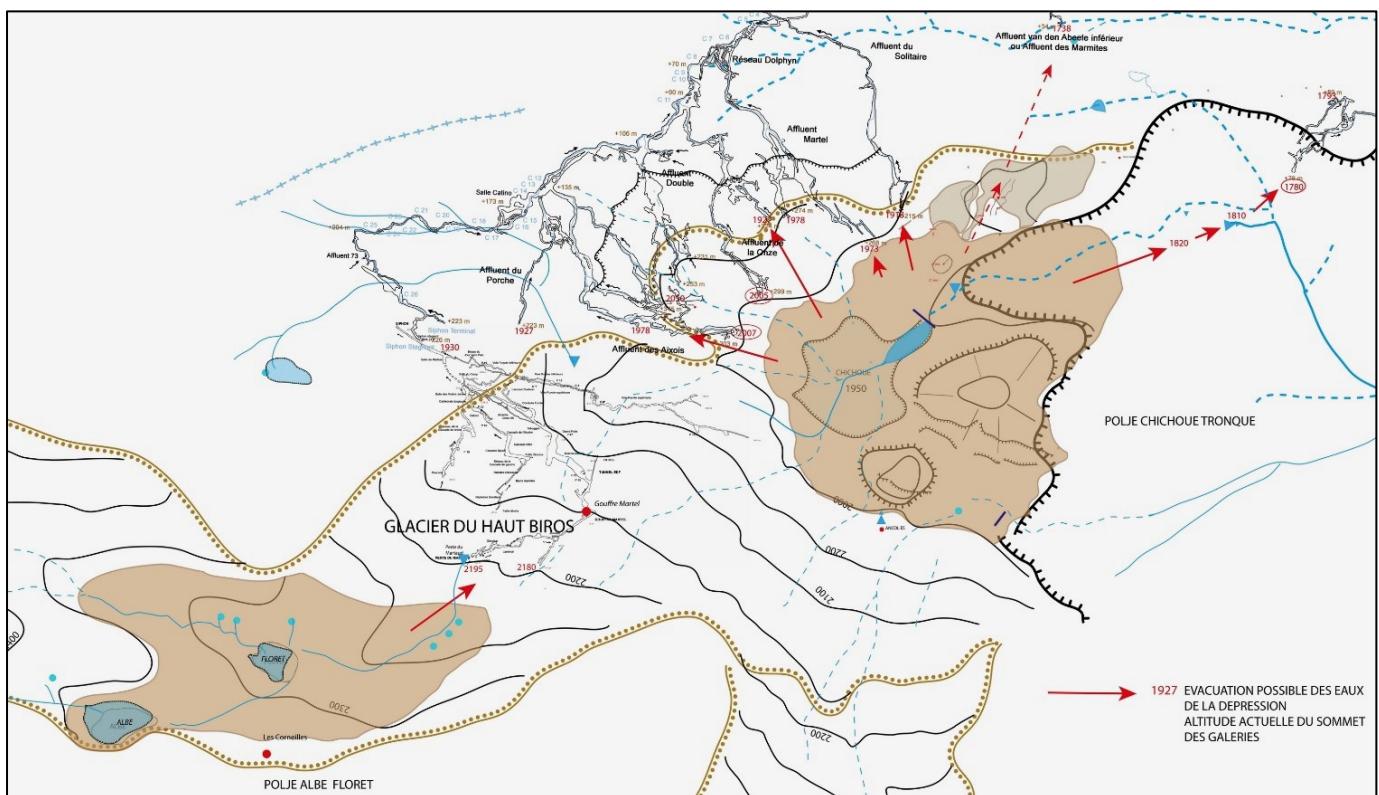


Fig. 10 Carte de l'hypothèse des Poljés



Figure 11 Photos du polje de Chichoué



Dolines dans le poljé sous les mines

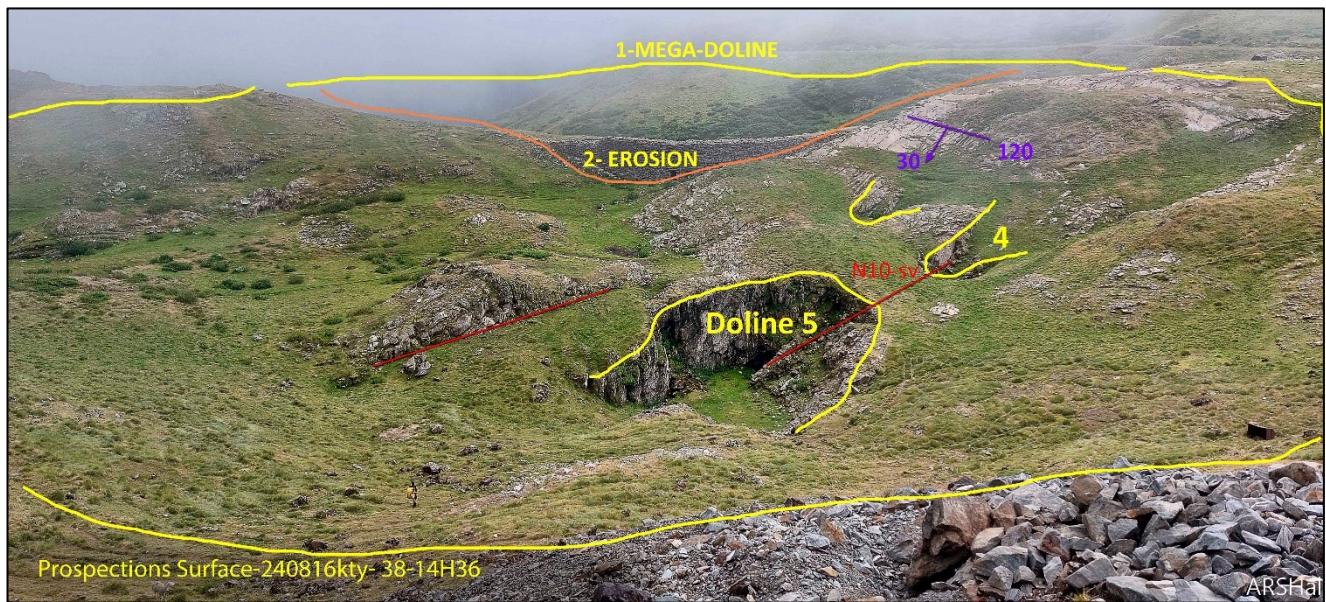


Figure 12 Photos des dolines

LEVES DANS LA GROTTE DE LA CIGALERE :

Les levés ont porté sur la galerie principale jusqu'à la 1^{ère} cascade et sur le début de l'affluent Gino. (Fig. : 11)

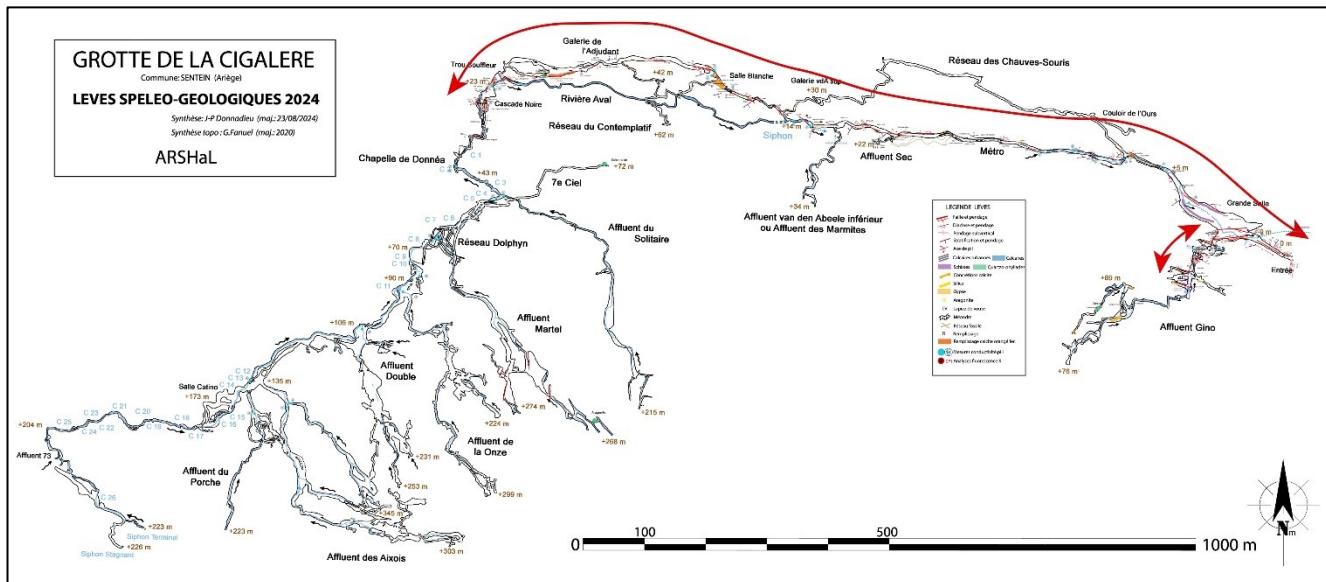
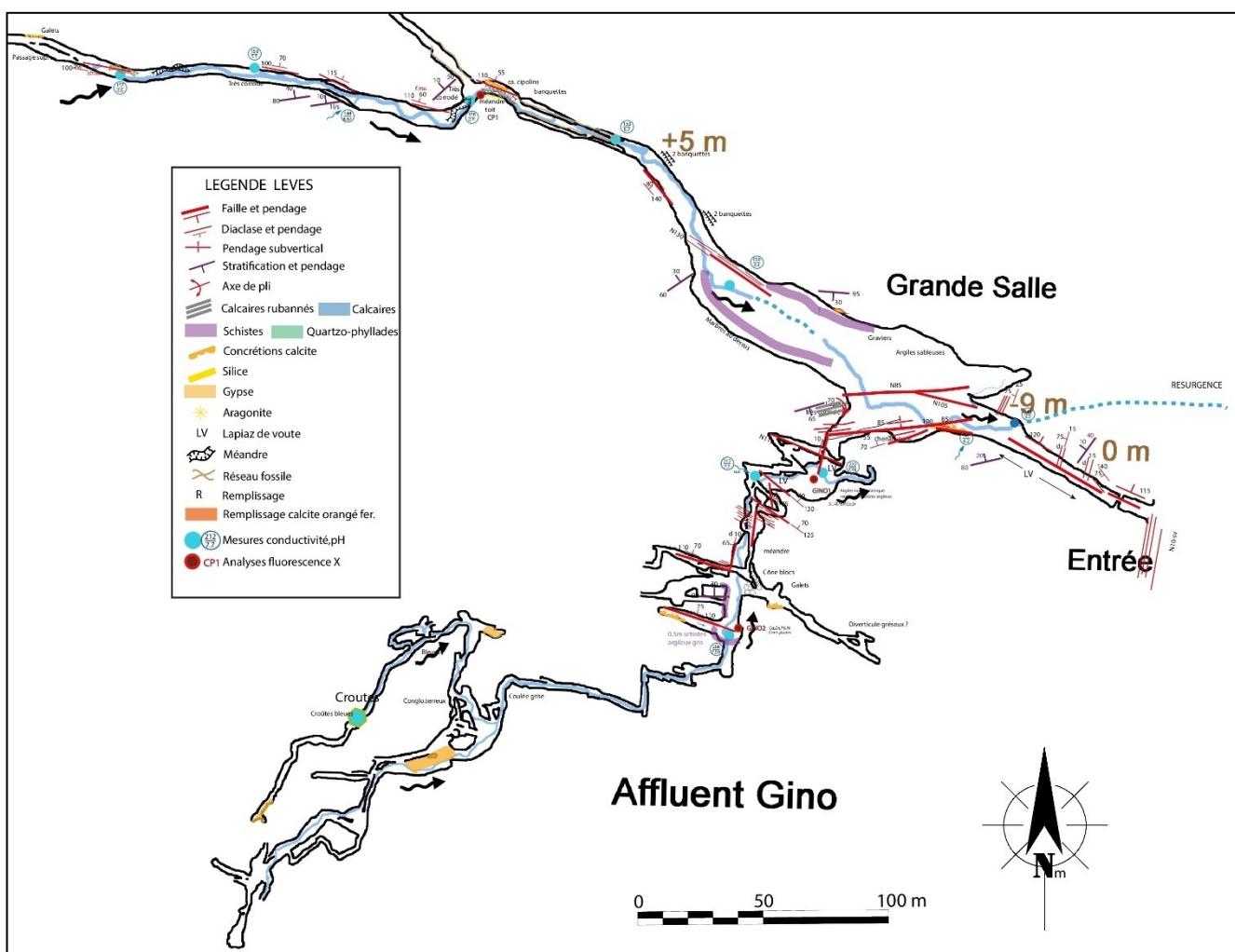


Figure 13 Carte de localisation des levés dans la Grotte de la Cigalère



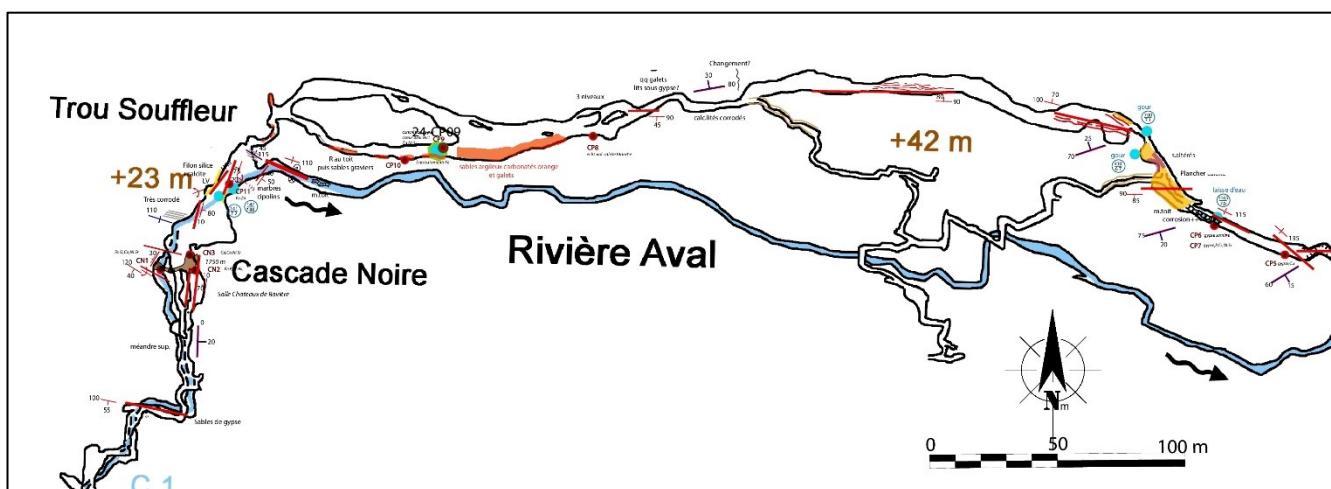
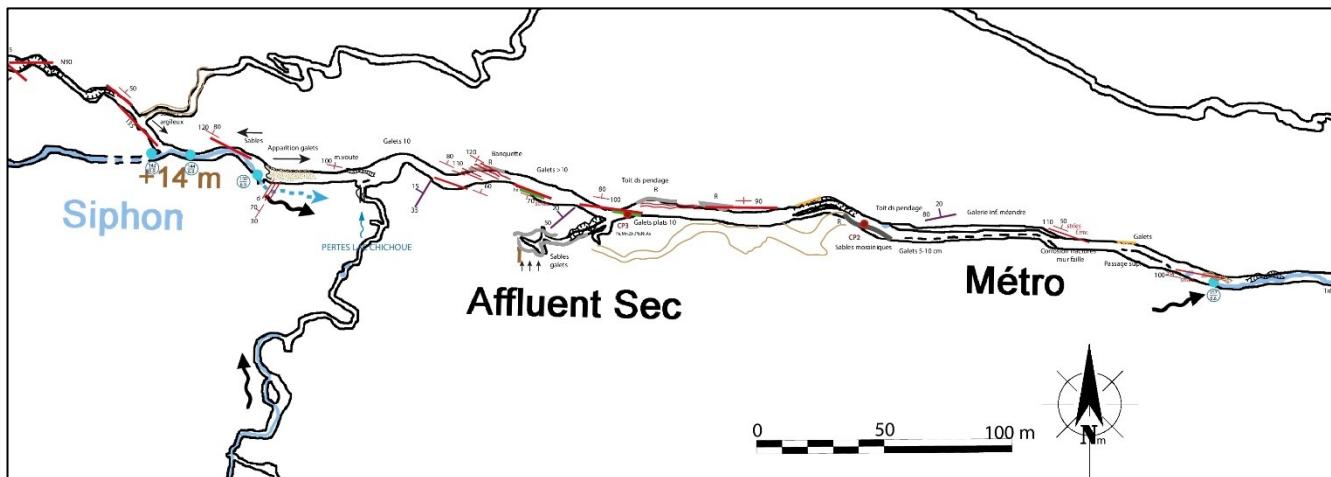


Figure 14 Extraits de la carte des levés géologiques dans la Grotte de la Cigalère

Toit des schistes :

Le toit des schistes (ou calschistes, à vérifier), a été localisé sur trois sites dans le Cigalère :

- Au début de l'affluent Gino, le contact est souligné par des schistes altérés sombres. Le pendage du contact est N90°- 30°s. Les galeries se développent au toit du contact.
- Dans la partie NW de la Grande Salle où un « dôme » de schistes occupe la majorité du parement sud de la salle. Le pendage du contact est variable (N95°-30 s à N60°-30 n), en raison de sa situation entre les deux failles majeures du secteur, Faille du Bentailou au sud et Faille de la Cigalère au nord.
- Les schistes apparaissent au plancher de la Salle Blanche, dans sa partie nord.

Pour l'instant, on peut donc en conclure qu'une grande partie de la galerie Principale est au toit du contact inférieur calcaires/schistes, avec un faciès de schistes argilisés altérés. Ces schistes gris-noirs s'observent aussi à l'entrée de la Cigalère et un peu à l'aval sur la piste.

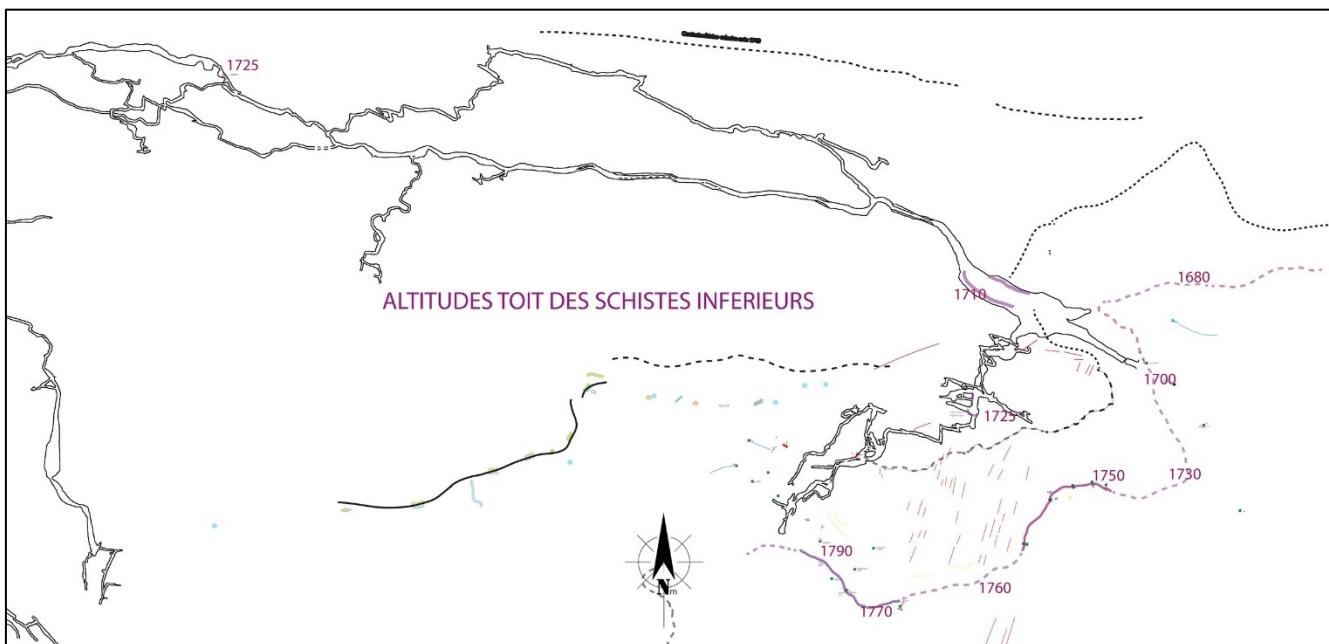


Figure 15 Carte altitude du toit des schistes

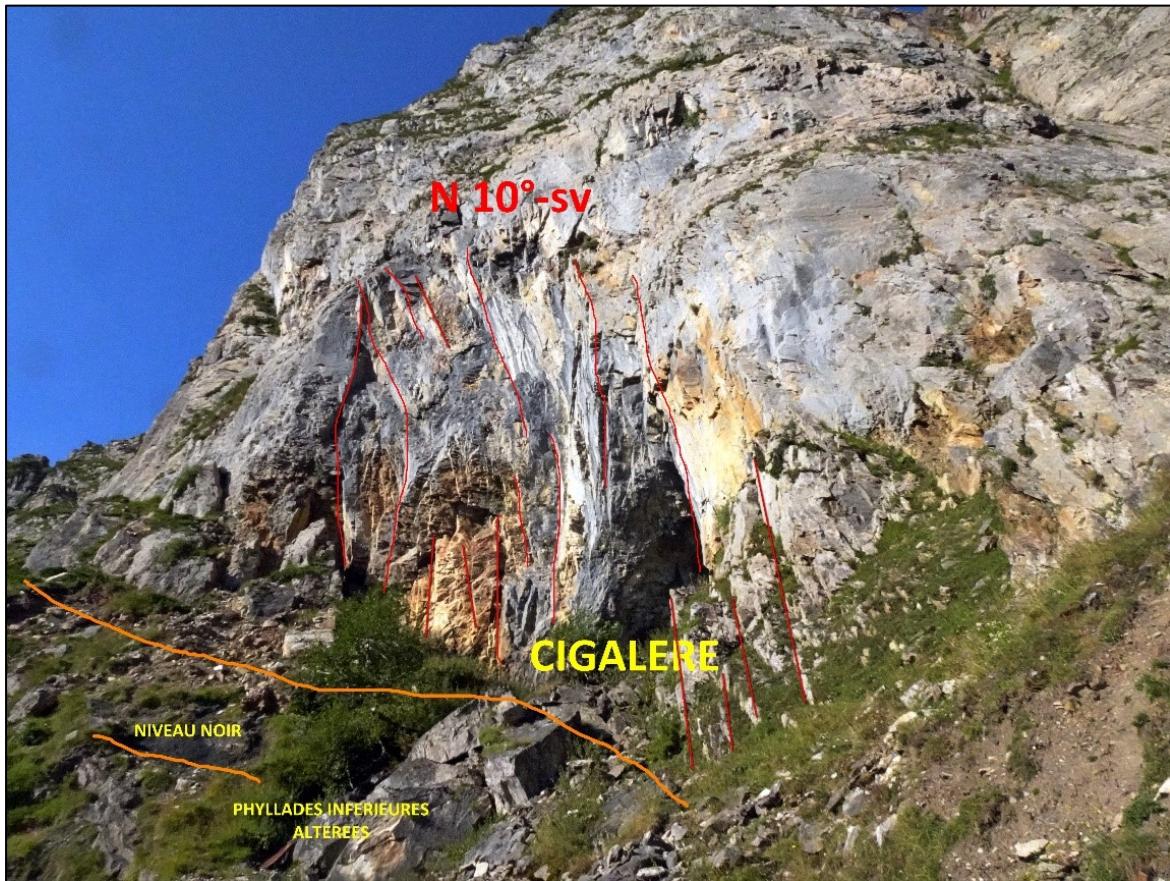


Figure 16 Photo de l'entrée de la Cigalère

Fractures N10°- sv entrée de la Grotte de la Cigalère et karst associé.

