



document public

**Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface,
syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement
de Saint-Salvy (Tarn, France)**

**A. Kosakevitch
D. Cassard
C. Laforêt
F. Pillard**

**juin 1993
R 37624**

**BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département Géologie
B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2 - France - Tél. (33) 38.64.34.34**

Mots-clés : Saint-Salvy - Tarn - Gîte filonien - Tectonique pyrénéenne - Sédimentation intrafilonienne - Paragenèse de remobilisation - Sphalérite néoformée - Calcite - Sidérite néoforme - Pyrite - Marcasite - chapeau de fer

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

KOSAKEVITCH A., CASSARD D., LAFORET C., PILLARD F. (1993) - Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France). Rapport BRGM R37624 GEO-SGN-93, 67 p., 8 fig., 1 tabl., 16.pl..

© BRGM, 1993, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

RESUME

La minéralisation filonienne à sidérite et sphalérite germanifère de Saint-Salvy a livré une paragenèse tardive à *sphalérite* incolore (souvent concrétionnée), *pyrite* (parfois fromboïdale), *marcasite*, *sidérite* néoformée et *calcite*, localement accompagnées d'abondantes sédimentations de microparticules clastiques de *quartz* et de *phyllites*, apportées des schistes encaissants. Reconnue sur une extension d'environ quatre kilomètres, de la mine du Rouquis à l'Extension ouest de la structure filonienne, cette paragenèse occupe des réseaux microfissurés, et ne présente pas de concentrations tant soit peu notables.

Des néoformations semblables de sphalérite sont aussi observées en association avec des carbonates reconnus comme supergènes (sidérite, calcite), postérieurs à un épisode d'oxydation de la sidérite hydrothermale filonienne, à une profondeur de 500 m.

Enfin, dans les chapeaux de fer de l'extension ouest du gisement, antérieurs à la couverture sédimentaire éocène, des sédiments microclastiques (semblables à ceux, liés à la sphalérite néoformée) se déposent avec des remplissages fissurés à hématite de basse cristallinité, accompagnée de barytine et d'un encroûtement ultime de goéthite. Ces réseaux fissurés, postérieurs à la formation et à la maturation du chapeau de fer, révèlent un jeu en faille inverse, et succèdent à une recristallisation sous contrainte du chapeau de fer ancien.

Les trois types d'associations paragenétiques décrites sont attribués à des remobilisations contemporaines de la déformation syn-pyrénéenne, dont d'autres effets sont déjà connus dans le filon de Saint-Salvy. Sous l'effet des contraintes, les déplacements de solutions interstitielles auraient induit localement des transports particuliers et, à une plus grande échelle, des transferts de métaux remobilisés, dont la reprécipitation serait ainsi contrôlée par des mélanges de solutions interstitielles de milieux différents. La paragenèse à sphalérite néoformée dessinerait ainsi des auréoles de dissémination secondaire, à configurations probablement complexes mais qui tracceraient une présence de minéralisation hydrothermale jusqu'à des distances d'ordre pluri-hectométrique.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	9
1.1. Cadre de l'étude.....	9
1.2. Rappel de données sur le gîte et la minéralisation.....	9
1.3. Historique et présentation du travail.....	10
2. PARAGENÈSE A SPHALÉRITE NEOFORMEE DANS LES MINERAIS NON OXYDES	11
2.1. Description minéralogique de la sphalérite néoformée.....	11
2.2. Description texturale de la sphalérite néoformée.....	11
2.3. Sidérite néoformée.....	13
2.4. Calcite terminale.....	14
2.5. Pyrite et marcasite.....	14
2.6. Sédiment micro-clastique.....	15
2.7. Synthèse texturale et séquences paragénetiques.....	16
3. ASSOCIATIONS MINERALES SUPERGENES	18
3.1. Paragenèse à hématite et sédiment microclastique.....	18
3.2. Sphalérite et carbonates supergènes du Rouquis (S.53).....	20
3.3. Sphalérite supergène dans le profil d'altération.....	21
4. DISCUSSION.....	22
CONCLUSIONS.....	24
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	25
FIGURES.....	27
ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES.....	35