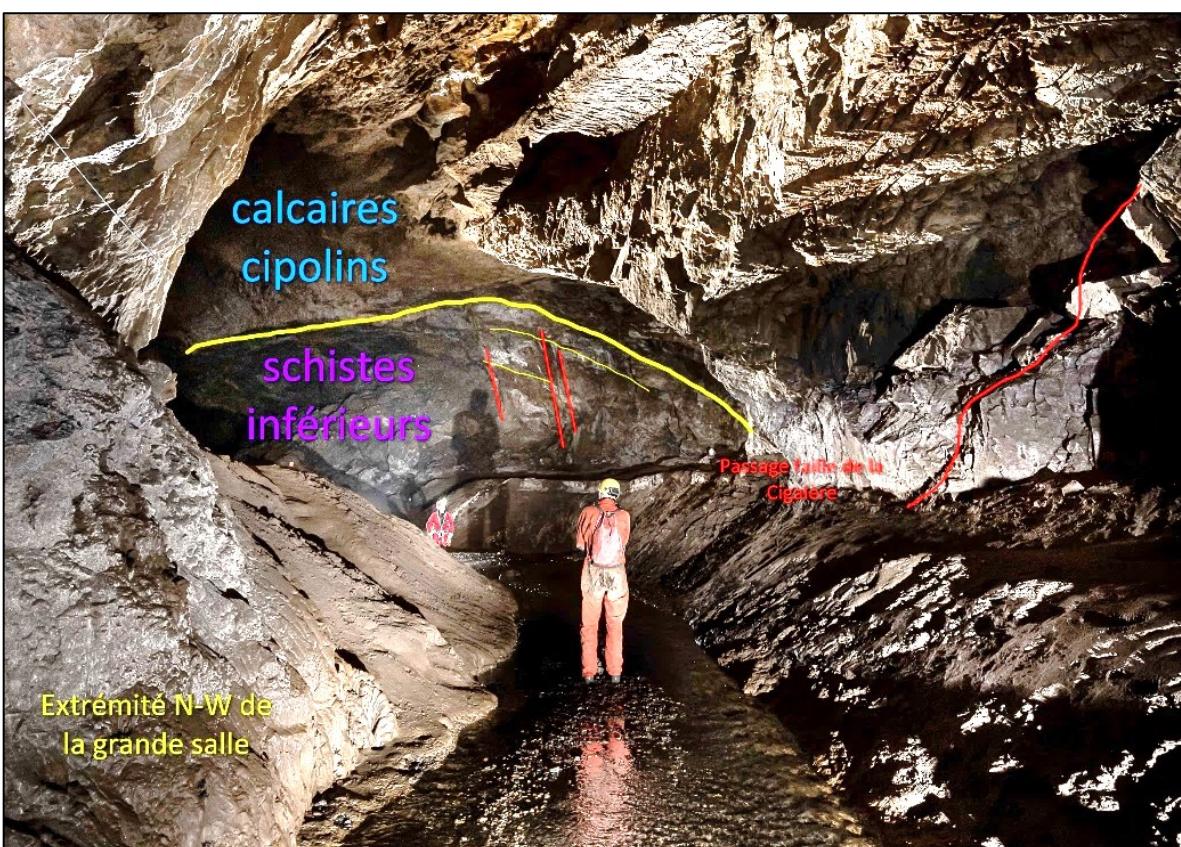
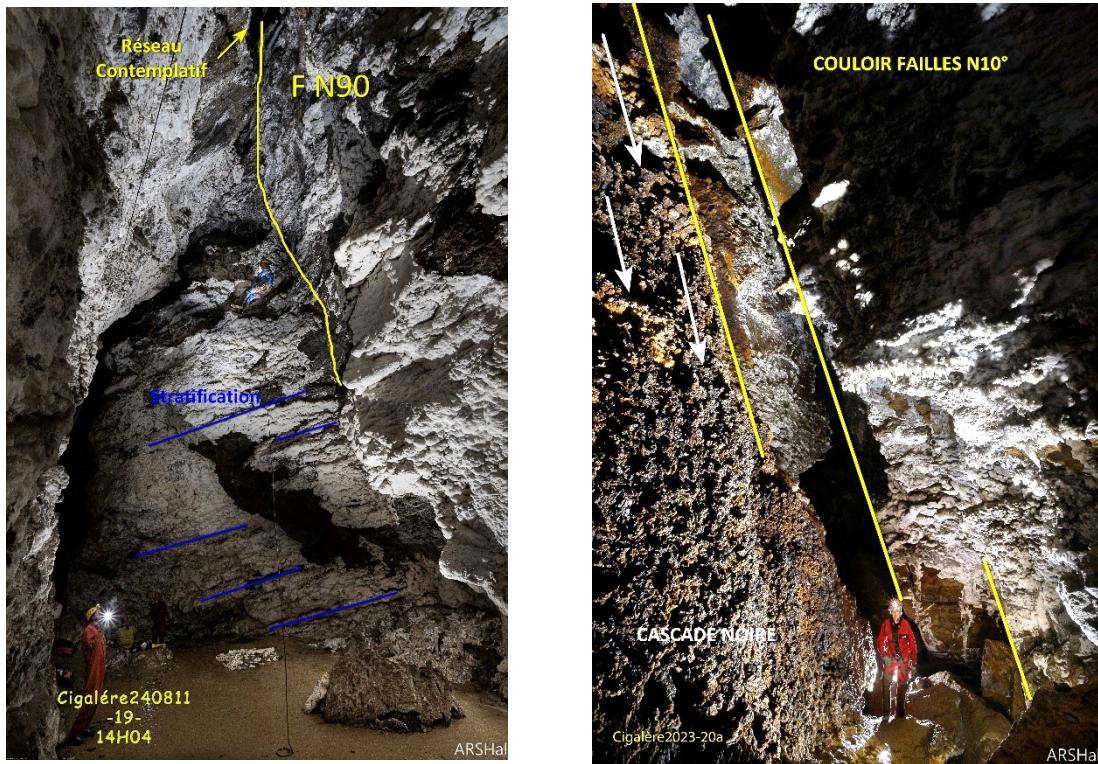


Figure 17 Photo de la Grande salle, contact schistes-calcaires

Les structures et pendages :

Les structures relevées dans la première partie de la cavité (Galerie Principale et affluent Gino) se succèdent sans continuité apparente tout au long des 1700 m de galeries. (Fig. : 9). Il s'agit de fractures qui se relaient, de direction N110°- N120° - N135° à pendage fort vers le nord (50 à 80°), décalant des sections avec des failles E-W (plutôt verticales), cas de la Salle des Colonnes ou les diaclases associées sont soulignées par le gypse.



Le secteur de la Grande Salle est au carrefour de deux failles majeures du massif, reconnues dans la Mine du Bentailou :

- **Faille du Bentailou** : N85° qui s'oriente vers l'Ouest en N70°. C'est elle qui isole vers le Sud l'affluent Gino.
- **Faille de la Cigalère** : N100°-50°n qui abaisse le compartiment nord de plusieurs dizaines de mètres. Elle est visible au début du réseau actif sous le Trou Souffleur, avec présence de plis en crochons à son contact. Les couches calcaires sont verticalisées jusqu'à la Cascade Noire. C'est dans cette bande de 40 m que l'on observe un filon de silice N40°.

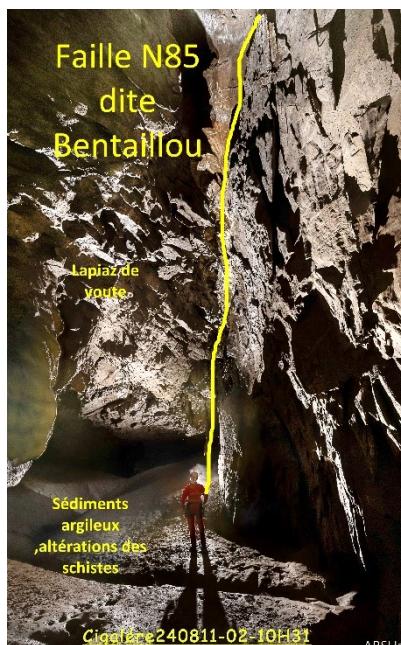


Figure 18 Photos des structures dans la Cigalère

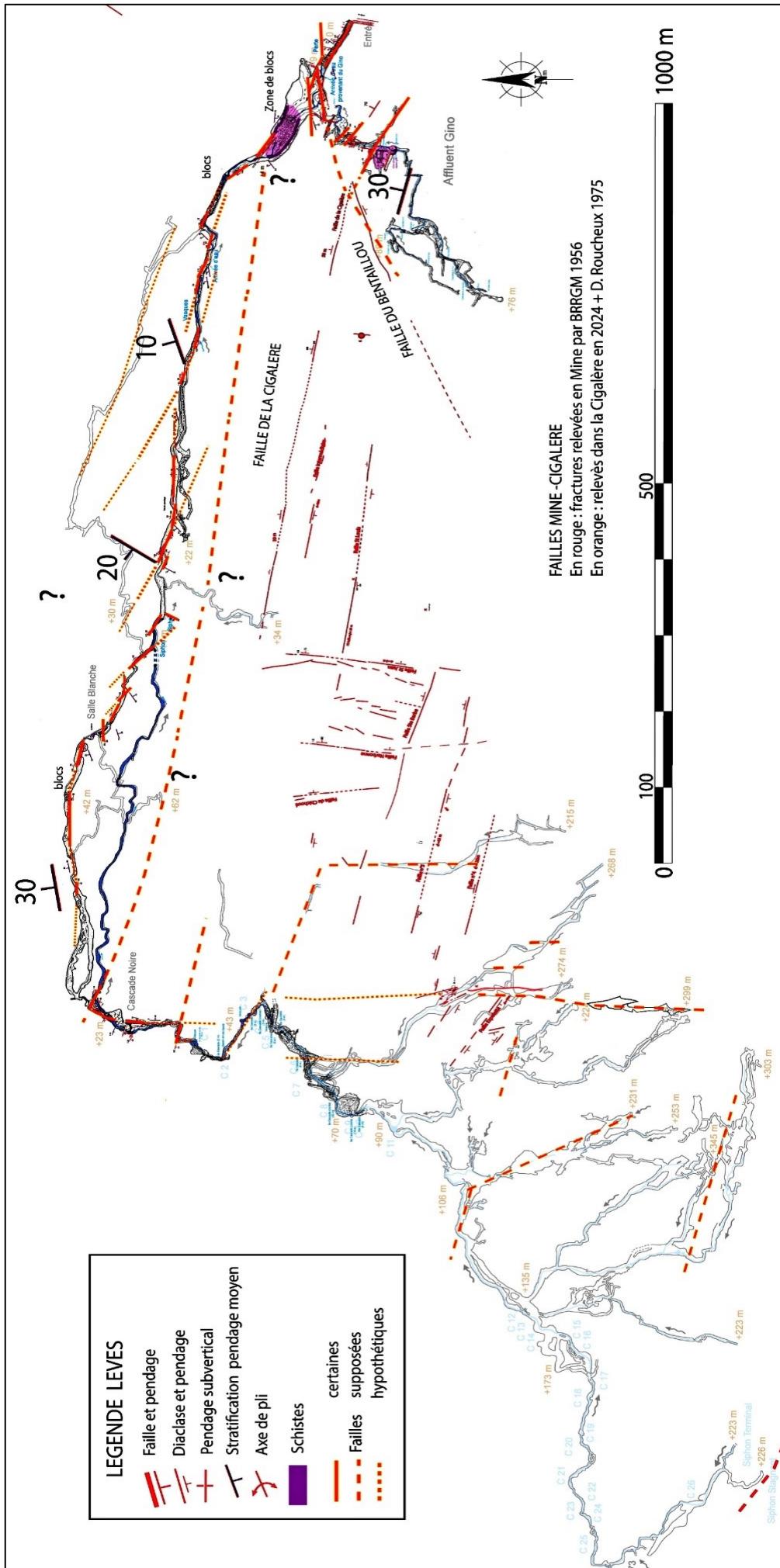


Figure 19 Plan des structures de la Cigalère et de la Mine du Bentaillou

La grotte change de direction après le Trou Souffleur, à la faveur d'un important couloir bordé par des failles d'abord N30°, puis N20° et N10° au sud de la Cascade Noire. Ce large couloir se prolonge vers le sud (Salle des Châteaux de Bavière) et se retrouve 400 m plus loin dans la Mine (karst ATD) et l'affluent Martel avant de rejoindre la cavité rectiligne du Sanglier. Ce type de structure était déjà connu en Mine : Failles St Jean et Narbonne et dans la grotte : affluent du Solitaire (à confirmer).

Cette direction n'a pas été observée dans la grotte au nord de la Faille de la Cigalère.

Il y a donc un compartimentage important de la grotte de part et d'autre de la Faille de la Cigalère. Son passage doit être recherché dans les réseaux du Contemplatif et des Marmites.

ANALYSES AU FLUORIMETRE X DANS LA GROTTE DE LA CIGALERE :

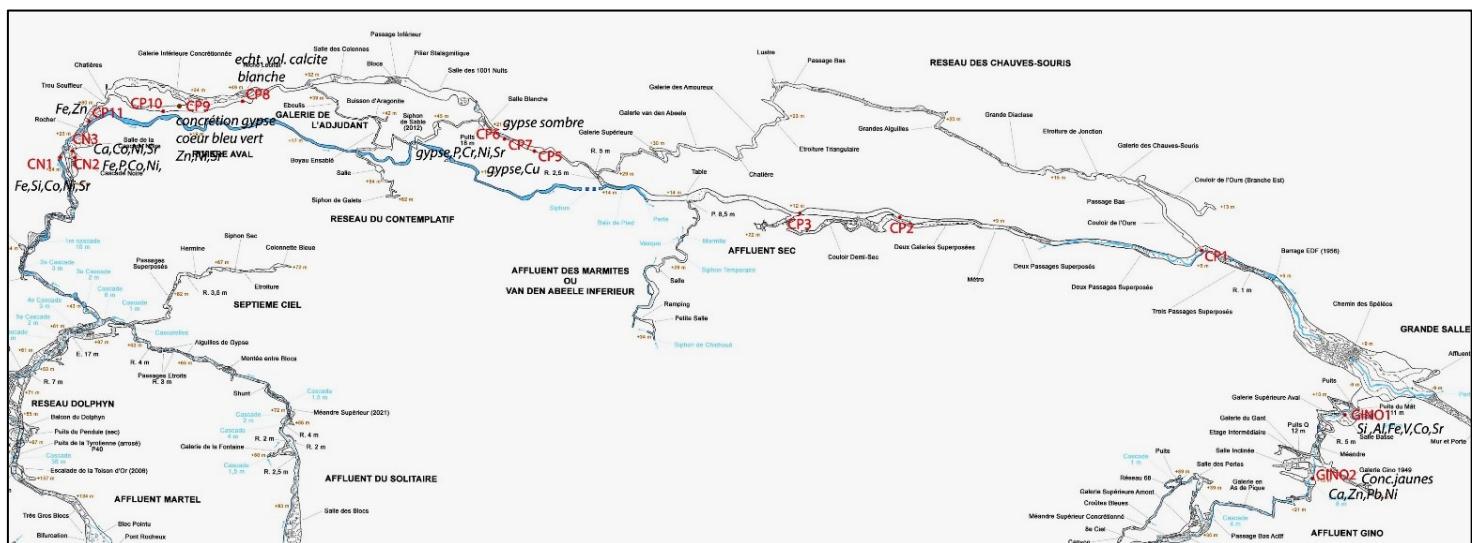
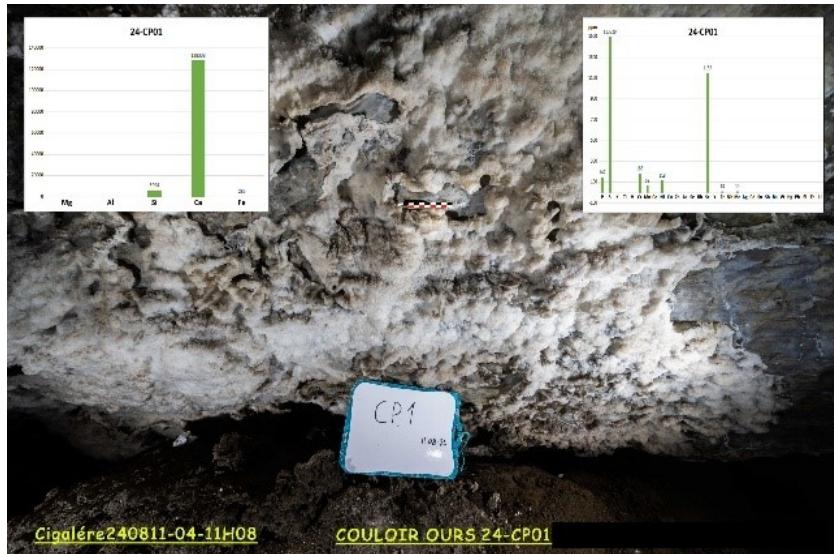


Figure 20 Plan et tableau des points d'analyses au Fluorimètre X

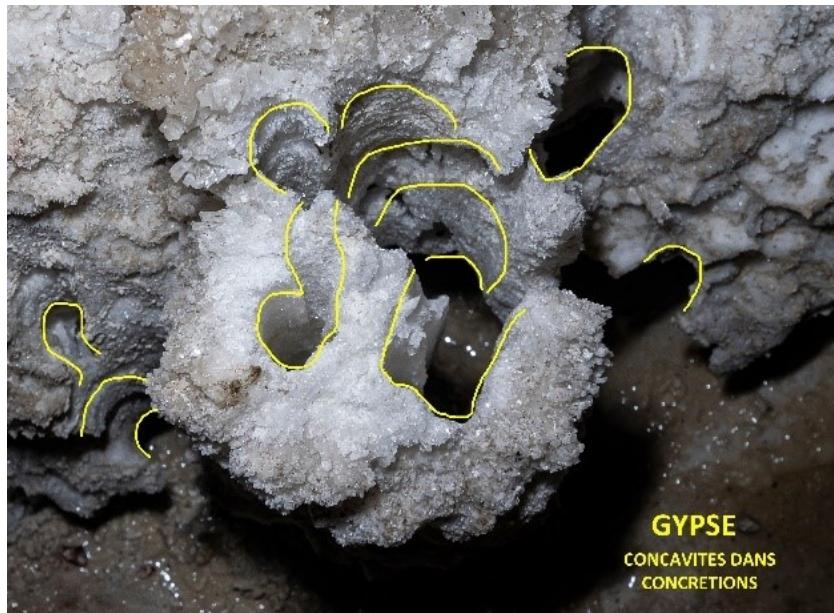
TYPE SITE	SITE	LOCALISATION	Station VTOPO	N°	DESCRIPTION
GROTTÉ	CIGALERE	COULOIR OURS	CIG-CP-19	24-CP01	aragonite ou gypse
GROTTÉ	CIGALERE	COURS PRINCIPAL	CIG-CP-32	24-CP02	sables argileux glaciaires
GROTTÉ	CIGALERE	COURS PRINCIPAL	CIG-CP-35	24-CP03	enduit fer et calcaire
GROTTÉ	CIGALERE	COURS PRINCIPAL	?	24-CP04	filon minéralisé
GROTTÉ	CIGALERE	COURS PRINCIPAL	CIG-CF-59	24-CP05	Minéralisation Cu ?
GROTTÉ	CIGALERE	COURS PRINCIPAL	CIG-CF-63	24-CP06	cristaux noirs en paroi
GROTTÉ	CIGALERE	COURS PRINCIPAL	CIG-CF-63	24-CP07	Gypse blanc encroûtement
GROTTÉ	CIGALERE	COURS PRINCIPAL	CIG-CF-93	24-CP08	filon blanc
GROTTÉ	CIGALERE	AVANT TROU SOUFFLEUR	CIG-CF-99	24-CP09	concrétion bleue
GROTTÉ	CIGALERE	AVANT TROU SOUFFLEUR	CIG-CF-100	24-CP10	gypse noir
GROTTÉ	CIGALERE	APRES TROU SOUFFLEUR	CIG-CF-117	24-CP11	au dessus du quartz
GROTTÉ	CIGALERE	CASCADE NOIRE	CIG-CMI-3	24-CN01	minéraux jaunes base cascade dans actif
GROTTÉ	CIGALERE	CASCADE NOIRE	CIG-CM-122	24-CN02	Gypse enduits noirs
GROTTÉ	CIGALERE	CASCADE NOIRE	CIG-CM-121	24-CN03	Gypse clair
GROTTÉ	CIGALERE	GINO	CIG-GINO-03	24-GIN01	Argile noire plastique
GROTTÉ	CIGALERE	GINO CASCADE	CIG-GINO-12	24-GIN02	Concrétions jaunes

Les concrétions :

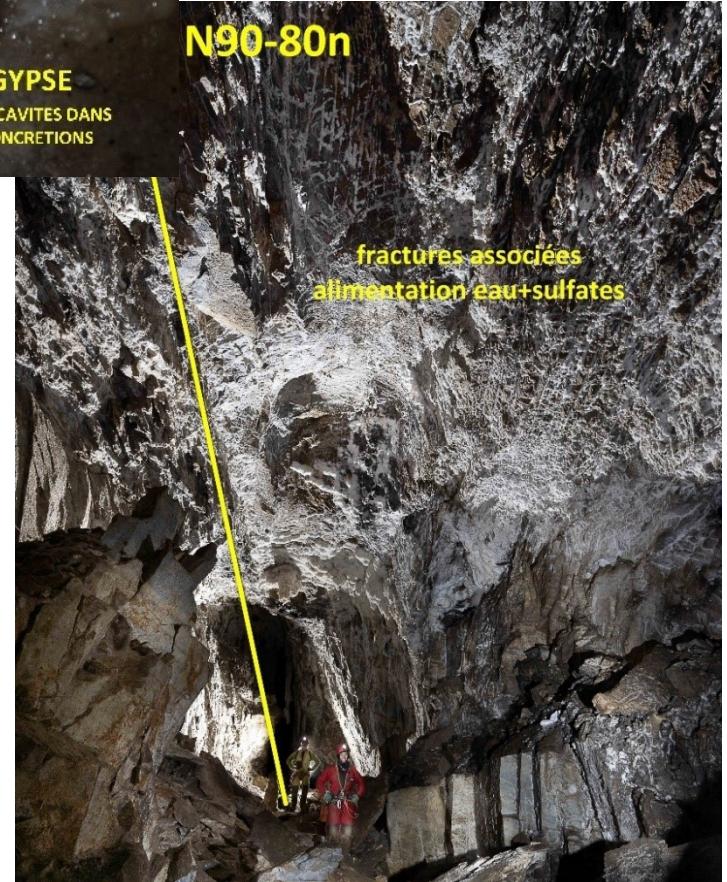


Le gypse :

CP1 : Croute de gypse près entrée du Couloir de l'Ours.
L'analyse confirme la présence de Sulfates de Calcium accompagnés de Silice.
Les métaux en traces, P, Ni et Cr vont se retrouver souvent dans les analyses suivantes. Ce sont des marqueurs dont la source est à rechercher soit dans les minéralisations du Bentaillou, soit dans les terrains siluriens !



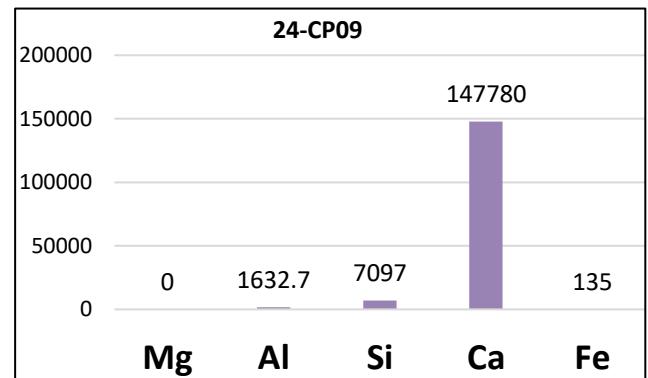
Concrétiōns de gypse avec cavités de dissolution par de gouttes d'eau



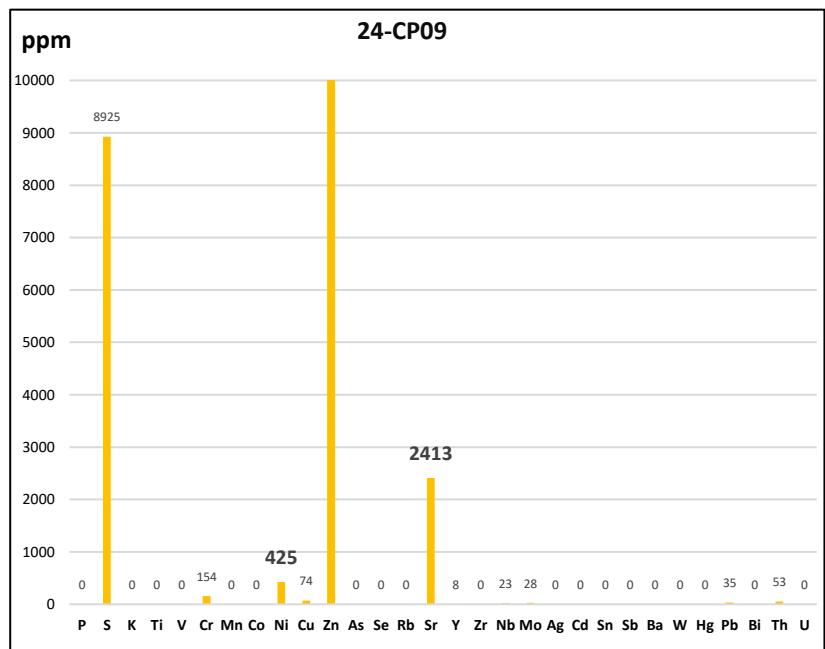
Galerie après la Salle Blanche : orientée sur une faille E-W avec un large couloir de diaclases associées qui ont contribué à l'effondrement de blocs et l'élargissement de la galerie.

Les fluides chargés en sulfates de calcium percolent sous pression dans ces fractures et contribuent lors de précipitation du gypse à l'éclatement de la roche en parois.

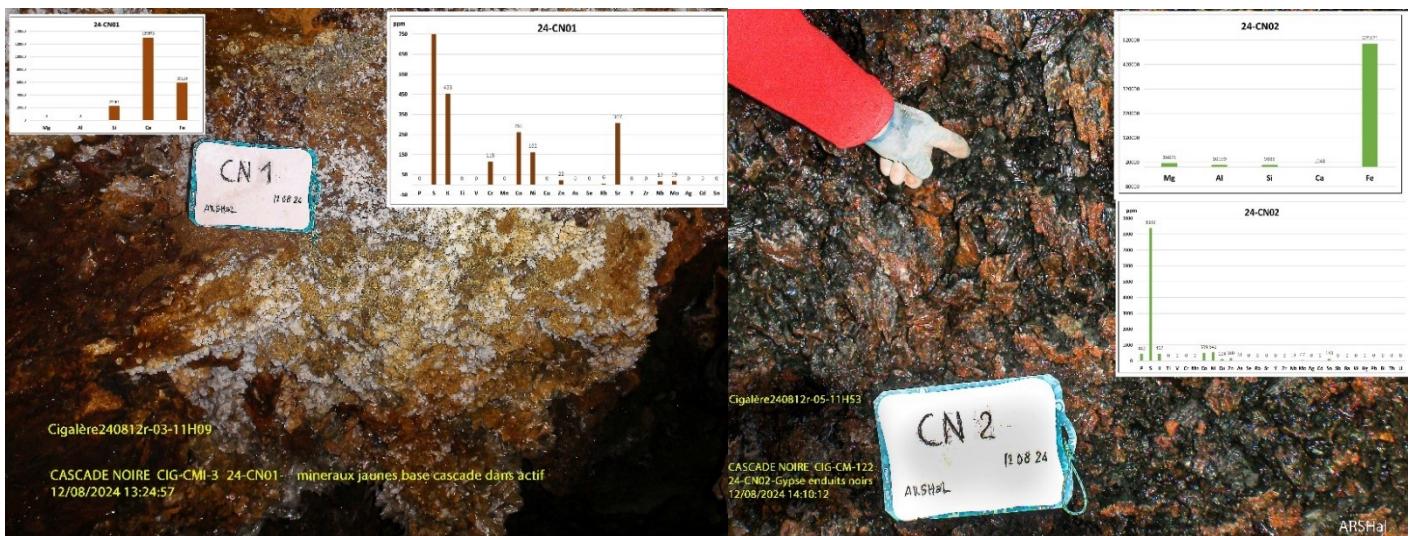
Concrétion bleue avant le Trou Souffleur :



CP09 : La coloration bleue est liée à une association des métaux Zinc, Strontium et Nickel

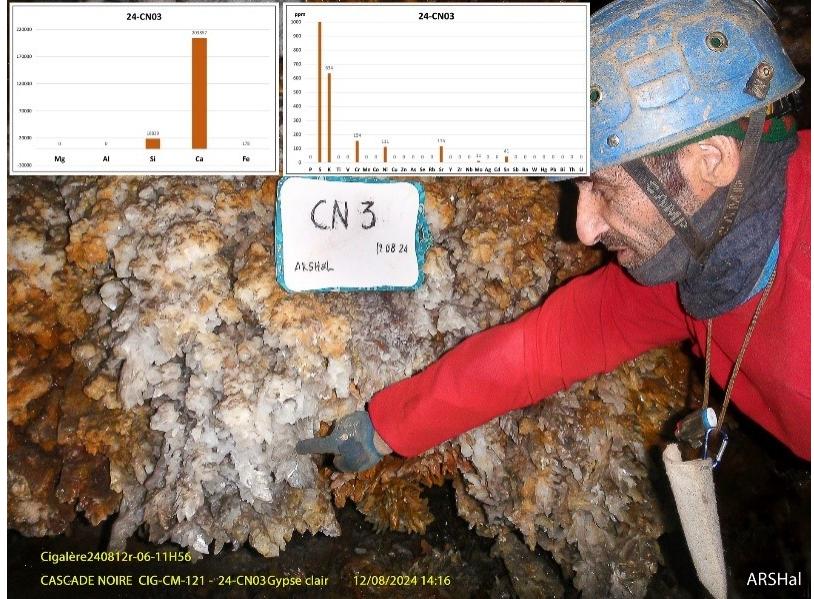


Cascade Noire :

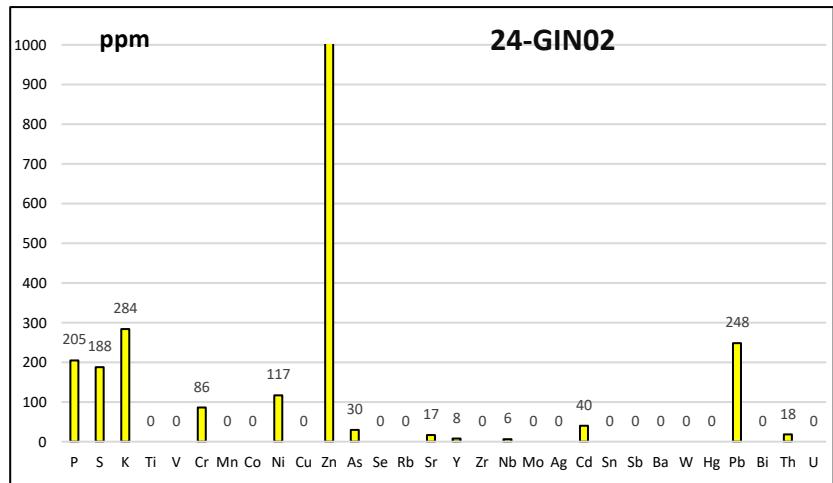


- CN1** : gypse avec **Fer** et argiles, métaux en traces Chrome, Cobalt, Nickel
- CN2** : enduit ferrugineux sur gypse avec métaux en traces Cobalt Nickel, Zinc
- CN 3** : gypse clair avec Chrome, Nickel

La « cascade » de gypse a pour origine le sommet du couloir de faille N10° à 20° qui se relit vers le sud avec des structures similaires dans la partie Ouest de la Mine du Bentaillou.

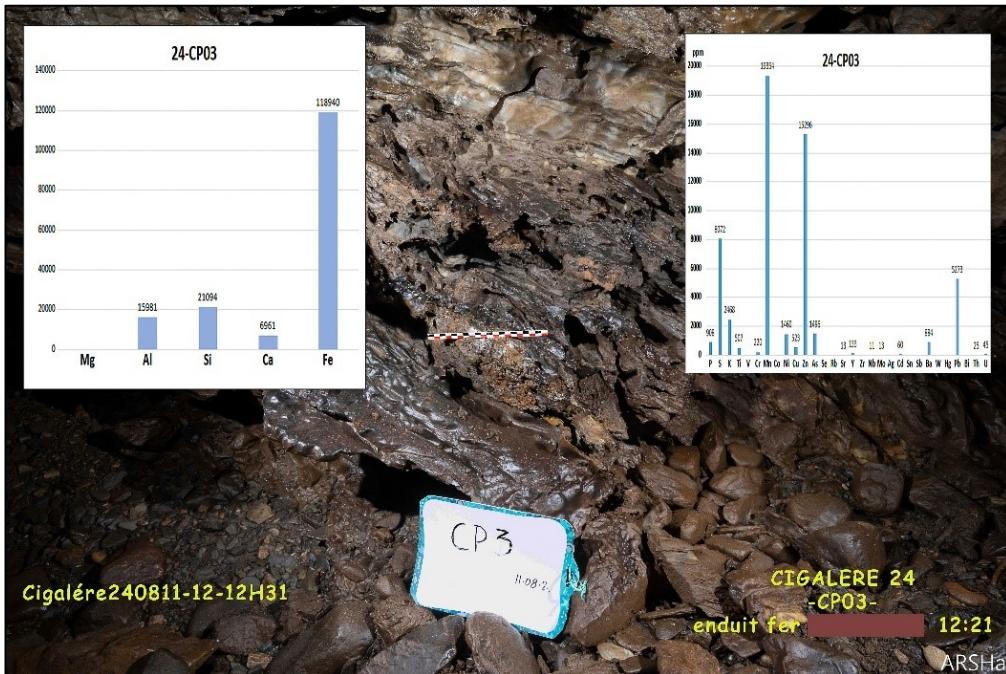


Affluent Gino concrétions jaunes :

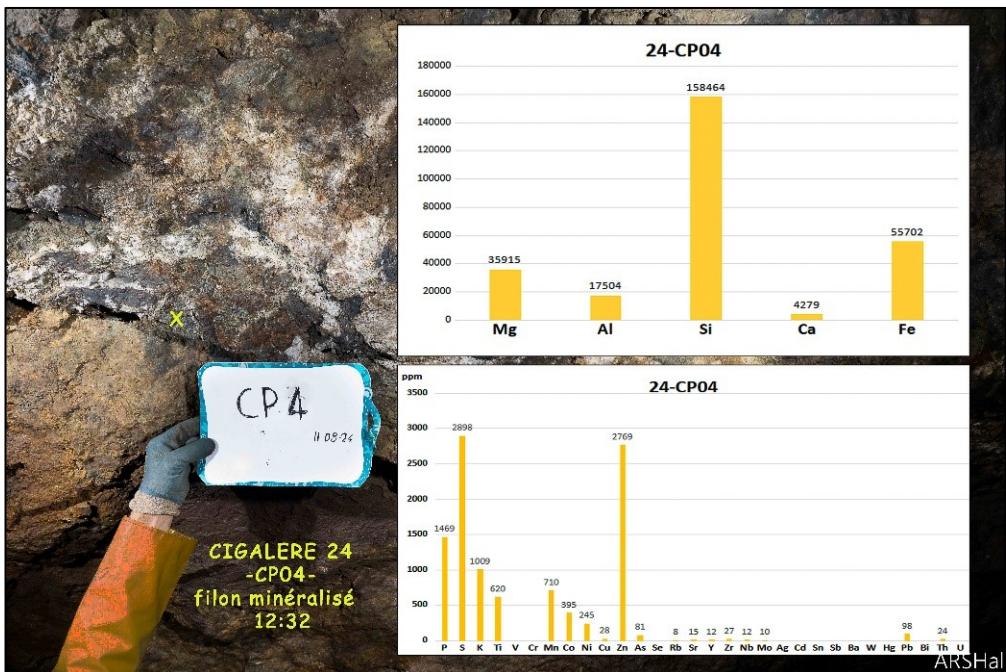


GINO 2 : Les métaux Zinc, Plomb et de façon plus tenue le Nickel sont responsables de la couleur jaunâtre des coulées de calcite.

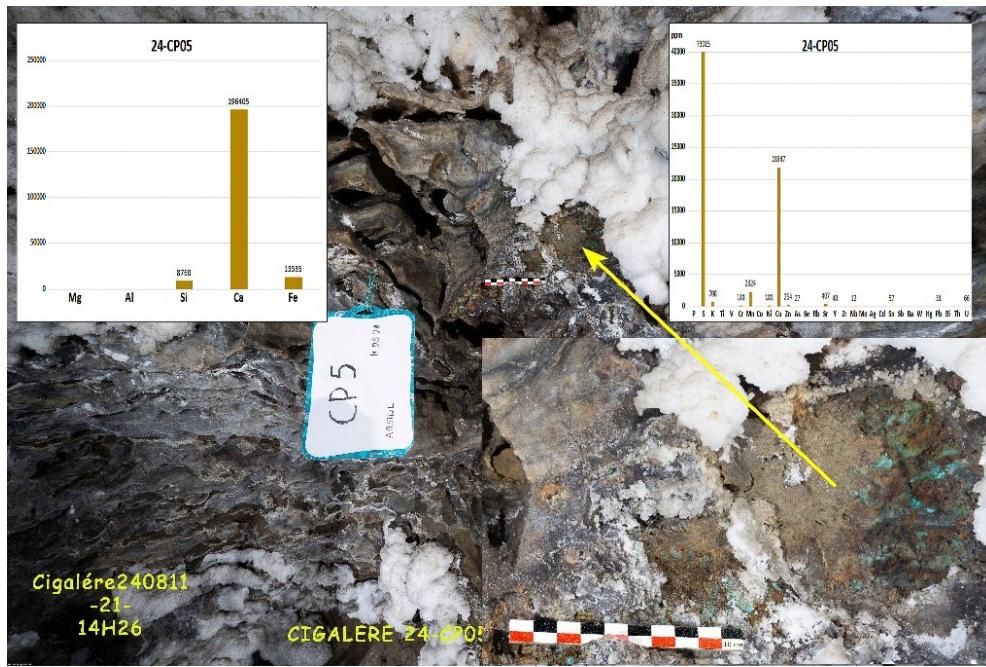
Les minéralisations



CP3 : Enduits ferrugineux riches en manganèse sur éléments détritiques. Présence de Nickel, Cuivre, Zinc, Arsenic et plomb.



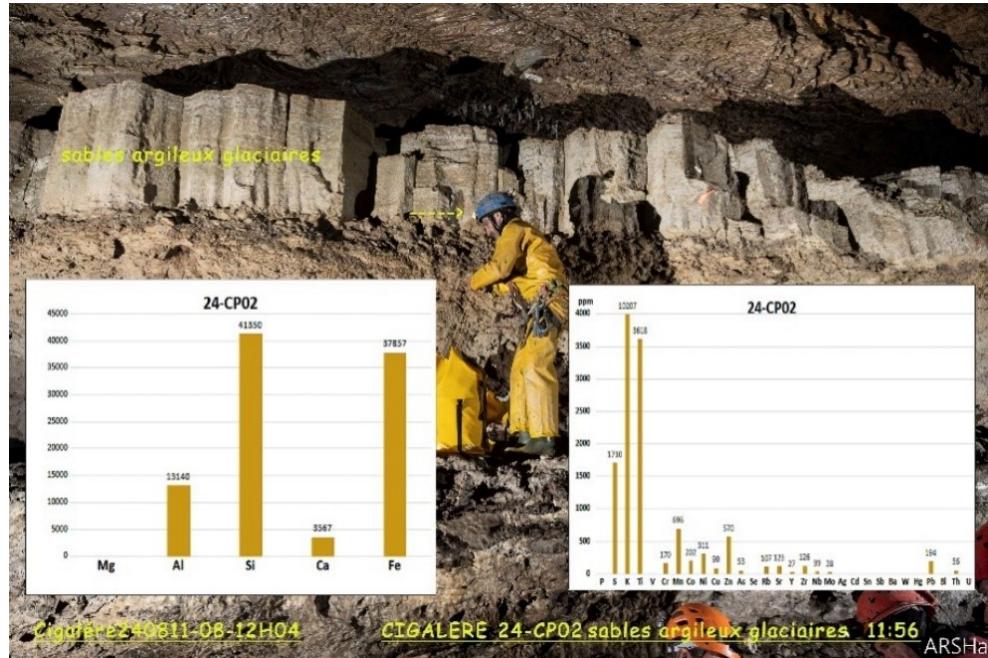
CP4 : Petit filon de silice sur parement nord, près de l'entrée de l'Affluent Sec. Sulfure de Zinc, et métaux annexe Cobalt manganèse Nickel. Orientation N100°-80°n.



CP5 : Filonnet de silice avec Cuivre et Zinc recouvert par des croûtes de gypse.

Les minéralisations observées dans cette partie de la Cigalère sont peu fréquentes et très limitées, en relation avec de petites fractures plutôt E-W. Elles sont caractérisées par le zinc, le cuivre et le nickel. Elles peuvent être contemporaines de la minéralisation de la Mine du Bentaillou.

Les remplissages



CP02 : Sables morainiques argileux avec présence en plus d'éléments détritiques, de traces de métaux tels que Manganèse, Chrome, Cobalt, Nickel, Zinc, Plomb

Figure 21 Photos et graphiques des résultats d'analyses



Figure 22 Photo remplissage vers Affluent des Marmites

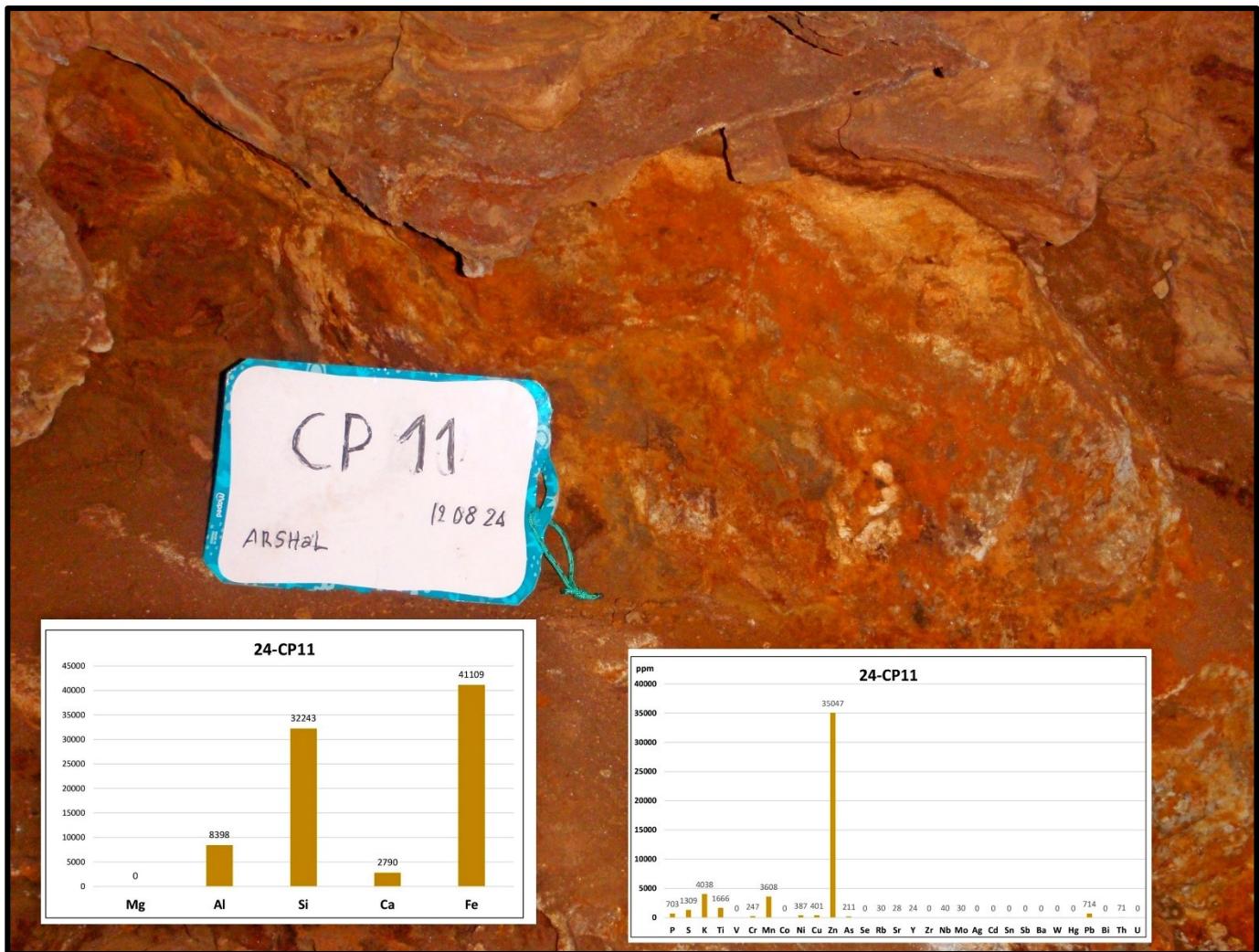
Banquettes témoins de remplissages de sables et galets en amont de l'Affluent Sec peu avant l'Affluent des Marmites. Au sol des alluvions plus récentes, galets plats de quartzites et schistes de diamètre parfois supérieur à 10 cm. Leur dimension augmentait depuis plusieurs centaines de mètres. Les dépôts s'arrêtent brutalement peu après avoir dépassé l'Affluent des Marmites. Au-delà il n'y a que des sédiments plus fins de sables argileux.