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 -** Carte géologique générale du secteur étudié et localisation du champ filonien de Saint-Salvy. En encart, le granite du Sidobre et son auréole de métamorphisme de contact.
- Fig. 2 -** Diagramme paragenétique du filon de Saint-Salvy. Dans l'épisode zincifère, les réouvertures et les remplissages successifs ont été comprimés en un seul événement. Les paragenèses supergènes ne sont pas incluses.
- Fig. 3 -** Croquis de la lame mince C5727, sondage S.62 ; 218 m.
- A - Croquis général, repérant les cercles (lettres) et les photographies présentées.
 - B - Détail de la partie centrale de la lame :
 - C - Détail de la zone encadrée sur la figure B :
- Fig. 4 -** Croquis de la section polies 50194, Sondage S.56.
Echelle : 1 cm.
- Fig. 5 -** Séquence paragenétique à sphalérite néoformée dans la partie non oxydée de la caisse filonienne.
- Sphalérite a : faciès concrétionnaire, supposé colloïdal à l'origine.
 - Sphalérite b : précipités microcristallins.
- A - Ordre général de précipitation des phases minérales.
 - B - Diagramme intégrant les stades de fissuration (I, II), les types de fissures, les apports élastiques (sédiments) et les remobilisations (en hachuré).
- Fig. 6 -** Représentation synthétique interprétative des réseaux fissuraux minéralisés en sphalérite néoformée.
- A - Plans de cisaillement, le long desquels se produit une métasomatose de la sidérite hydrothermale, avec précipitation de pyrite, quartz et sphalérite néoformée.
 - B - Zones de transtension, à remplissage de sidérite néoformée, de faciès de renourrissage. Le remplissage ultérieur des cavités résiduelles (sphalérite, sédiment clastique, calcite) est contemporain des fissures C/.
 - C - Fissures tardives irrégulières, à remplissage de pyrite, marcasite, sphalérite, sédiment clastique et calcite.
- Fig. 7 -** Croquis de la section polie 52088 (S.61 : 51,7 m) représentant le réseau de filonnets à hématite néoformée, recoupant un chapeau de fer antérieur.

Fig. 8 - Deux séquences paragénétiques supposées être liées à la compression pyrénéenne.

A - Paragenèse syntectonique postérieure à l'oxydation et à la maturation du chapeau de fer. Les subdivisions de cette paragenèse coïncident avec des refissurations successives (sondage S.61, extension ouest du gisement).

B - Paragenèse supergène profonde (sondage S.53, sous Rouquis).

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 1 - Diagrammes Debye et Scherrer de la sphalérite néoformée de Saint-Salvy

A : Sondage S.62 ; 186 m. Entre parenthèses : raies de quartz en traces.

B : Mine de Saint-Salvy, chantier supérieur entre 259 et 384 m (cotes altimétriques).
Echantillon de Luc Barbenson, prélevé vers 1976-1977.
Repérées par un astérisque : raies de *wurtzite*.

1. INTRODUCTION

1.1. CADRE DE L'ETUDE

Réalisé dans le cadre d'un *programme de recherche en partenariat industriel* (R.P.I. 1ter, en collaboration avec Metaleurop), le travail ci-dessous consigne les données sur la distribution et la signification génétique d'une génération tardive de sphalérite, désignée comme *sphalérite néoformée*. Ces données constituent une retombée d'une étude minéralogique du profil supergène, et apportent une contribution à l'un des principaux axes du programme de la RPI 1 ter, celui de la recherche de *critères de proximité* de concentrations économiques de la minéralisation.