L'affluent des Marmites est donc un conduit ouvert important avec des apports de sédiments à partir de pertes actives situées au sud, avec un potentiel de transport important !

Début aout, un traçage involontaire a été réalisé entre les premières pertes du lac de Chichoué et l'Affluent des Marmites. EDF a ouvert les vannes du barrage de Chichoué ce qui a entraîné une crue soudaine dans le réseau actif à partir de cet affluent (en présence de spéléologues !). Il y a donc un drain important qui évacue rapidement les flux d'eau et permet le charriage de galets.



Figure 23 Plan de l'arrivée des galets dans galerie principale



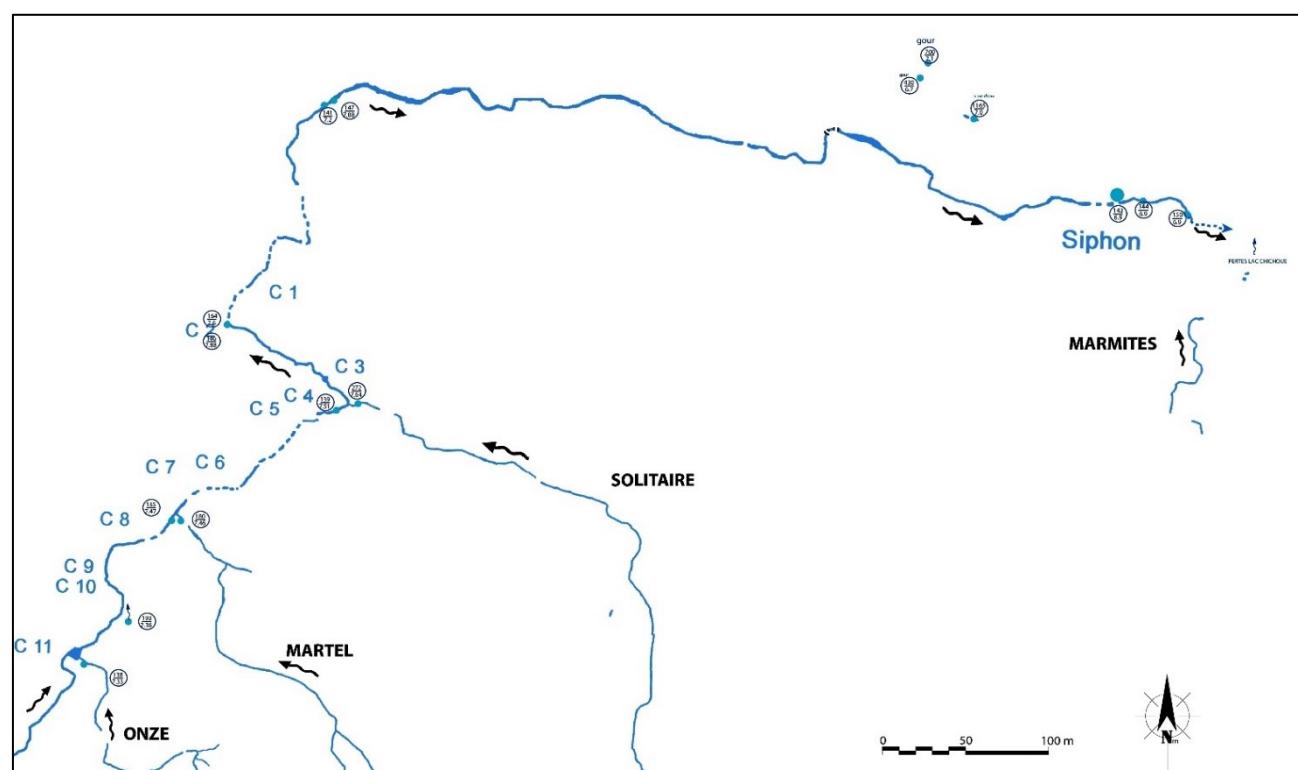
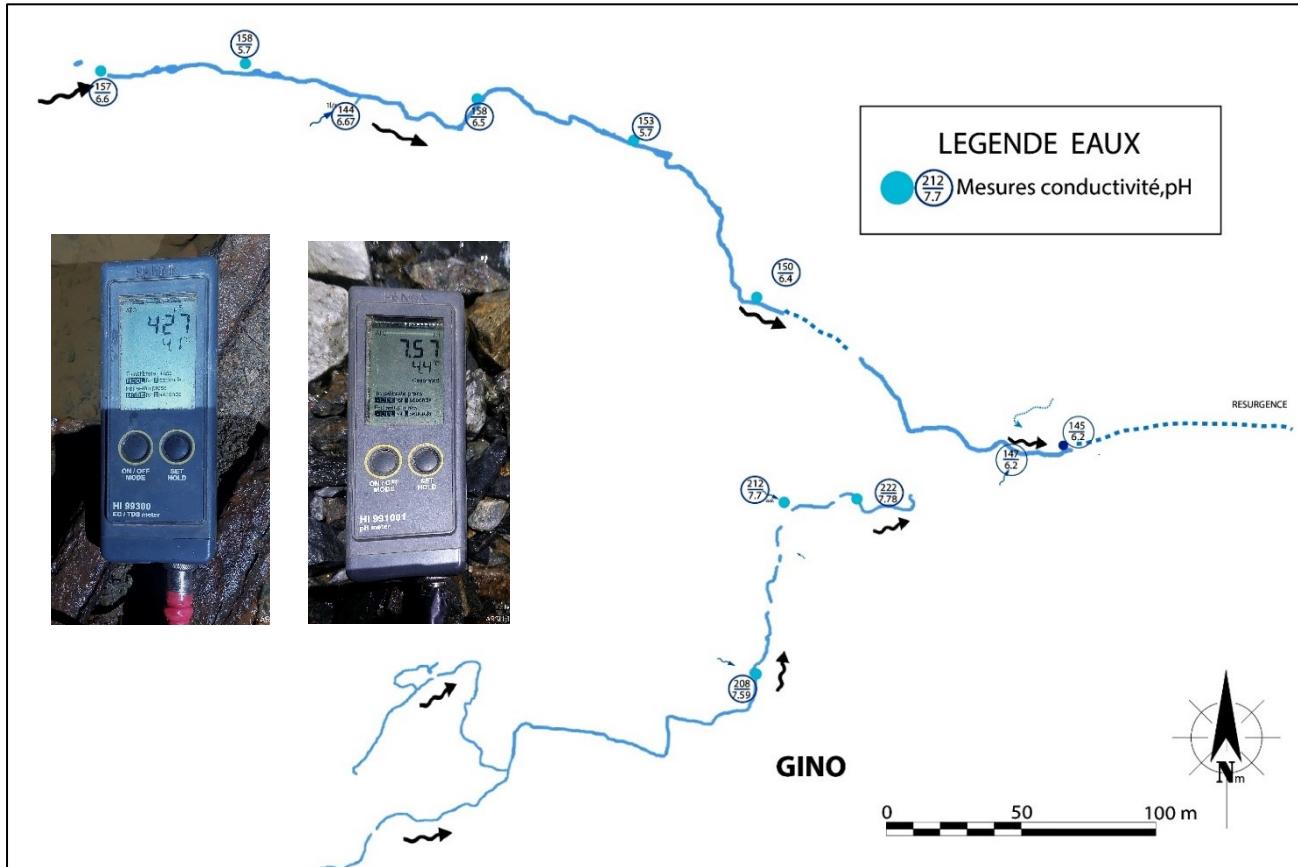
CP11 : Sédiments altérés ferrugineux ocres orangé, riche en silice et minéralisé en Zinc (origine détritique ?).

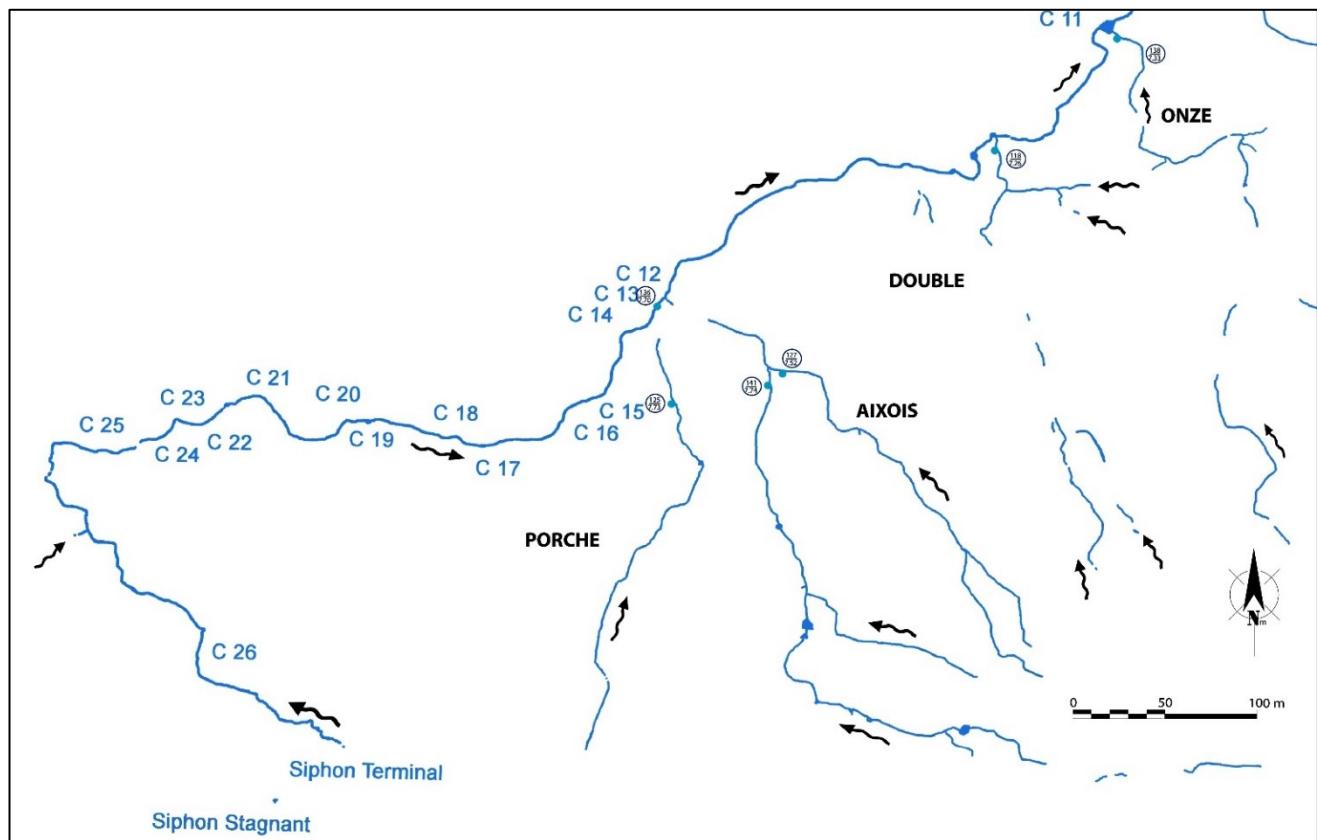
Ce type de remplissage a été observé dans ce secteur de la cavité avant le trou Souffleur. D'après une photo de S. Caillault, ces sédiments existent aussi dans la Galerie de l'Adjudant.

LES EAUX DANS LA GROTTE DE LA CIGALERE

Les mesures

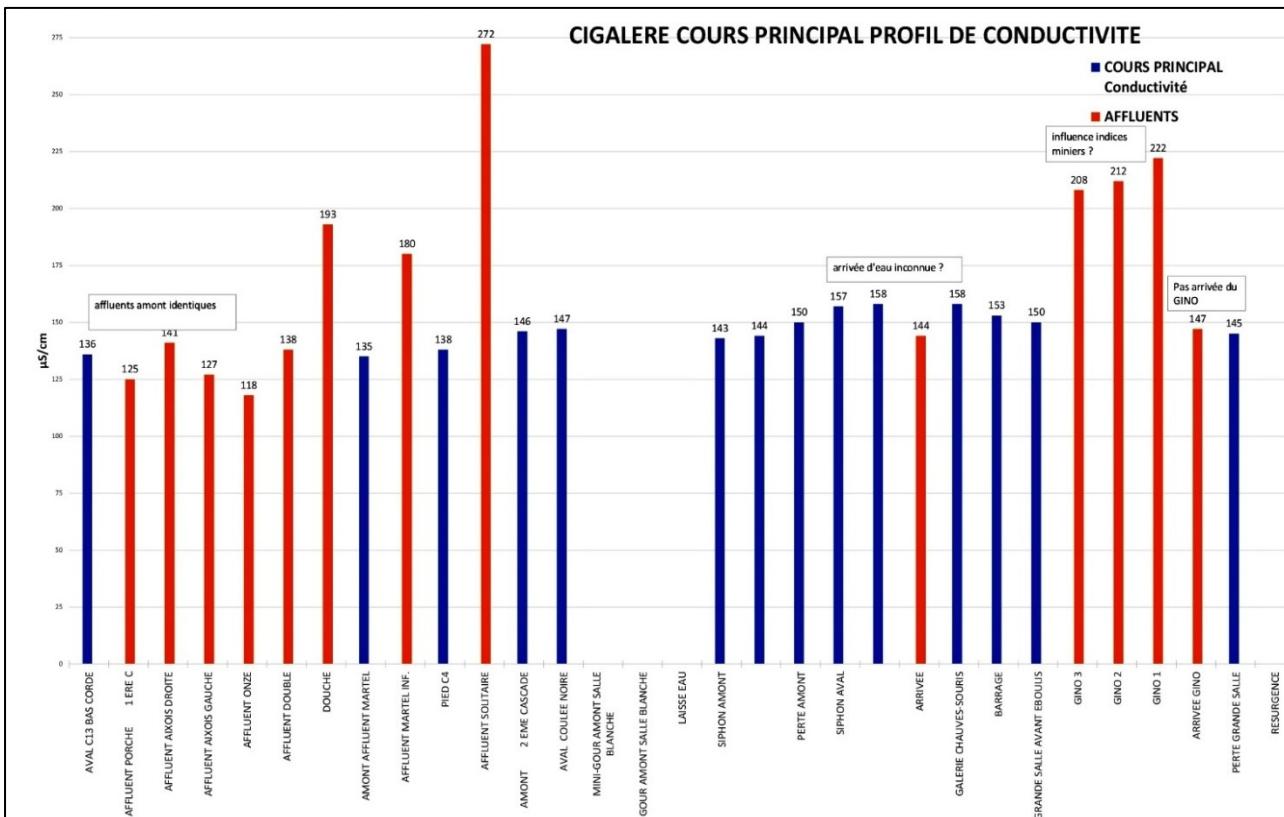
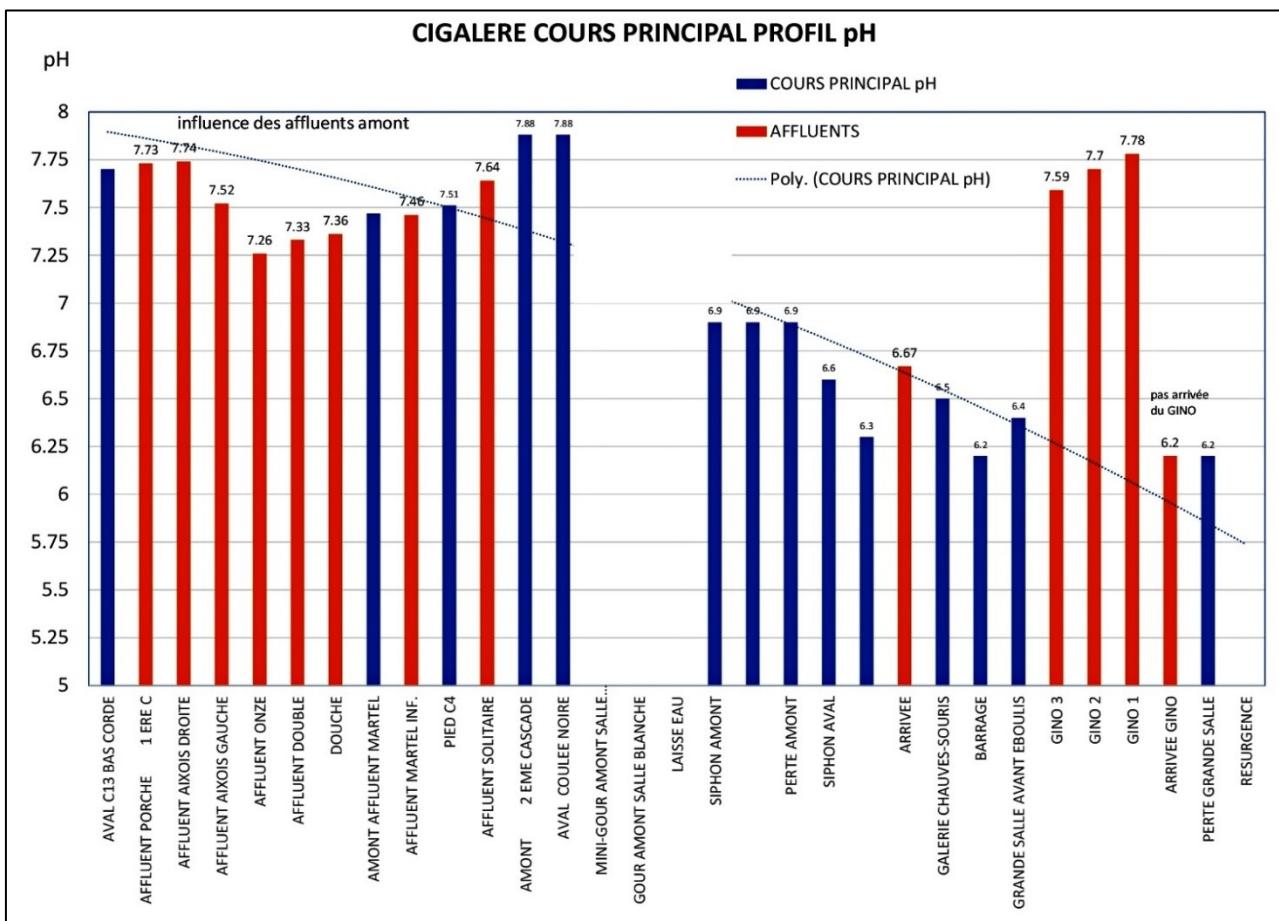
Le profil des mesures pH, Conductivité, Température a été réalisé de l'entrée jusqu'à la cascade 13, les 11-12 et 15 août 2024 en période plutôt d'étiage estival sans orages. Une trentaine de points de mesure ont été relevés.

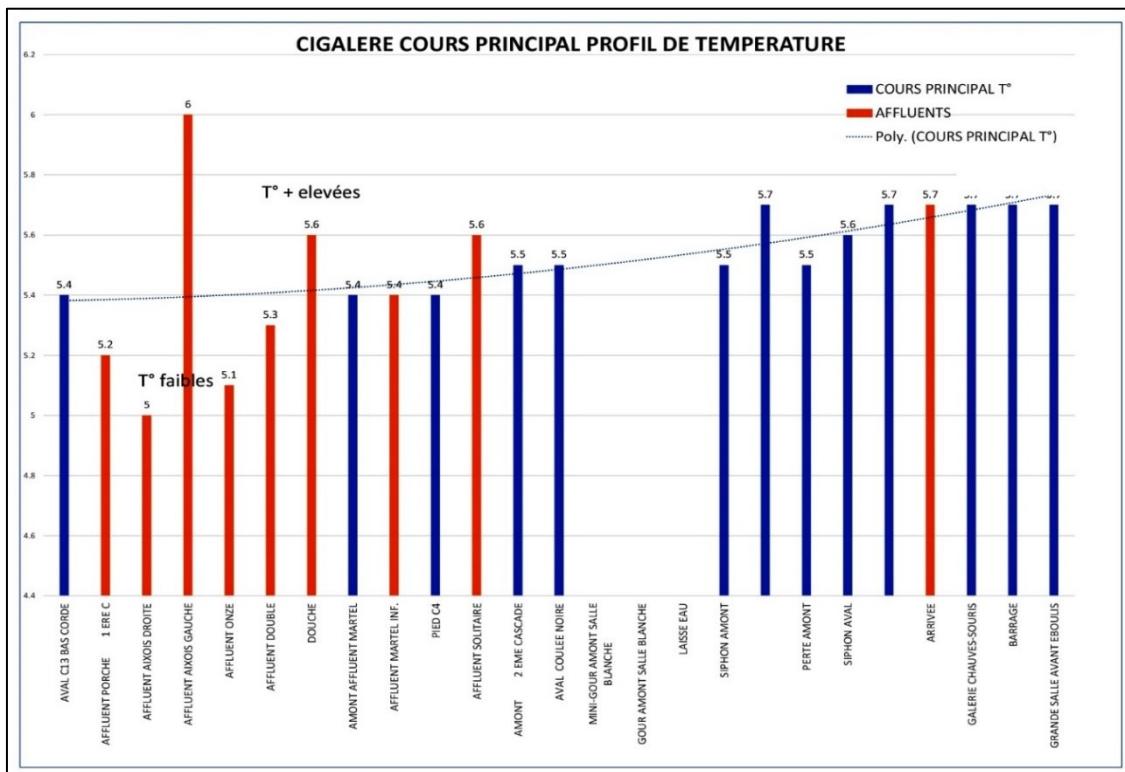




Figures 24 Plans des points de mesures pH, conductivité, température

Graphiques des résultats





Figures 25 Graphiques pH, conductivité, température Amont Aval

pH : Il est net que les divers affluents amonts et Gino présentent des valeurs plus élevées (7.5) que le cours actif principal dans sa partie aval (6.58) avec une décroissance régulière. La tendance à l'acidité de la rivière aval est à rechercher dans le contexte géologique.