1.2. RAPPEL DE DONNEES SUR LE GITE ET LA MINERALISATION

Situé dans la partie sud-ouest du Massif central français, à 12 km à l'est de Castres, le filon de Saint-Salvy est encaissé dans des séries de schistes cambro-siluriens, et s'étend sur 9 km d'extension actuellement reconnue (fig. 1). Il représente une *zone de cisaillement dextre*, d'extension ENE et d'une puissance variant entre 15 et 60 m, dont la formation a succédé à la mise en place du granite tardi-hercynien du Sidobre (Cassard D. et Gros Y., 1989).

Les premiers réseaux de fractures discontinues, à remplissage de *quartz* faiblement minéralisé en *pyrrhotite*, *pyrite* et *arsénopyrite*, ont induit une intense silicification des roches encaissantes. Dès la formation d'une fracture régionale continue, à la paragenèse à quartz succèdent des remplissages à *sidérite* et *sphalérite* germanifère de couleur foncée, qui remanient les roches encaissantes silicifiées.

La concentration économique de la minéralisation zincifère est située dans une zone où la structure porteuse tangente l'auréole métamorphique du granite de Sidobre. Le gisement est constitué de deux importants corps minéralisés d'une extension totale de 3 km, séparés par une faille nord-sud (faille de Sardagne). Ces corps minéralisés ont déterminé l'implantation de deux centres d'exploitation : la mine de *Saint-Salvy* à l'ouest (nous la désignerons comme *mine principale*), et la mine du *Rouquis* à l'est. Les minerais sont essentiellement bréchiques (brèches d'effondrement), à éléments de schiste et de quartz, encroûtés de sidérite et cimentés par la sphalérite, ce qui leur confère un aspect caractéristique de "brèches à cocardes". En dehors de la zone minière, la minéralisation filonienne actuellement connue semble être essentiellement sidéritique, avec des traces de sphalérite, rencontrées notamment dans l'*Extension ouest* (où la structure filonienne s'envoie sous une *couverture de terrains éocènes*), et dans un filon légèrement oblique et recoupant celui de Saint-Salvy (filon annexe).

La structure filonienne minéralisée a subi deux rejeux ultérieurs : (1) un *rejeu en faille normale* lors de la phase de distension permo-triasique, entraînant un effondrement hectométrique des schistes du toit de la caisse mais sans avoir laissé d'empreintes paragénétiques spécifiques, et (2) un *rejeu en faille inverse*, attribué à la compression pyrénéenne, avec une formation de *brèches d'attrition* ("brèches béton") à éléments de sphalérite remaniée, pris dans un ciment de *calcite*.

Ce schéma de l'évolution paragénétique générale doit être complété par l'apparition de fréquentes traces d'une ou de plusieurs paragenèses tardives, jusqu'à présent non datées, comprenant des

sulfures tout à fait accessoires (*pyrite, marcasite, chalcoppyrite*), associés à une gangue de *calcite* et/ou de *quartz*. C'est dans ce type d'associations minérales que fut reconnue la sphalérite néoformée, qui fait l'objet de cette étude. Enfin, il faut mentionner aussi une découverte récente (Marcoux, 1989) de précipités de *sidérite zincifère néoformée*, toujours microcristalline et postérieure à la sphalérite hydrothermale, mais qui a été attribuée à la fin de la mise en place de la minéralisation filonienne.

Le schéma synthétique de l'évolution paragenétique (fig. 2) a été réalisé dans le cadre du travail de synthèse sur la RPI consacrée à Saint-Salvy (Cassard D. *et al.*, soumis), auquel le lecteur se rapportera pour toute donnée complémentaire.

1.3. HISTORIQUE ET PRESENTATION DU TRAVAIL

Les premières identifications de sphalérite néoformée, mentionnées par Fogliérini F. *et al.* (1980), se rapportent à la base du profil d'oxydation, dans une zone actuellement inaccessible (voir plus loin, 3.3.).

Les études minéralogiques réalisées dans le cadre de la RPI 1 ter ont conduit, en novembre 1992, à une découverte de la sphalérite néoformée simultanément sur : (1)- plusieurs échantillons du sondage S.62 (sondage recoupant un protore stérile, effectué en 1992 dans l'Extension ouest de la structure filonienne de Saint-Salvy ; cf. Kosakevitch A., 1992 c) et (2)- un échantillon de sidérite oxydée du sondage S.53 (sondage profond sous la mine du Rouquis), prélevé par A.Geldron (1981), et dont l'étude fut reprise en vue d'un examen comparatif avec les chapeaux de fer de l'Extension ouest (Kosakevitch A., 1992 a, b).

Cette double découverte de sphalérite néoformée a conduit à réexaminer aussi les lames et sections polies du minerai sulfuré de la mine de Saint-Salvy, antérieurement décrites par Marcoux E. (1989). Ce dernier matériel a ainsi livré plusieurs nouvelles occurrences de sphalérite néoformée, aussi bien dans le filon de Saint-Salvy que dans le filon annexe, mettant en évidence une distribution à grande échelle de ces précipitations tardives, *entre la zone du Rouquis et l'Extension ouest*.

Le texte du présent rapport est rédigé en vue d'une *publication ultérieure*, dont la forme ultime dépendra de la revue destinatrice. L'abondante documentation photographique disponible, dont la reproduction est difficilement envisageable dans le cadre d'une revue scientifique, est ici valorisée de manière optimale, afin de préserver une documentation d'archive.

Par ailleurs, les données présentées ci-dessous interfèrent à plusieurs endroits avec celles d'une étude des chapeaux de fer (Kosakevitch A. *et al.*, en cours), qui ne sont pas encore disponibles. Afin de pallier l'impossibilité momentanée de renvois à ce travail, nous résumerons les principaux objets de ces renvois.

L'exposé débute par la description de la paragenèse à sphalérite néoformée dans les minerais *non oxydés* (2.1 à 2.5.), puis présente deux exemples de paragenèses typiquement *supergènes* qui semblent être contemporaines des précédentes (3.1. et 3.2.), et se termine par une brève discussion générale (4.1. à 4.6) qui précède les conclusions.

2. PARAGENÈSE A SPHALÉRITE NEOFORMEE DANS LES MINERAIS NON OXYDES

2.1. DESCRIPTION MINERALOGIQUE DE LA SPHALERITE NEOFORMEE

De couleur blanc-beige à grisâtre, la sphalérite néoformée est difficile à reconnaître à l'oeil nu, même là, où elle se présente en tapissages continus de parois fissurales, sur des surfaces semi-décimétriques (sondage S.62, 186 m). Lorsqu'elle atteint des tailles visibles à la loupe, elle est caractérisée par son aspect globulaire (micro-concrétionnaire), mais peut alors être confondue avec de la *sauconite* qui, elle aussi, forme des tapissages micro-globulaires, reconnus dans les minerais sulfurés du Rouquis, en voie d'altération (Kosakevitch A.*et al.*, en cours).

La sphalérite néoformée se distingue aisément de la sphalérite hydrothermale par sa *fluorescence* aux rayons ultraviolets (en jaune foncé, perceptible seulement en cas d'encroûtement de surfaces notables) et, au microscope, par sa *transparence* et l'absence de coloration, ce qui peut induire une confusion avec des oxydes de titane qui se rencontrent souvent dans l'environnement proche.

Les diagrammes Debye-Scherrer de la sphalérite néoformée, réalisés sur des encroûtements fissuraux du sondage S.62, donnent des spectres typiques de sphalérite, avec des raies principales à 3,12 ; 1,91 et 1,63 Å (tabl. 1, A).

Au contraire, un encroûtement millimétrique de sphalérite concrétionnée provenant de l'ancien chantier supérieur de la mine principale (échantillon communiqué par Barbanson L.), fournit sur deux diagrammes effectués, outre les raies de la sphalérite, deux raies supplémentaires, qui correspondraient à des raies de *wurtzite* (cf. tabl. 1, B).