Conductivité : Dans la partie amont de l'actif et les affluent au-dessus de la cascade 10, l'eau a une conductivité de 130 µS/cm. Par contre les trois affluents, à l'aval de C10, sont nettement plus minéralisés (180 à 272 µS/cm).

Plus à l'aval, l'affluent Gino à des caractéristiques identiques aux affluents amonts plus minéralisés. En superposant les zones minéralisées, exploitées dans la Mine du Bentaillou, seuls les affluents de la Douze, Martel et Solitaire, sont à l'aplomb de la Mine. Quant à l'affluent Gino, l'eau provient de galeries qui se situent au-dessous et peu éloignées (100m) de la perte des eaux de Mine près du TB St Jean Frigo.

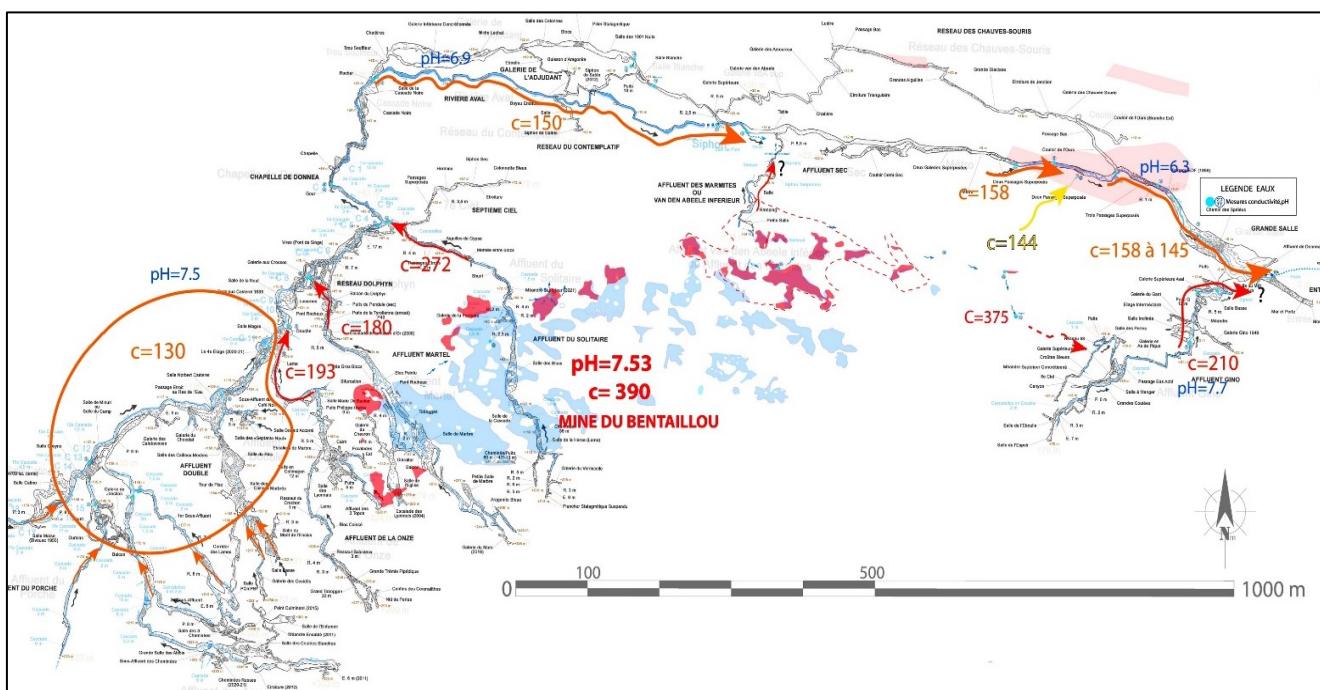


Figure 26 Plan des conductivités grotte de la Cigalère et des zones minéralisées de la Mine du Bentaillou (rouge et bleu)

LE GYPSE DANS LA GROTTE DE LA CIGALERE

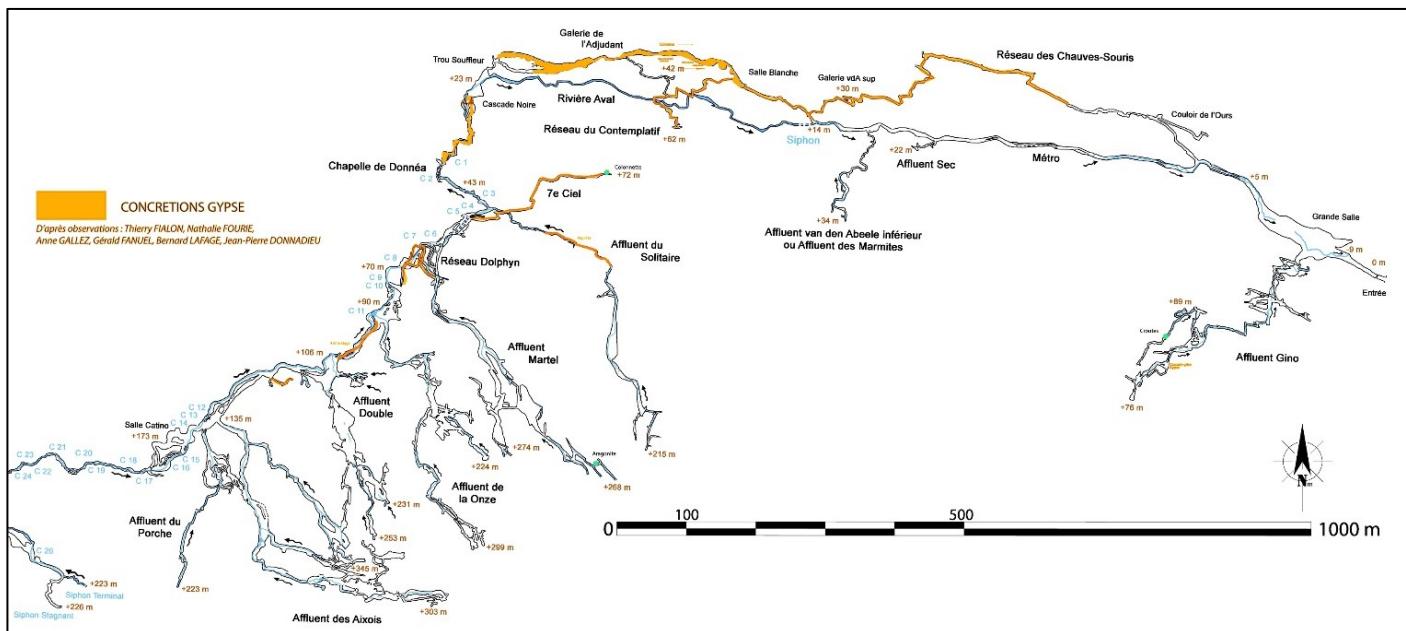


Figure 27 Plan de répartition du gypse dans les galeries de la Grotte de la Cigalère

Origine des concrétions de gypse :

Le volume de concrétions de gypse est très important dans la partie nord de la Cigalère. Aussi bien en place dans les galeries qu'en dépôts au sol. Dans les galeries avant le « Trou Souffleur », les concrétions forment un remblai qui occupe tout le sol de la galerie sur une hauteur de l'ordre du mètre. Il s'agit de croûtes de cristaux qui se détachent facilement des parois. La formation d'un tel volume de gypse a peut-être pour origine des minéralisations en sulfures présents dans les terrains ordoviciens sus-jacents. Le processus est lié à un phénomène d'oxydation des sulfures par des eaux météoriques qui apportent de l'oxygène et création d'acide sulfurique. Celui-ci va attaquer le calcaire et va donner des sulfates hydratés ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Le gypse va se déposer par évaporation en déposant les sels en solution quand le taux d'humidité sera suffisamment bas dans les galeries. L'ensemble du processus est très lent et correspondrait à des périodes d'âge glaciaire.

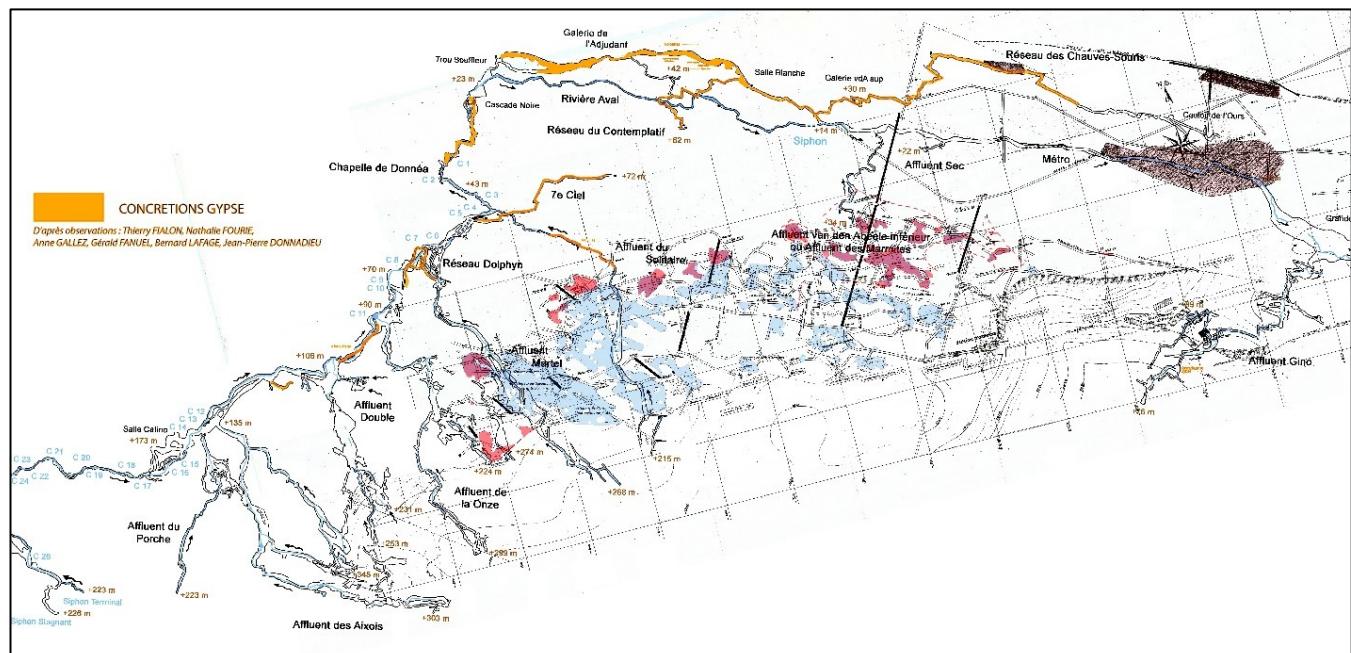


Figure 28 Localisation du gypse dans la Grotte de la Cigalère et des zones minéralisées dans la Mine du Bentaillou (en rouge et bleu)

Trois hypothèses peuvent être émises sur l'origine du gypse et la présence de sulfures (voir coupe fig. :29) :

- La grotte de Cigalère est dans la partie très concrétionnée en gypse, en aval du gisement à sulfures de Zinc et de Plomb du Bentaillou. Les sulfates proviendraient de l'altération des zones minéralisées en percolant selon le pendage et la fracturation du calcaire (c'est l'hypothèse en vigueur à ce jour). Mais actuellement on observe très peu de gypse en formation dans la mine. Par ailleurs les galeries « à gypse » ne sont pas directement au-dessous de la Mine mais en aval vers le nord (200 à 300 m de décalage). Les fractures ouvertes N 10-20° connues dans la mine, n'ont pas été observées dans les zones à gypse de la Cigalère.
- Les sulfates pourraient provenir d'une nouvelle zone minéralisée (non explorée ni exploitée) au contact quartzophyllades-calcaires juste à l'aplomb des galeries concrétionnées. Les sondages d'exploration peu nombreux n'ont reconnu que de très faibles minéralisations.
- 3-ème hypothèse : les sulfates auraient pour origine les schistes carburés sombres du Silurien, riches en sulfures de fer (Pyrite). Les eaux qui lessivent ces schistes sont très ferrugineuses, témoignant de la présence et de l'altération des sulfures. Les fractures et diaclases associées dans les galeries de la Cigalère auraient pu servir de drain à ces eaux sulfatées.

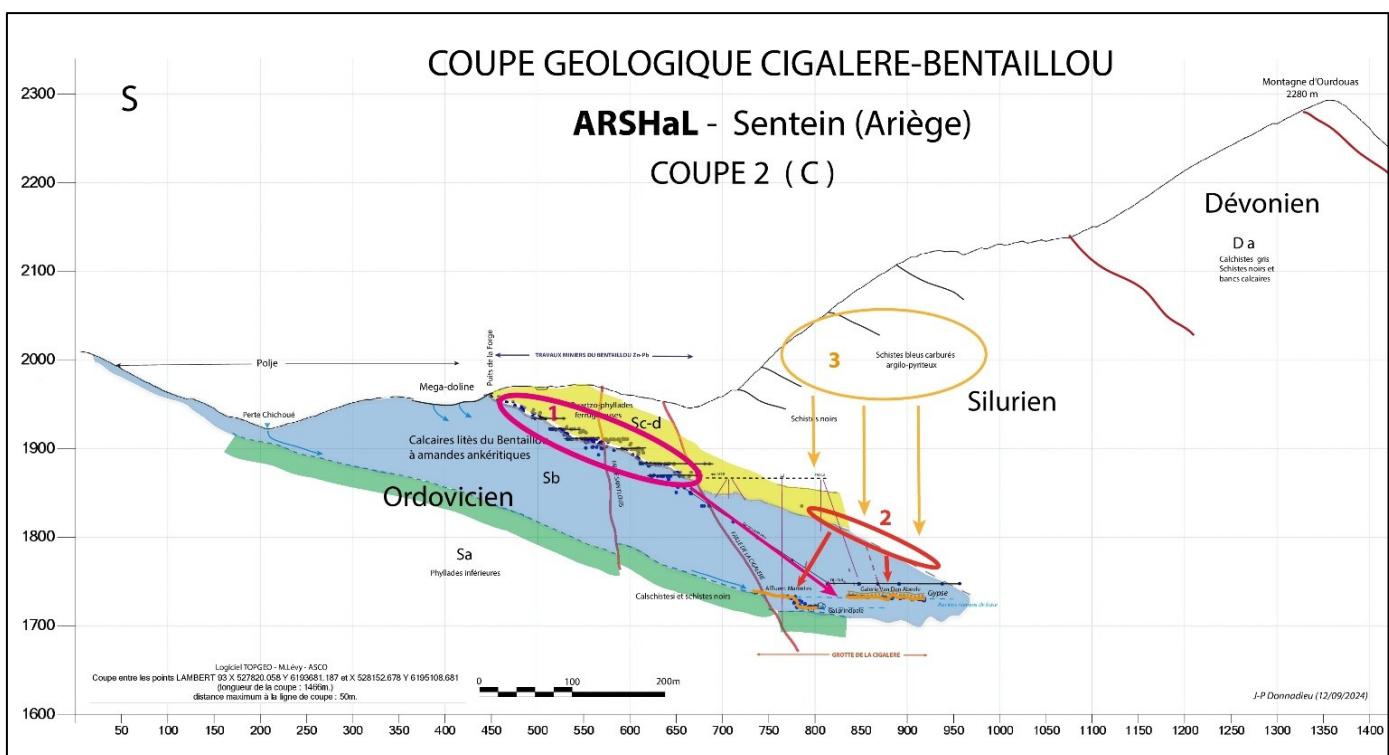


Figure 29 Coupe C nord -Sud Cigalère-Mine du Bentaillou : origine du gypse



Figure 30 Schistes carburés du Silurien au-dessus des galeries nord de la Cigalère

LEVES DANS LA MINE DU BENTAILLOU :

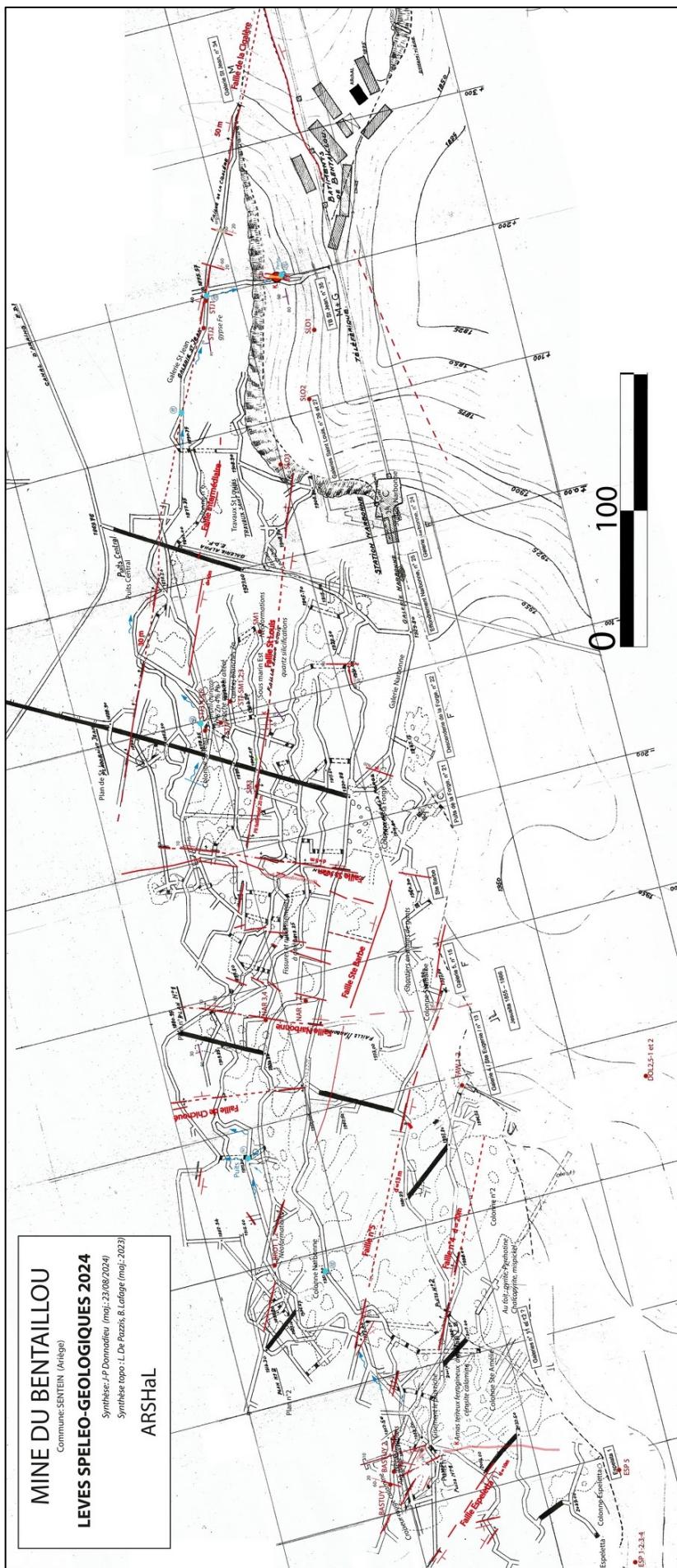
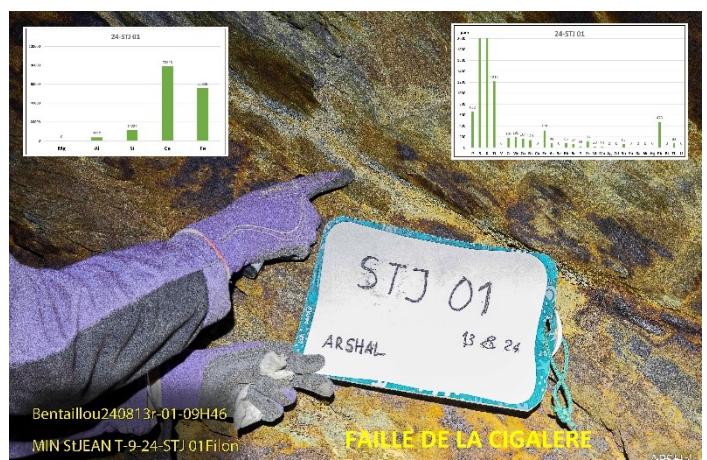
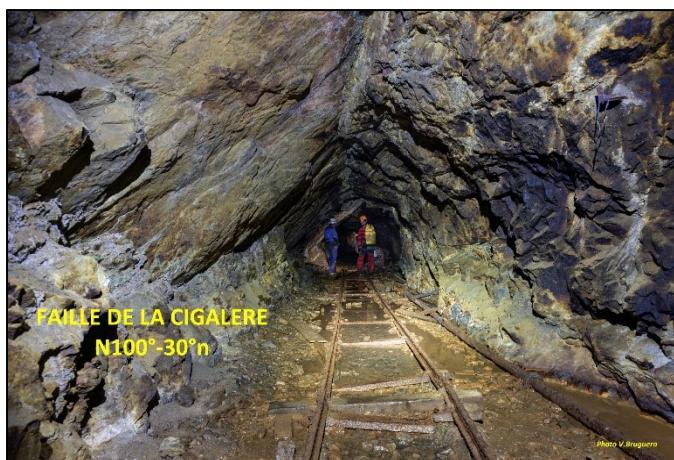
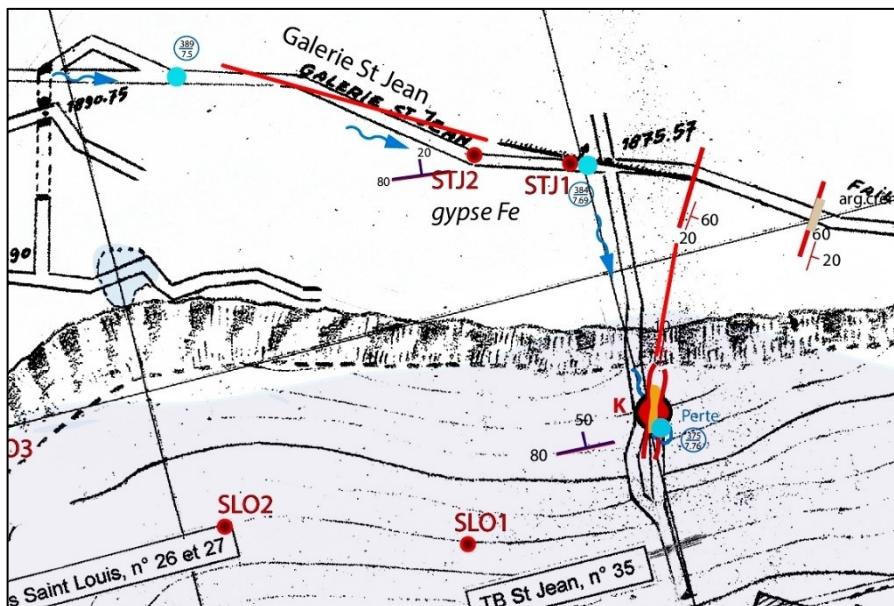