2.2. DESCRIPTION TEXTURALE DE LA SPHALERITE NEOFORMEE

La sphalérite néoformée se rencontre parfois en *filonnets* microscopiques recoupant des éléments bréchiques de schiste silicifié (photo 1) ou des remplissages fissuraux de pyrite (photo 2) mais, le plus souvent, elle se présente en *crystallites automorphes* de 0,5 à 50 microns (photos 3 à 5), en plages irrégulières (photos 6 à 8), ou en *micro-concrétions* de 20 à 500 microns (photos 9 à 12 ; 14, 15).

La masse interne des concrétions de sphalérite néoformée est poreuse et constituée de grains non soudés de 0,1 à 1,0 μm (photos 11 à 13). Elle présente une zonation concentrique, qui peut être soulignée par des zones pluri-microniques de sphalérite massive, alors que la surface des concrétions est généralement recouverte d'une croûte d'épaisseur variable de sphalérite bien cristallisée. Cette croûte, qui cicatrise parfois aussi des fissures tardives affectant les concrétions (photos 10, 14), contient occasionnellement quelques cristaux isolés de pyrite (photo 11).

Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)

A		B	
d(Å)	I	d(Å)	I
(4,25)	≤ 1	3,27(*)	4
(3,348)	3	3,112	10
3,120	10	2,84(*)	≤ 1
2,702	4	2,699	4
(2,445)	< 1	2,512	< 1
1,912	7	1,904	6
(1,819)	≤ 1	1,625	5
1,6323	6	1,559	1
1,5631	1	1,344	2
1,3520	3	1,2370	3
1,2411	4	1,2032	1
1,2094	1	1,1003	4
1,1040	4,5		
1,0410	3,5		

Tabl. 1 - Diagrammes Debye et Scherrer de la sphalérite néoformée de Saint-Salvy

A : Sondage S.62 ; 186 m. Entre parenthèses : raies de quartz en traces.

B : Mine de Saint-Salvy, chantier supérieur entre 259 et 384 m (cotes altimétriques).
Echantillon de Luc Barbenson, prélevé vers 1976-1977.
Repérées par un astérisque : raies de *wurtzite*.

N.B. Dans le spectre B, l'ensemble des raies présente un sensible élargissement, témoignant d'une cristallinité plus basse du sulfure que de l'échantillon précédent (spectre A).

Dans certains filonnets d'un échantillon du sondage S.62 (218 m), la phase cryptocristalline des concrétions de sphalérite fait défaut et seules les zones concentriques bien cristallisées constituent alors des *fantômes* de concrétions. Les cavités de ces fantômes peuvent être comblées de calcite (photos 18 à 20) ou de pyrite (photo 21). L'ensemble de ces caractéristiques texturales suggère que la sphalérite précipitait initialement à l'état colloïdal, les recristallisations ultérieures ayant pu être accompagnées ou suivies de *remobilisations* d'intensités variables, voire d'un lessivage du dépôt initial.

La sphalérite néoformée précipite essentiellement dans les réseaux microporeux du minerai (fissures et pores géodiques), tantôt sur du *quartz* (photos 8, 9), tantôt sur de la *sidérite* (photos 3 à 5; 10), plus rarement sur de la pyrite (photos 11, 15, 21). Sa cristallisation se produit préférentiellement (mais non systématiquement) sur ou à proximité des parois *inférieures* des micro-cavités, ce qui permet de réorienter les échantillons suivant la verticale (photos 22, 23). Elle apparaît tantôt seule, tantôt accompagnée de *pyrite*, de *marcasite*, et/ou de *sidérite néoformée* et, dans certaines zones de la structure filonienne, d'un *sédiment microclastique* à *quartz*, *séricite* et *kaolinite* (voir plus loin). Enfin, les cavités des pores demeurent parfois libres (photos 3 à 5, 9, 23), ou bien, sont comblées de *calcite* terminale (photos 10, 14, 22, 25, 29).

Ci-dessous, nous décrivons les relations texturales entre la sphalérite néoformée et ses principaux accompagnateurs (2.3. à 2.6.), et synthétiserons ensuite les observations texturales dans un diagramme paragenétique (2.7).

2.3. SIDERITE NEOFORMEE

La *sidérite néoformée* est, le plus souvent, antérieure aux autres minéraux et se présente elle-même en plusieurs générations.

La plus précoce de ces générations, reconnue seulement dans l'Extension ouest (sondage S.62), est représentée par un *faciès de renourrissage* de la sidérite hydrothermale ancienne. La sidérite néoformée précoce cicatrise ainsi les surfaces de fracture, leur conférant des contours automorphes crêtés de carbonate spathique. Ces renourrissages sont zonés, généralement épais, et produisent parfois un comblement de la fissure. Ils révèlent une modification progressive de la composition du carbonate, caractérisée par une disparition (progressive ou par saccades) du *calcium* et une augmentation de la teneur en *manganèse*, sans traces perceptibles de zinc (photos 26, 27). Ce faciès de sidérite néoformée contient occasionnellement des traînées d'inclusions infra-millimétriques de *quartz*, *pyrite* et *chalcopryrite*, disposées parallèlement aux épontes (sondage S.62, 177,50 m) et il se développe principalement dans des *fractures planes, subverticales*.

Au contraire, dans les fissures irrégulières, dont les pendages sont souvent inférieurs à 45° et qui sont nettement postérieures aux précédentes, les épontes ne présentent qu'un léger début de cicatrisation par une sidérite manganésifère et non calcique (photo 27), ou bien, en sont exemptes (photos 4, 10, 22,23).

Un autre faciès de sidérite, pouvant lui aussi cicatriser les parois des cavités, est représenté par des *encroûtements microcristallins*, qui révèlent une *néoformation d'individus* cristallins recouvrant le substrat, sans le *renourrir* (photos 3, 24). A ce faciès, observé aussi bien dans l'Extension ouest que dans le filon annexe ou dans la mine principale, s'associent couramment des traces de pyrite (photo 25). Par sa cristallinité et sa position texturale, ce faciès évoque celui de la

sidérite zincifère découverte par Marcoux E. en 1989, mais il n'a pas encore fait l'objet d'étude microchimique.

Enfin, en association directe avec le remplissage fissural, des cristallites bien individualisés de sidérite néoformée se rencontrent parfois dans les sédiments microclastiques, ou en intercroissances avec de la sphalérite néoformée (photos 7, 8, 28). Enrichie en Mn et dépourvue de Ca, cette sidérite est semblable aux dernières zones d'accroissement de la sidérite de renourrissage.

2.4. CALCITE TERMINALE

La *calcite* est généralement très abondante et comble la totalité l'espace fissural, moulant tous les autres constituants. Elle est toujours largement cristallisée, les cristaux atteignant des tailles centimétriques. Ainsi, à l'échelle de l'observation microscopique, elle produit un effet très caractéristique de *remplissage monocristallin*, continu entre les deux épontes d'un filonnet (photo 29). Les analyses qualitatives, effectuées sur l'échantillon S.62, 218 m, n'ont révélé que de très faibles traces ponctuelles de Zn, et seulement à proximité immédiate de certaines concrétions de sphalérite.

En règle générale, la calcite est exempte de macles, sauf dans certains remplissages dépourvus de sphalérite néoformée, et dont l'appartenance à la même paragenèse reste à démontrer. Il est à noter que la calcite dépourvue de sphalérite néoformée corrode souvent la sphalérite hydrothermale foncée, les meilleures textures de corrosion étant observées dans le chantier 64W de la mine principale (lame polie 9448). Cette déstabilisation de sphalérite est, peut-être, à mettre en parallèle avec la remobilisation de la phase colloïdale de la sphalérite néoformée, déjà signalée plus haut (*fantômes de concrétions*).