Figure 31 Mine du Bentaillou Carte de situation des observations 2024 (carte BRGGM 1957 avec structures minières)

LES MINERALISATIONS : OBSERVATIONS

Les minéralisations Galerie Saint-Jean :



STJ 01, 02 : Fissure de la Cigalère argileuse avec un peu de gypse. Légèrement minéralisée en sulfures altérés : Mn, Cr, Co, Ni, Zn, Pb

Figure 32 Plan, photos et graphiques analyses STJ01,02

Les minéralisations à sulfures de la Colonne Saint-Jean et Sous-Marin :

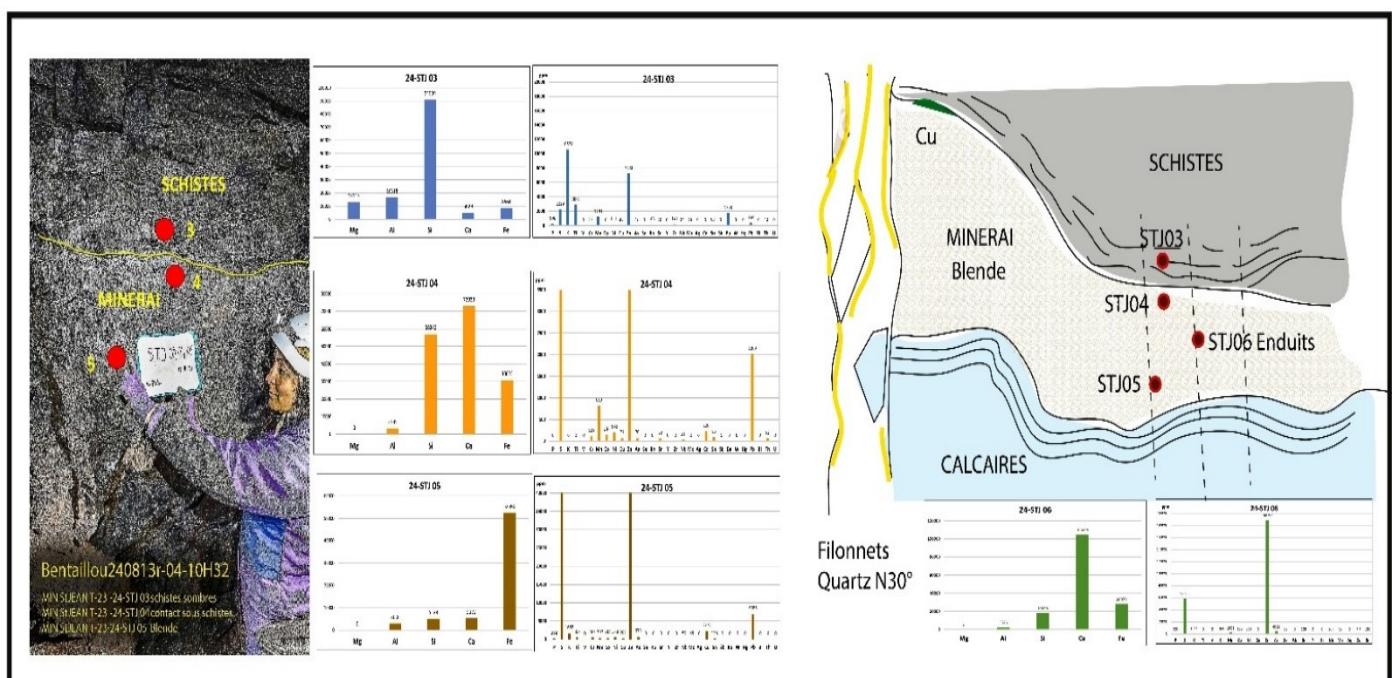
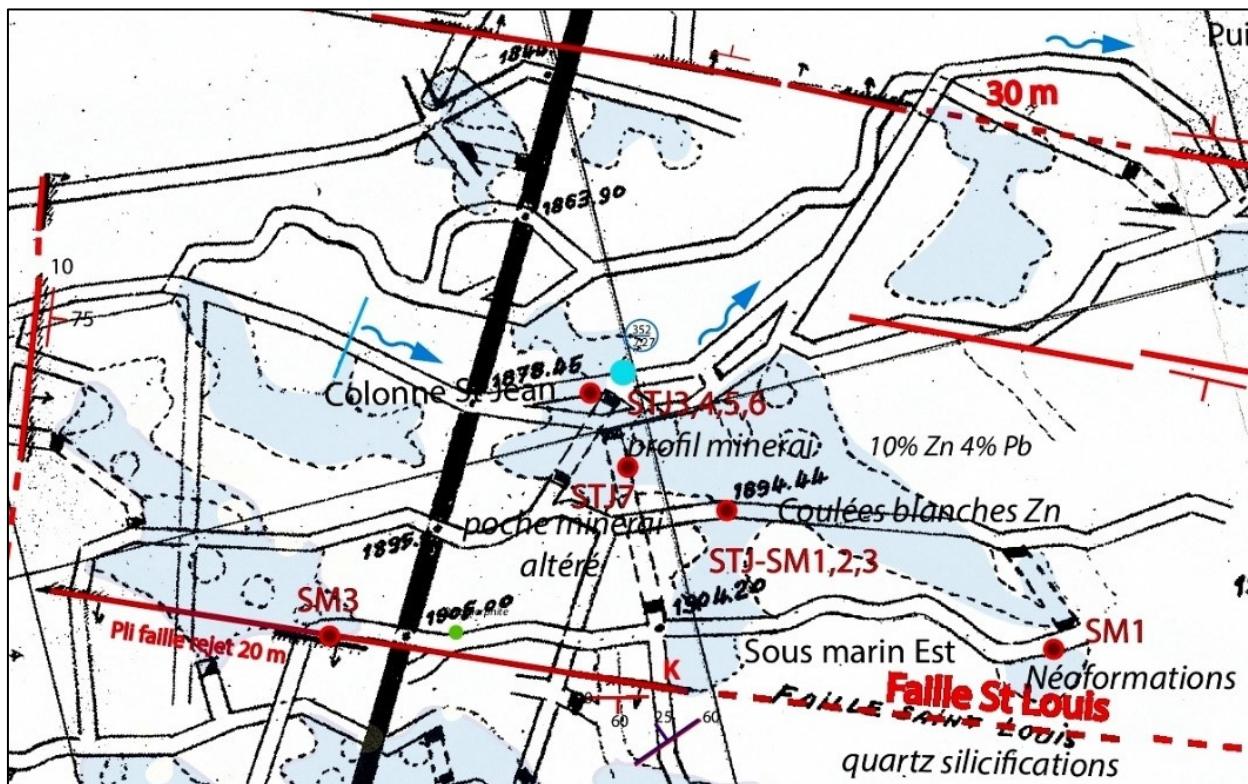
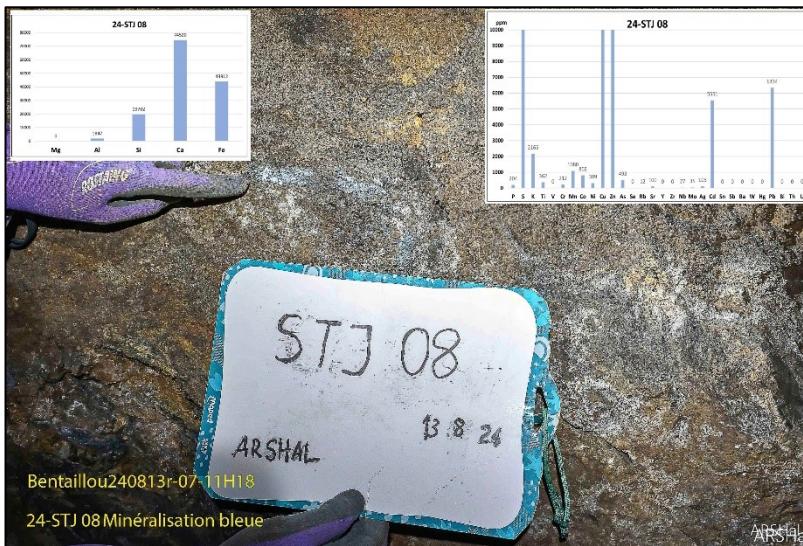


Figure 33 Plan, photos et graphiques STJ 03 ,04, 05

STJ 03, 04, 05 : il s'agit de minéralisations en amas stratiformes limités d'un coté par des fractures à filonnets de quartz (N10°). Les sulfures (Zinc, Plomb, Cadmium) non altérés sont cristallisés et indurés par de la silice.



STJ 08 : parfois présence d'une auréole de cuivre.

Figure 34 Photo, graphique STJ 08

Les coulées de Lait de Zinc : carbonates de Zinc

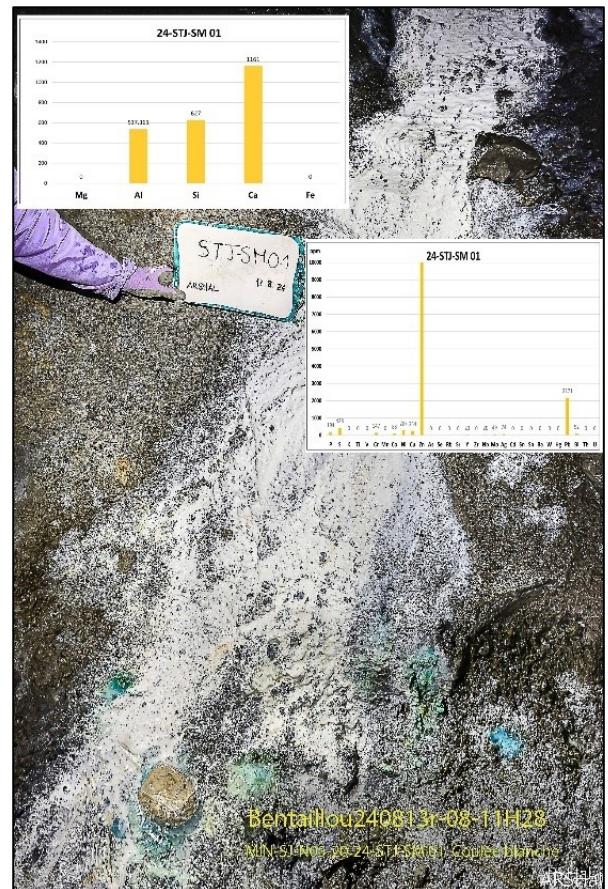
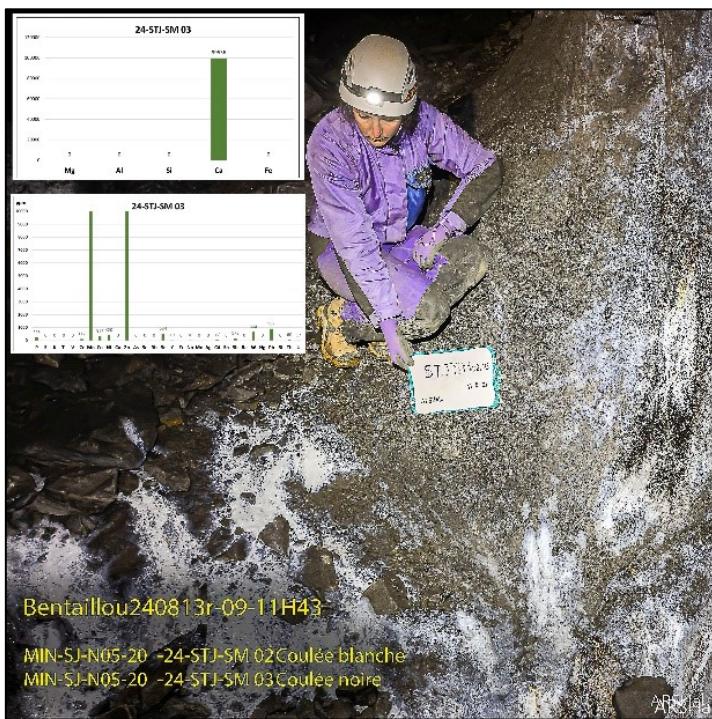
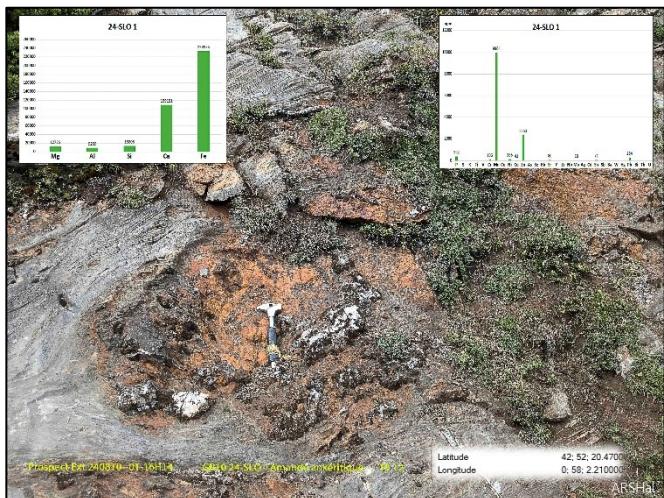


Figure 35 Photos, graphiques STJ-SM 01,03

STJ-SM 01, 03 : Ces coulées blanchâtres, très riches en Zinc, apparaissent dans la mine à la base de zone de remblais. Les métaux (Zn et un peu de Pb), sont lixiviés par les eaux de percolation dans ces remblais miniers. Il s'agit vraisemblablement d'hydrozincite, carbonate hydroxyde de zinc, $(\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6)$

Les amandes ankéritiques minéralisées :



Il s'agit de masses ankéritiques de forme sigmoïde, ocre-brun-orangé, très visibles dans les affleurements en surface. Elles sont interstratifiées dans le calcaire du Bentaillou et indurées par des filonnets de quartz. Elles sont minéralisées en Zinc et Plomb et oxydées (Fe, Mn).

Figure 36 Photos, graphiques des amandes ankéritiques



Les minéralisations oxydées en Mine : la faille Narbonne :

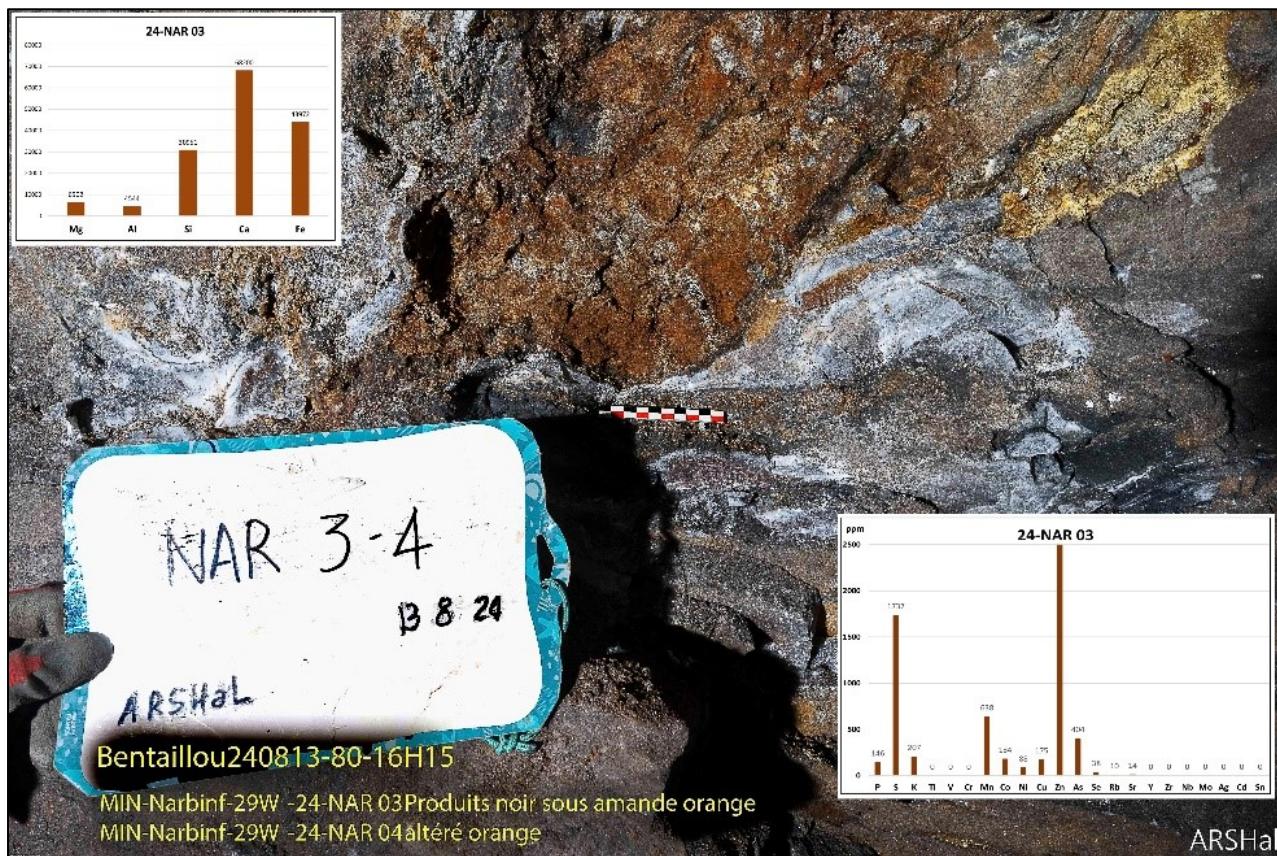
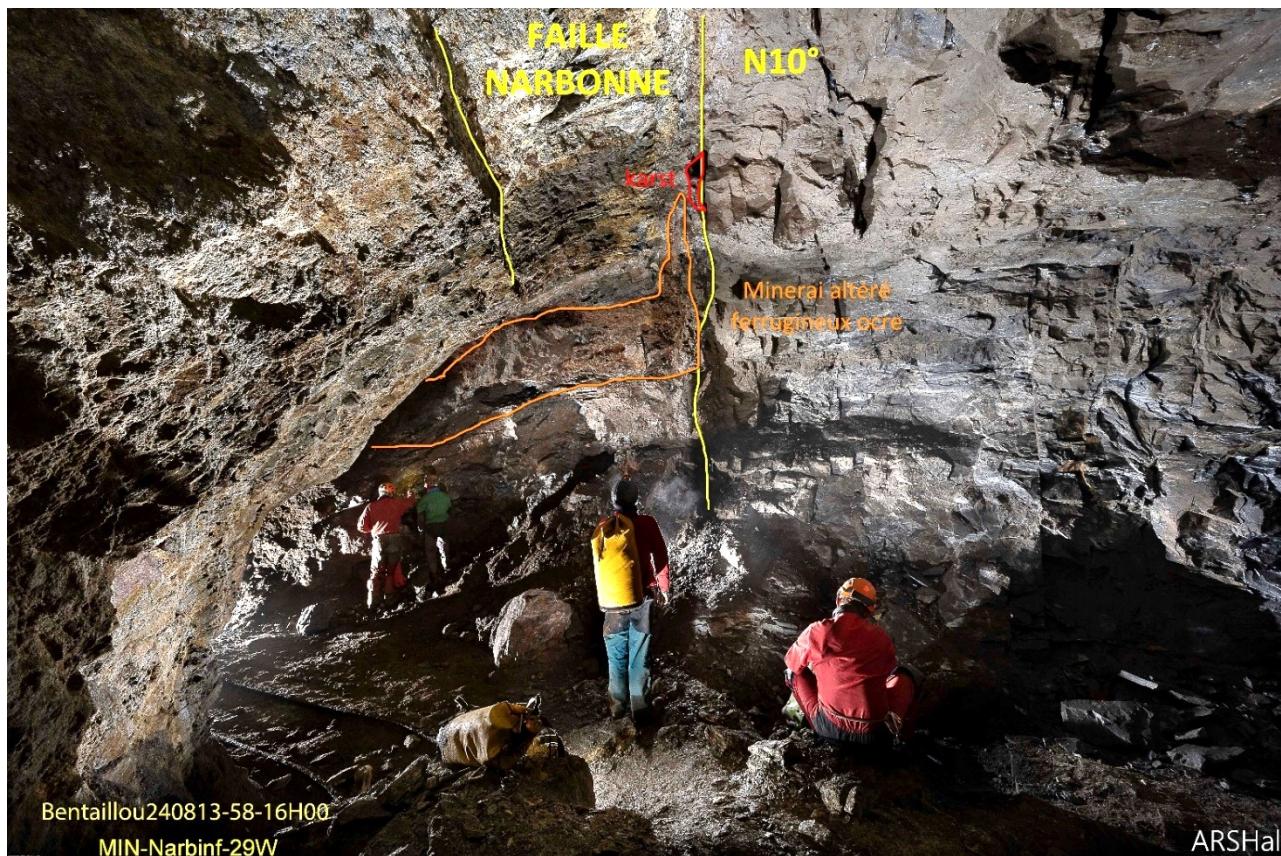


Figure 37 Photos, graphiques analyses faille Narbonne NAR03,04

LES MINERALISATIONS : SYNTHESE

La zone exploitée du Bentaillou présente des **amas « stratoïdes »** allongés en chapelet vers le NW (N 115°) soient **8 colonnes** déterminées par les mineurs. La minéralisation contient **3 fois plus de Zinc que de Plomb**. Le minerai a une teneur de **10 à 15%**. La puissance du minerai varie de 0 à 15 m toujours sous le contact avec les phyllades qui ont joué un rôle d'écran aux fluides minéralisateurs hydrothermaux qui ont cheminés dans des fractures ouvertes. Une datation d'inclusion fluide par A. CUGERONE a donné un âge de **309 MA** (Carbonifère). Ce type de minerai très cristallisé, est riche en quartz, le calcaire pouvant être lui mémé silicifié. Ces colonnes ont une orientation proche du pendage de la stratification.

Un deuxième type de minerai a été observé lors des levés. Il s'agit de **minerai oxydé ocre orange** ferrugineux à ankérite, rognons de quartz, riche en zinc, manganèse et traces de cobalt, nickel, plomb et arsenic. Il constitue des bandes parfois amygdalaires qui se développent à partir de failles ouvertes parfois karstifiées, orientées de secteur nord. Dans les parties supérieures du gisement ces zones oxydées étaient riches en calamine (Zn), cérasite (Pb), hydrozincite (« Tuf » des mineurs dans les travaux miniers de la colonne Sainte Amélie).