Enfin, dans certaines géodes de sidérite hydrothermale à remplissage de calcite maclée contenant par endroits des traces d'un sédiment phylliteux très fin, le carbonate de fer présente une très légère *limonitisation* le long de l'interface sidérite-calcite. A moins d'invoquer d'improbables circulations privilégiées de solutions oxydantes tardives le long du contact entre les deux carbonates, l'on est conduit à conclure qu'un début d'*oxydation supergène* aurait précédé la précipitation de la calcite et, *a fortiori*, son maclage. Cette observation est faite principalement sur l'échantillon H2.216,5 m (lame polie 9453) du filon des Huttes et, pour partie, sur B2.392,2 m (lame polie 9451) du filon de Brugayroux, ces deux filons étant situés au sud de la mine principale de Saint-Salvy.

2.5. PYRITE ET MARCASITE

Dans les associations de *pyrite* et de *marcasite*, la précipitation débute généralement par la pyrite, et se termine par des intercroissances des deux sulfures.

Dans le sondage S.62 (218 m) de l'Extension ouest, il a été observé *deux générations* de ces sulfures de fer, liées respectivement à deux temps de déformation (cf. schéma de la lame mince, fig. 3). La première génération, à pyrite largement prédominante, accompagnée de quartz et de quelques micro-plages de *sphalérite* incolore, précipite par *remplacement* de la sidérite hydrothermale le long de *plans de déformation non ouverts*, sub-verticaux (photo 30 à 32). Les ouvertures ultérieures des filonnets métasomatiques ainsi formés, sont très irrégulières et

comblées par la deuxième génération paragénetique, cette fois à marcasite abondante, et dépourvue de quartz (fig. 3C, photos 33 à 35). C'est dans les réseaux fissuraux synchrones de ces réouvertures qu'ont été rencontrées d'abondantes précipitations de sphalérite concrétionnée (photos 18 à 23).

Dans un échantillon de sondage en mine ayant recoupé le prolongement nord du filon annexe de Saint-Salvy (S.56, profondeur non précisée), la pyrite, intimement liée à des précipités de sphalérite concrétionnée, forme elle-même des concrétions centimétriques grossièrement zonées (fig. 4), entièrement constituées de *fromboïdes* plus ou moins recristallisés (photo 36). Au coeur de ces concrétions de pyrite fromboïdale apparaissent des plages arborescentes de sphalérite à aspect *dendritique* (photos 16, 17). Entre les zones d'accroissement de la pyrite, la sphalérite réapparaît à nouveau (photo 36) et, à la surface des concrétions, elle se développe en *encroûtements concrétionnaires*, qui peuvent atteindre 1 mm (photo 15).

Enfin, dans certains échantillons dépourvus de sphalérite néoformée (filon de Brugayroux, au sud de Saint-Salvy; sondage B2. 392,20 m, lame C945), la précipitation de la pyrite géodique, toujours cimentée par de la calcite largement cristallisée mais, cette fois, maclée, débute par des *concrétionnements fibro-radiés*, dont la cristallinité s'accroît progressivement et aboutit à une formation de cristaux automorphes largement développés. Cette pyrite corrode la sidérite et la sphalérite hydrothermales. Nous ne disposons encore d'aucune donnée sur un lien génétique éventuel entre ces remplissages et ceux à sphalérite néoformée.

2.6. SEDIMENT MICRO-CLASTIQUE

Dans les réseaux fissuraux à sphalérite néoformée, et principalement dans l'*Extension ouest* du filon (sondage S.62), on observe souvent des remplissages (parfois seulement partiels) par un sédiment microclastique très poreux, à grains de *quartz* de 1 à 50 micromètres, accompagnés de micro-lamelles de *séricite* et de *kaolinite*, auxquels s'associent parfois des fragments plus grossiers ou des cristaux de sidérite. A l'échelle macroscopique, ces remplissages ont un aspect duveteux ou terreux et peuvent être confondus avec des pollutions par les boues de forage. Le sédiment présente parfois des traces de *litage* assez irrégulier (photo 37) et, lorsque le remplissage des fissures est incomplet, il tapisse exclusivement leurs parois inférieures (photo 23). La porosité des sédiments, lorsqu'ils ne sont pas imprégnés de calcite, est inversement proportionnelle à la proportion de leur fraction "grossière" (grains de quartz), et les dépôts essentiellement phylliteux peuvent constituer des feutrages particulièrement poreux (photo 39).