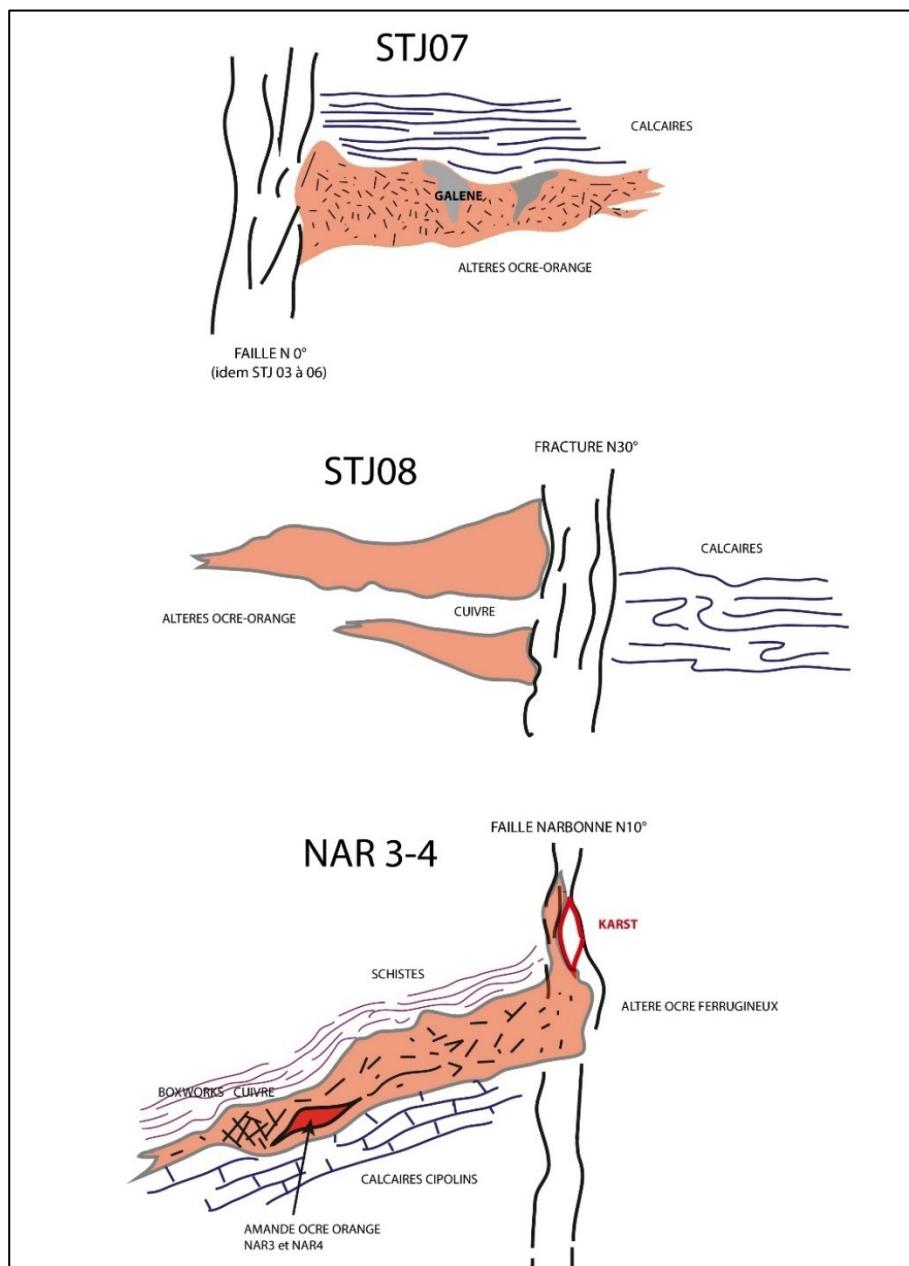
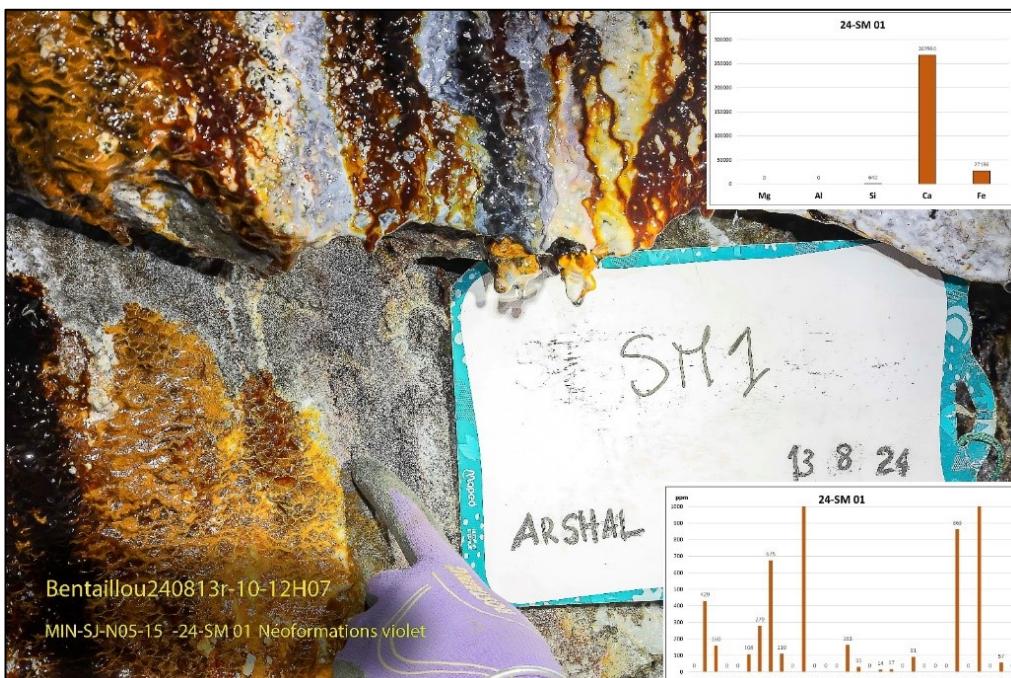


Figure 38 Schémas de minéralisations oxydées Mine du Bentaillou

LES NEOFORMATIONS :

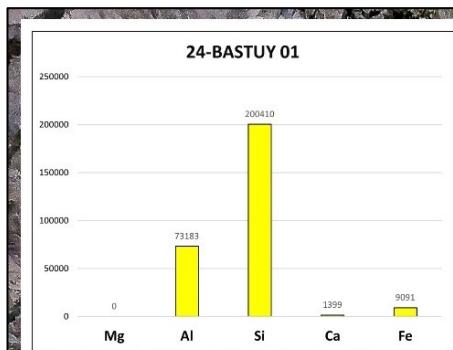


Néoformations à la base de remblais dans la Mine.

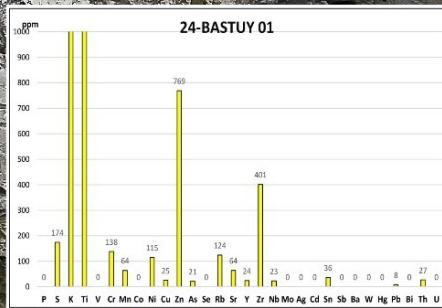


Figure 39 Néoformations : photos graphiques SM1 SM2

LES FRACTURES :



Faillle N10°, avec argiles grises

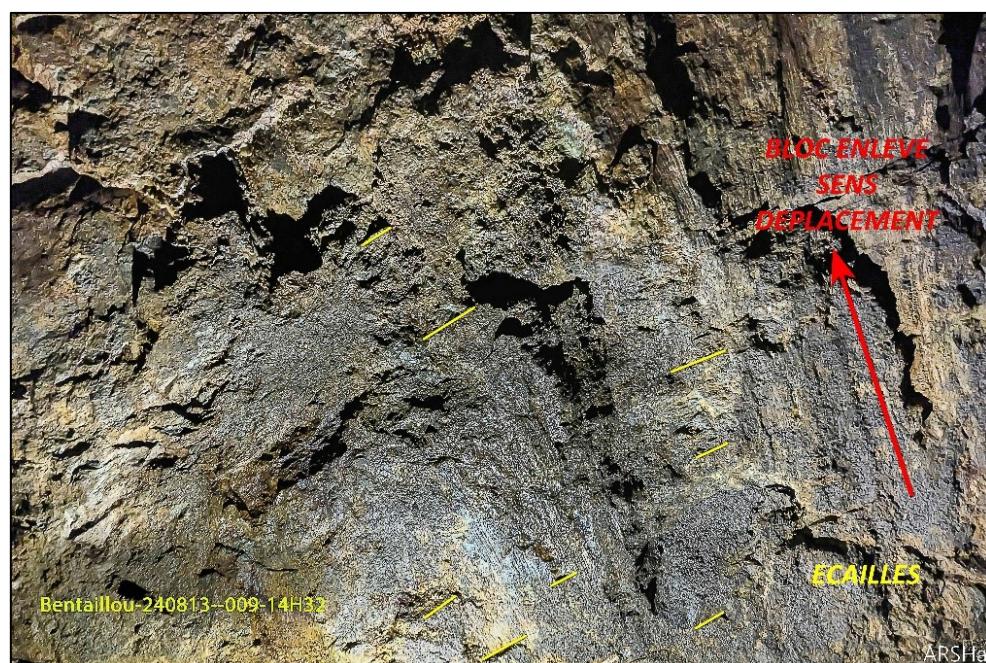


Bentaillou-240814--052-14H32

MIN-bastuy 1624-BASTUY 01 argile grise dans faille N10

ARSHal

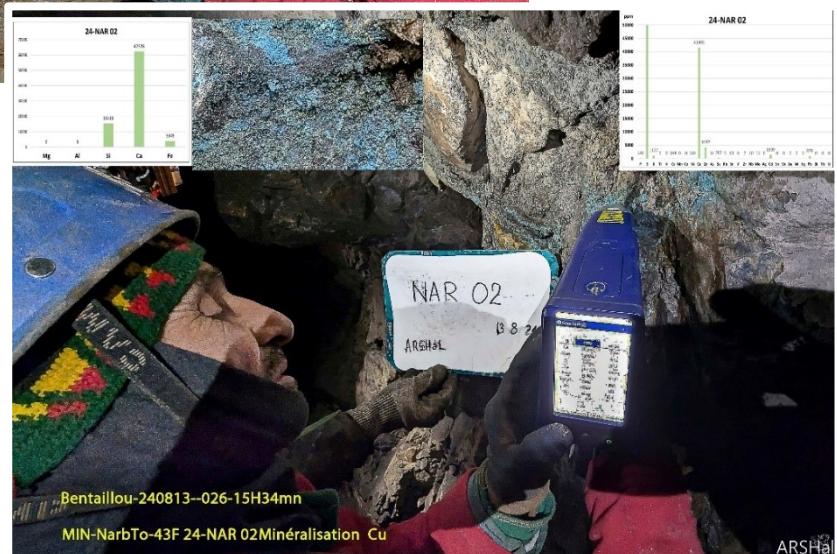
Figure 40 Photo, graphique remplissage de faille N10°, BASTUY01





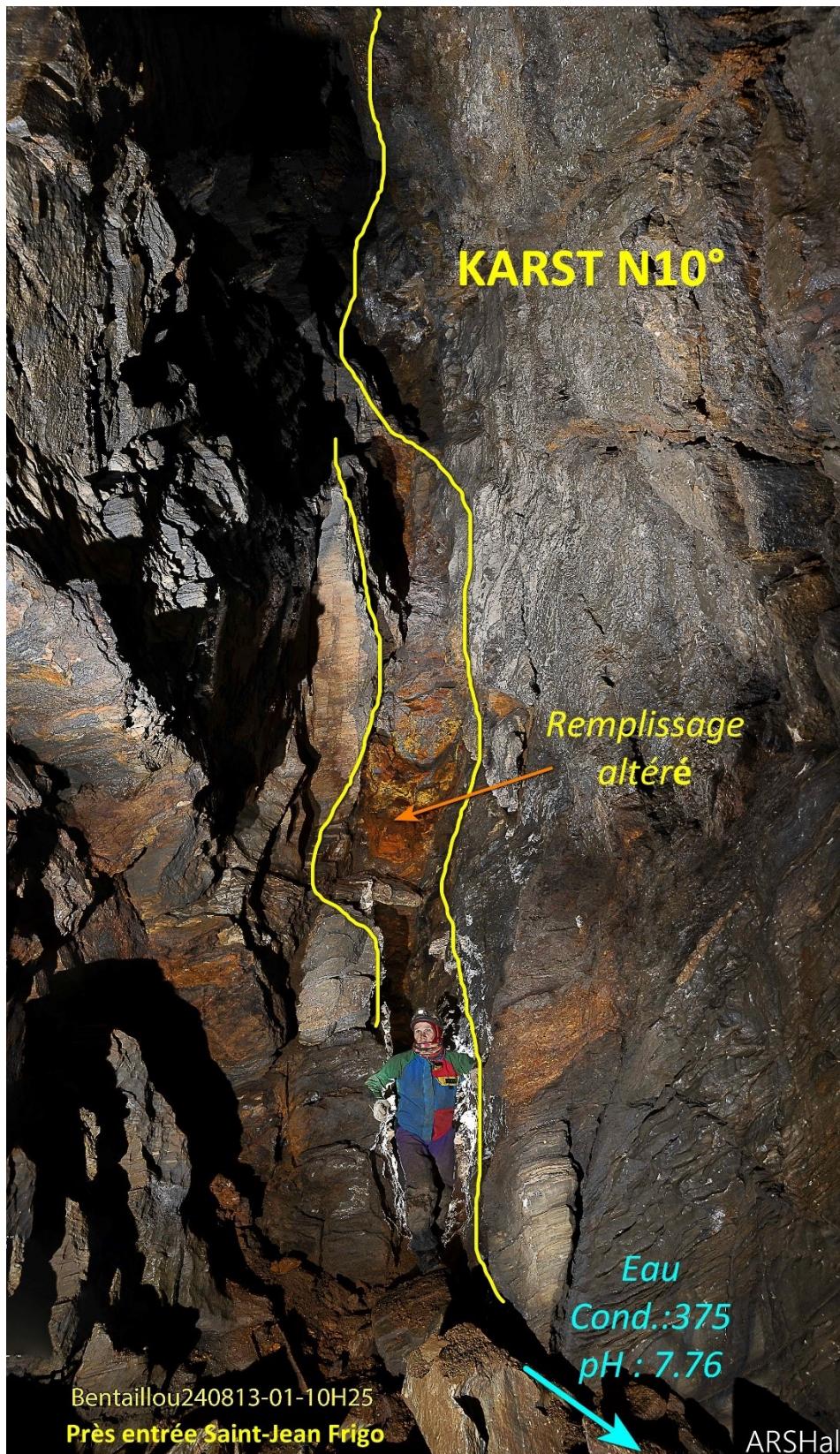
Remplissage dans faille N10°

Figure 41 Photos, graphiques failles N10° NAR01,02



LA MINE DU BENTAILLOU ET LE KARST

Près de l'entrée du travers-banc Saint Jean Frigo



Un karst naturel, orienté sur des fractures N10° sert de perte aux eaux de la mine qui sont drainées par la galerie Saint Jean. Il n'y a pas eu de traçage de ces eaux mais elles semblent gagner les galeries de l'Affluent Gino de la Cigalère. Ce karst est rempli par des sédiments ocre-orange altérés.

Figure 42 Photo karst St Jean Frigo

Secteur Puits n°1- « Arc de Triomphe » :

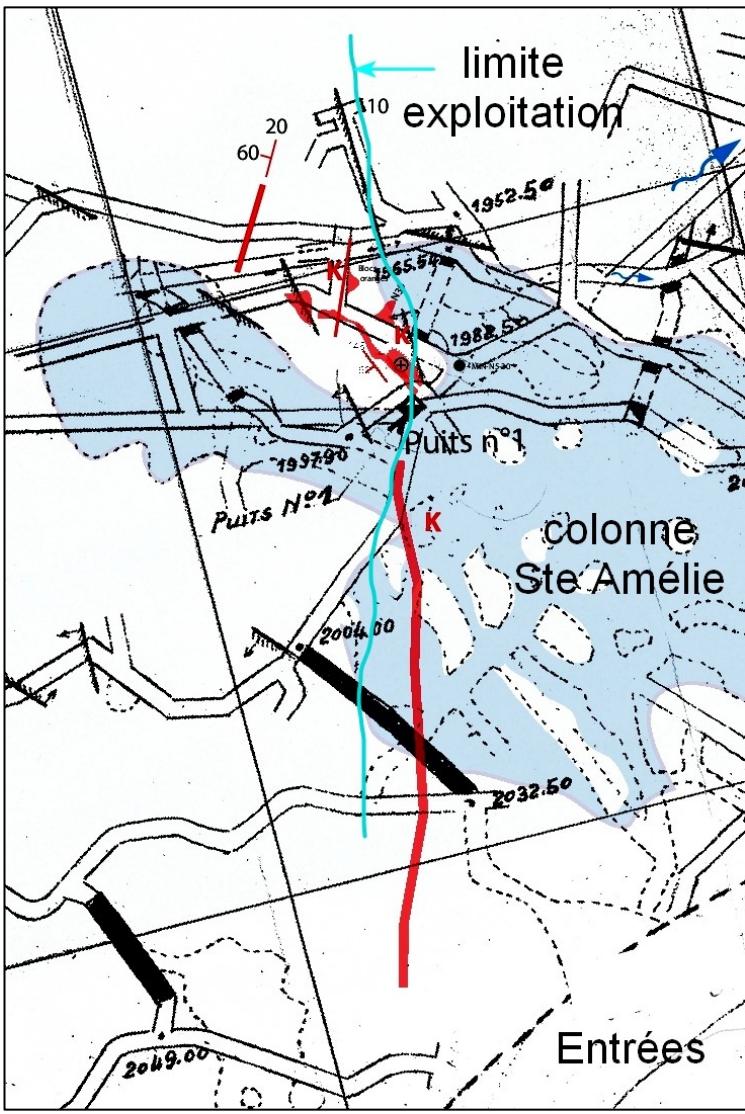


Figure 43 Extrait carte Mine du Bentaillou, secteur du Puits n°1 (en rouge les zones karstiques) et photos

Dans le quartier « Arc de Triomphe », à environ 15 m à l'Ouest du Puits n°1, des indices très nets de karst ont été observés de part et d'autre de la galerie (niveau 1980) et en remontant dans les vieux travaux (non topographiés).

A ce niveau, débute une longue exploitation (100 m) de style filonien avec des vestiges de planchers successifs. Ce type d'exploitation est exceptionnel pour la Mine du Bentaillou. Son orientation est Nord-sud, dans un couloir large de 2 m, de structures N10° verticales avec des parois karstifiées. C'est une exploitation ancienne dans la zone la plus riche du gisement décrit comme des « amas terreux ferrugineux à galène, cérusite et calamine ». Une étude détaillée d'archéologie minière serait intéressante à programmer, la calamine étant recherchée depuis l'époque romaine.

Par ailleurs, C. Dubois, dans son livre MANGEUSES D'HOMMES p 148, décrit dans le puits n°1, situé à 300 m du jour, une « crevasse » à 20 m de profondeur. Cette cavité contenait des carbonates de plomb et de la calamine.



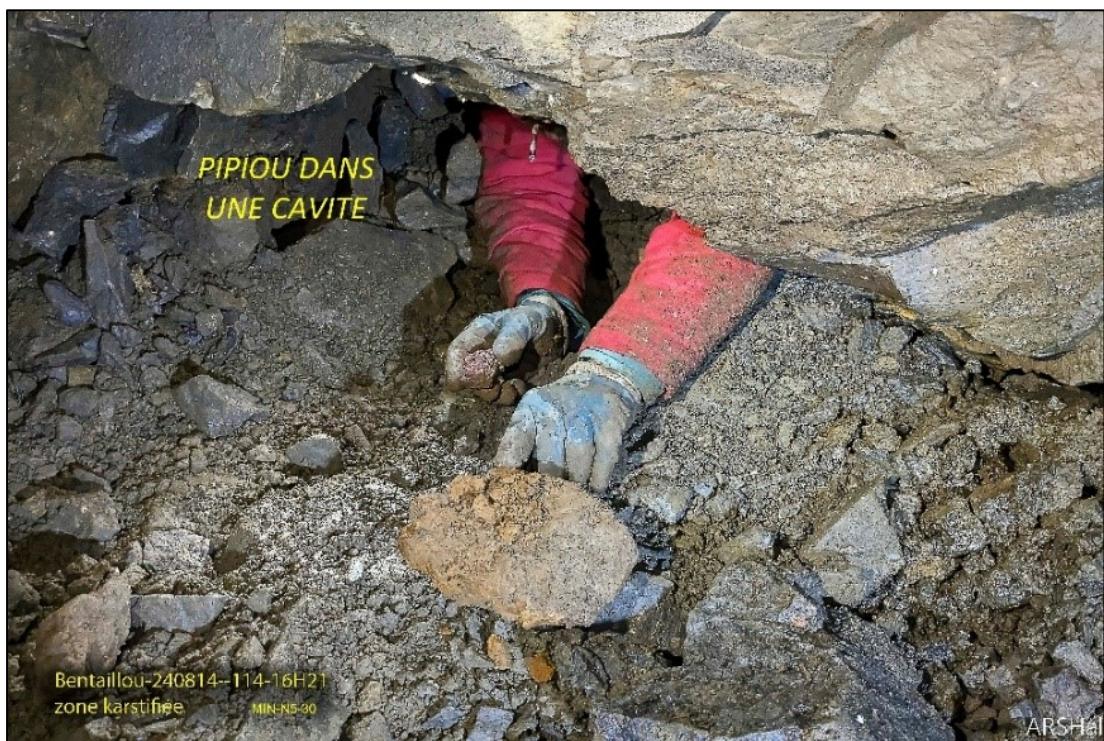
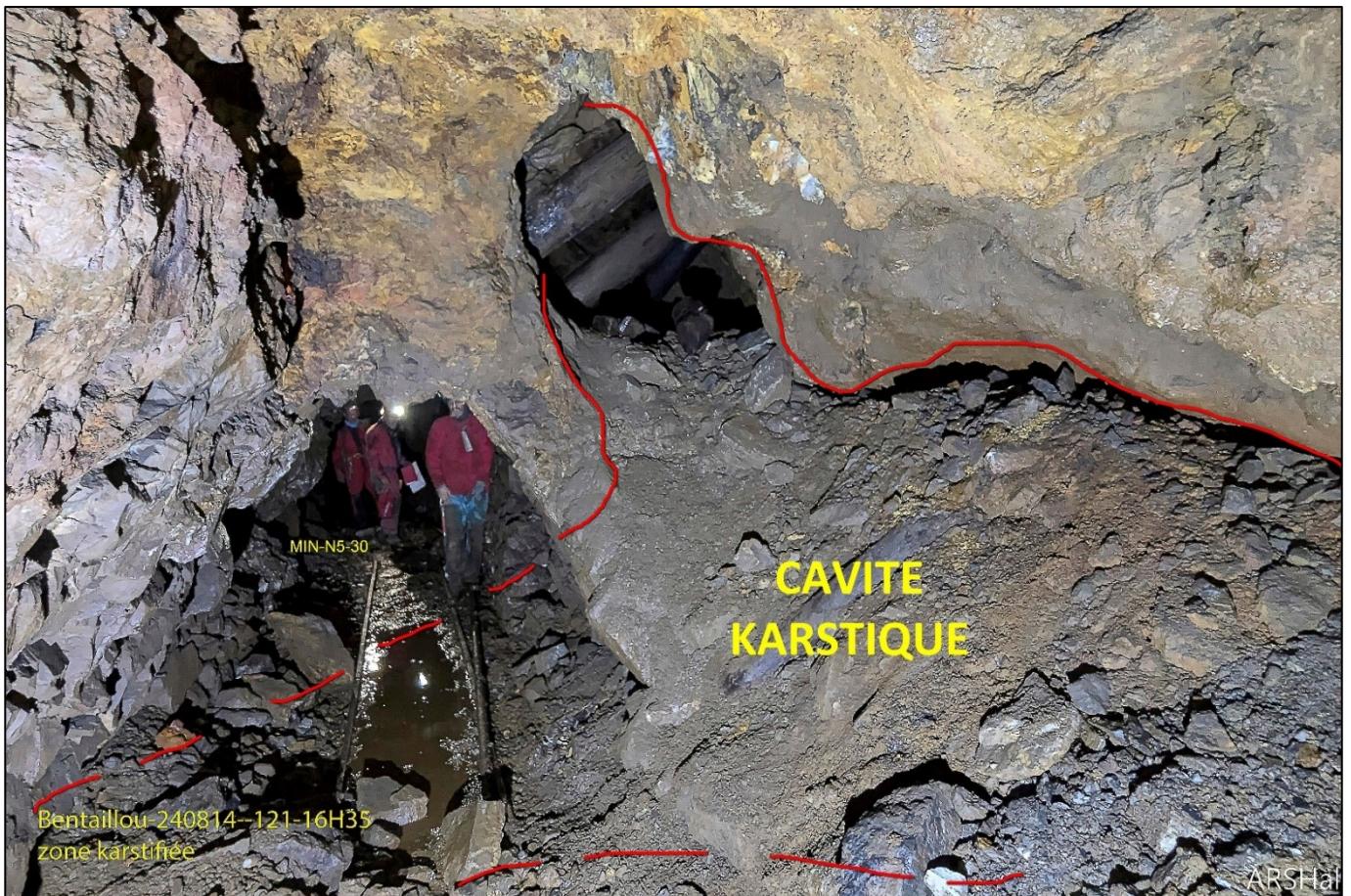


Figure 44 Découverte d'une cavité karstique dans la mine

RAPPROCHEMENT MINE-CIGALERE QUARTIERS ESPELETTA- ADT- STE AMELIE

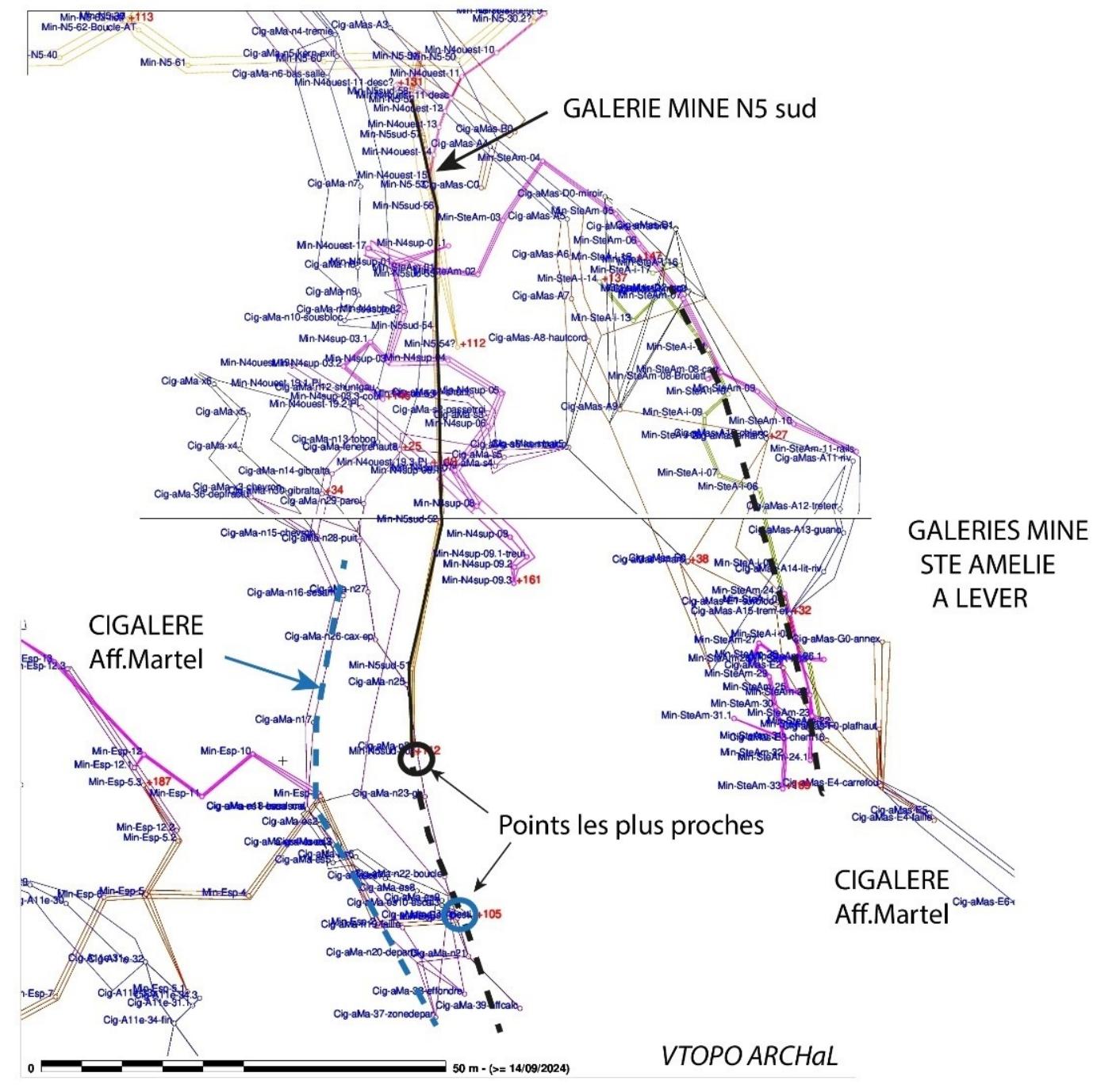


Figure 45 Plan superposition des fichiers VTOPO Cigalère et Mine du Bentaillou

La superposition des topographies de la Grotte de la Cigalère et de la Mine du Bentaillou aux incertitudes près, révèle que l'amont d'une cheminée de l'affluent Martel explorée en 2004 par les Lyonnais, est à quelques mètres en altitude et à 20 m en distance de l'extrémité de la galerie N-S exploitée en méthode filonienne avec indices de karstification. Ce karst minier, commun à celui de la Cigalère, était rempli de sédiments riches en calamine et cérusite.

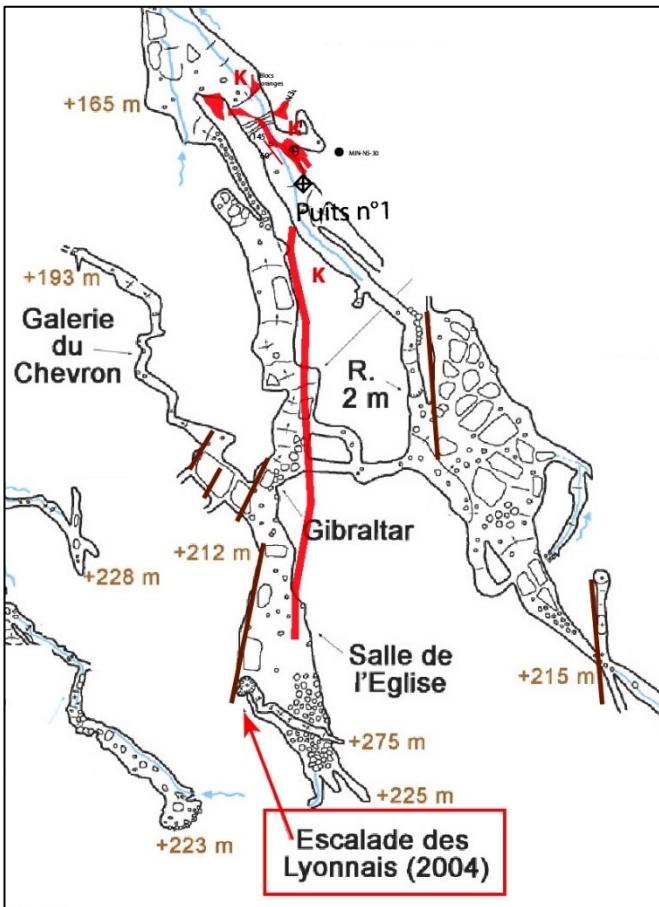


Figure 46 Plan du karst de la Mine du Bentaillou (en rouge) et topographie de la Cigalère Affluent Martel (en marron)

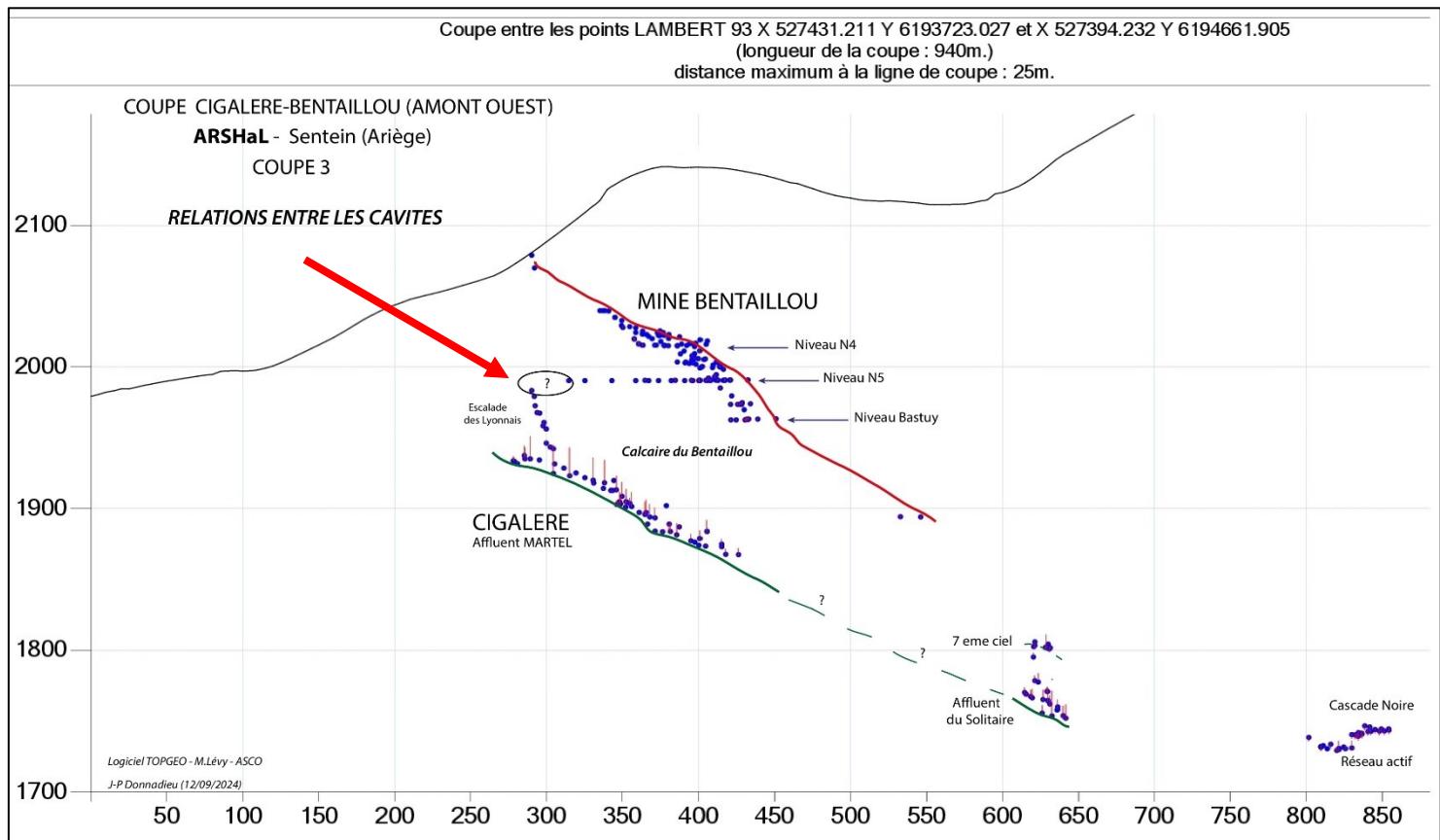


Figure 47 Coupe N-S, rapprochement Cigalère Bentaillou

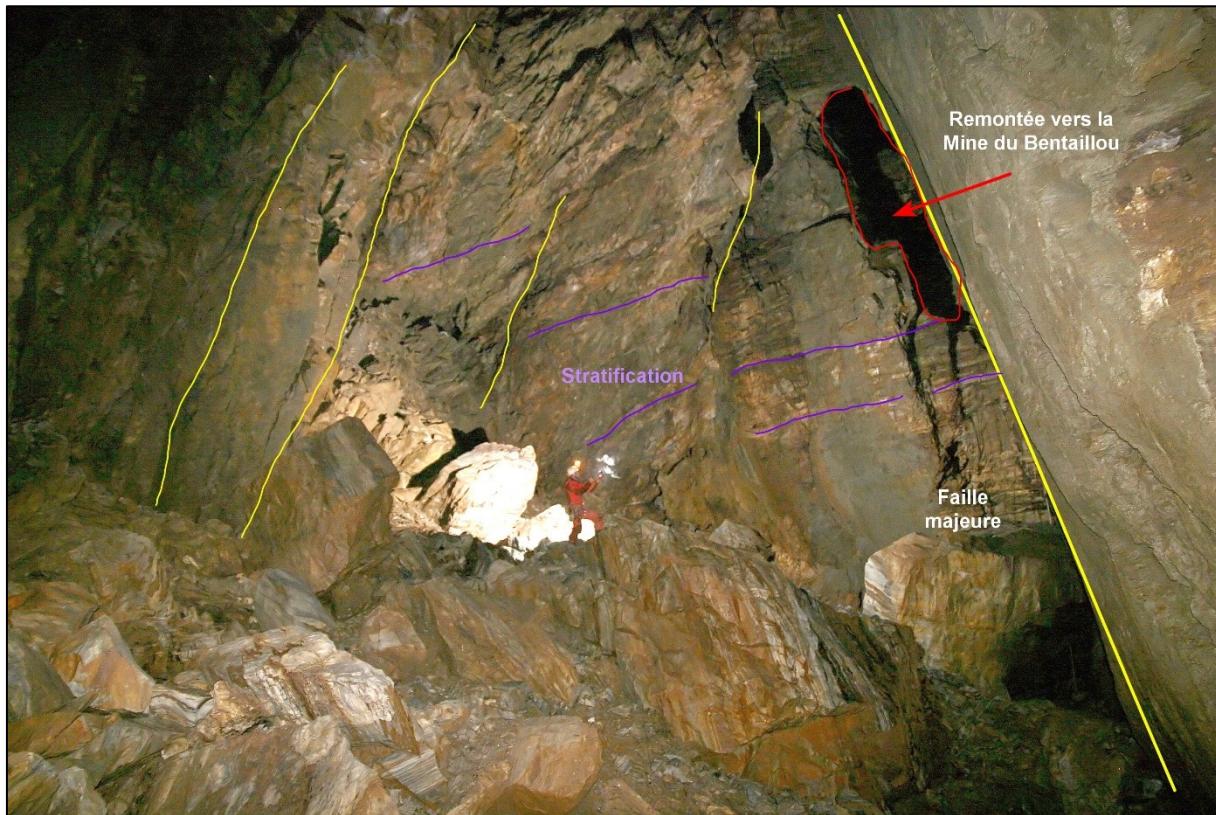


Figure 48 Photo de l'Affluent Martel Salle de l'Eglise (cote 1978m), départ de la cheminée ,remontée probable vers la Mine du Bentaillou
(Photos B. LAFAGE)

Le Karst, la Mine et la Cigalère :

Les observations précédentes conduisent à faire l'hypothèse d'une **relation étroite** entre la karstification recoupée dans la partie la plus haute de la mine et dans les galeries amont de la Cigalère.

Une phase de karstification précoce, développée à partir d'accidents ouverts N 0 à 20°, aurait recoupé le gisement primaire de zinc/plomb en bordure d'un poljé et en se développant sous la couverture de quartzophyllades. Ce karst aurait traversé toute la série calcaire jusqu'à son plancher (ex. : zone des affluents Martel). L'altération des minéraux sulfurés aurait contribué au développement du karst et l'acidification des eaux de percolation en profondeur. Le minerai altéré serait resté piégé dans les vides karstiques sous forme de carbonates ferrugineux riches en Zinc et de Plomb (Calamines, Cérasite).

L'âge du karst des affluents en amont de la grotte de la Cigalère serait donc contemporain de cette phase d'altération ancienne !

PROJETS DE RECHERCHES 2025

PROSPECTION DE SURFACE :

- Levés géologique du contour du calcaire autour poljé de Chichoué,
- Coupe piste de Rouge, échantillonnage eaux et roches (fluo X),
- Coupe versant Nord schistes noirs Siluriens, échantillonnage eaux et roches (fluo X) pour origine sulfates et divers métaux,
- Levés fractures falaise de la Cigalère, recherche de pli couché ?
- Prélèvements des eaux résurgence Chichoué, origine des eaux ?

GROTTE DE LA CIGALERE :

- Localisation de la Faille de la Cigalère dans la Grande Salle et l'affluent des Marmites,
- Levés géologiques galeries fossiles des Ours et Chauves-souris (**autorisation C. PERRIN ?**),
- Recherche origine des sédiments ocre orange en amont du Trou Souffleur, origine liée à des remplissages de failles ?
- Localisation de la sortie eau de l'Affluent Gino dans le cours actif,
- Echantillonnage et analyses du gypse pour recherche de son origine,
- Prélèvements des eaux pour analyses chimiques affluents Martel, Double, Solitaire pour déceler influence de la mine.
- Levés des formations de calschistes à la base des calcaires (Grande Salle, Cascades).

MINE DU BENTAILLOU :

- Exploration des vieux travaux en amont de l'Arc de Triomphe-Puits n°1, observations des relations karst et mine,
- Topographie avec dessin de tout le secteur au-dessus du niveau 1980.
- Levés géologique et minier, échantillonnage et analyses des remplissages du secteur
- Observations faille Saint-Jean
- Relevés dans l'aval de la mine, le TB 1740, si accessible
- Analyses du remplissage du karst de Saint Jean Frigo

TABLE DES FIGURES

Figure 1 Tableau des éléments chimiques analysés par fluorimètre X portatif.....	4
Figure 2 Représentation 3D de la grotte de la Cigalère, vue du nord vers le sud	6
Figure 3 Coupe projetée N20° Mine du Bentaillou-Grotte de la Cigalère	6
Figure 4 Coupe morphologique N35° Grotte de la Cigalère	7
Figure 5 Log géologique de la série du Bentaillou (d'après D. Roucheux).....	8
Figure 6 Coupe géologique Nord-Sud au niveau de l'entrée de la Cigalère	8
Figure 7 Carte des pendages du secteur Bentaillou-Cigalère.....	9
Figure 8 Carte des structures de surface	9
Figure 9 Carte de l'extension du glacier du Haut Biros.....	11
Figure 10 Géomorphologie glaciaire et les calcaires.....	12
Figure 11 Photos du polje de Chichoué	13
Figure 12 Photos des dolines	13
Figure 13 Carte de localisation des levés dans la Grotte de la Cigalère	14
Figure 14 Extraits de la carte des levés géologiques dans la Grotte de la Cigalère	15
Figure 15 Carte altitude du toit des schistes.....	16
Figure 16 Photo de l'entrée de la Cigalère	17
Figure 17 Photo de la Grande salle, contact schistes-calcaires	17
Figure 18 Photos des structures dans la Cigalère.....	18
Figure 19 Plan des structures de la Cigalère et de la Mine du Bentaillou	19
Figure 20 Plan et tableau des points d'analyses au Fluorimètre X	20
Figure 21 Photos et graphiques des résultats d'analyses.....	25
Figure 22 Photo remplissage vers Affluent des Marmites	26
Figure 23 Plan de l'arrivée des galets dans galerie principale	26
Figures 24 Plans des points de mesures pH, conductivité, température	29
Figures 25 Graphiques pH, conductivité, température Amont Aval.....	31
Figure 26 Plan des conductivités grotte de la Cigalère et des zones minéralisées de la Mine du Bentaillou (rouge et bleu)	31
Figure 27 Plan de répartition du gypse dans les galeries de la grotte de la Cigalère.....	32
Figure 28 Localisation du gypse dans la Grotte de la Cigalère et des zones minéralisées dans la Mine du Bentaillou (en rouge et bleu)	32
Figure 29 Coupe C nord -Sud Cigalère-Mine du Bentaillou : origine du gypse	33
Figure 30 Schistes carburés du Silurien au-dessus des galeries nord de la Cigalère	34
Figure 31 Mine du Bentaillou Carte de situation des observations 2024 (carte BRGGM 1957 avec structures minières)	35
Figure 32 Plan, photos et graphiques analyses STJ01,02	36
Figure 33 Plan, photos et graphiques STJ 03 ,04, 05	37
Figure 34 Photo, graphique STJ 08	38
Figure 35 Photos, graphiques STJ-SM 01,03	38
Figure 36 Photos, graphiques des amandes ankéritiques	39
Figure 37 Photos, graphiques analyses faille Narbonne NAR03,04	40
Figure 38 Schémas de minéralisations oxydées Mine du Bentaillou.....	41
Figure 39 Néoformations : photos graphiques SM1 SM2	42
Figure 40 Photo, graphique remplissage de faille N10°, BASTUY01	43
Figure 41 Photos, graphiques failles N10° NAR01,02	44
Figure 42 Photo karst St Jean Frigo	45
Figure 43 Extrait carte Mine du Bentaillou, secteur du Puits n°1 (en rouge les zones karstiques) et photos	46
Figure 44 Découverte d'une cavité karstique dans la mine	47
Figure 45 Plan superposition des fichiers VTOPO Cigalère et Mine du Bentaillou	48
Figure 46 Plan du karst de la Mine du Bentaillou (en rouge) et topographie de la Cigalère Affluent Martel (en marron).	49
Figure 47 Coupe N-S, rapprochement Cigalère Bentaillou	49
Figure 48 Photo de l'Affluent Martel Salle de l'Eglise (cote 1978m), départ de la cheminée ,remontée probable vers la Mine du Bentaillou (Photos B. LAFAGE)	50