Dans les filonnets comblés de calcite, le sédiment micro-clastique peut former un dépôt basal poreux, dont seule la partie supérieure est imprégné du carbonate (photo 38) mais, dans le cas le plus fréquent, il apparaît sous forme de particules clastiques *disjointes*, en suspension dans la masse de la calcite (photos 20, 24, 25). Vu au microscope, le sédiment n'est parfois perceptible qu'en lumière transmise (surtout en absence de sa fraction grossière), produisant une opacification du carbonate et dessinant des ombres de sédimentation sur des substrats irréguliers (photos 40, 41). Lorsque le sédiment inclus dans la calcite abonde, il peut présenter une *stratification*, caractérisée par un *classement granulométrique* avec une différenciation d'un *dépôt quartzeux basal*, surmonté d'un *dépôt phylliteux*. Dans des fissures à pendage prononcé, le dépôt basal présente parfois des *figures de glissement* (photos 42, 43), qui ne laissent aucun doute sur l'antériorité du sédiment par rapport à la calcite.

Comme il a été dit plus haut, le sédiment microclastique est abondant dans certains échantillons du sondage S.62 (Extension ouest), alors que dans la zone de la mine principale (filon de Saint-Salvy et filon annexe) il est représenté, le plus souvent, par des traces à peine perceptibles de la fraction phylliteuse fine. Ainsi, l'accumulation de sédiment dans la plage des photos 24 et 25 représente, pour la mine principale de Saint-Salvy, un cas assez exceptionnel.

La *sphalérite néoformée* peut apparaître aussi bien à la base du sédiment (photos 39, 40) que dans sa masse (photos 7, 20, 22, 23, 25), et elle renferme souvent des particules sédimentaires, piégées au cours de sa cristallisation (photos 13, 19). Dans certains échantillons, la sphalérite précipite préférentiellement à l'interface des dépôts "grossier" (quartzueux, basal) et fin (phylliteux), où elle forme d'abondantes concrétions, alors que dans la masse du dépôt phylliteux elle se présente seulement en cristallites microscopiques disséminés (photos 42, 43). Ces observations permettent de conclure à une contemporanéité des processus de sédimentation clastique et de précipitation de la sphalérite.

2.7. SYNTHÈSE TEXTURALE ET SEQUENCES PARAGENETIQUES

Les données descriptives ci-dessus, dont nous proposons ici une synthèse paragenétique, permettent de reconstituer l'évolution générale des associations minérales décrites. Nous désignerons cette évolution par le terme de *séquence* paragenétique, afin d'éviter une confusion terminologique avec l'évolution paragenétique globale de la minéralisation filonienne, déjà esquissée dans l'introduction (cf. fig. 2) et qui n'entre pas dans le cadre de cette étude.

Dans sa plus simple expression, la séquence paragenétique à sphalérite néoformée se réduit à des précipités *monominéraux*, les concrétions ou les cristallites isolés de sphalérite étant alors fixés sur un substrat de quartz (photo 9), ou bien, de sidérite hydrothermale fracturée (photo 4).

Les relations génétiques entre la sphalérite néoformée et la *sidérite de renourrissage* du substrat (photo 40) demeurent, en toute rigueur, incertaines, à l'exception de rares cas, lorsque la surface de la sidérite automorphe moule légèrement la base des cristaux de sphalérite (photo 5) : au moins la dernière zone d'accroissement du carbonate appartiendrait alors à la séquence paragenétique qui nous intéresse. Cependant, un lien paragenétique plus explicite apparaît entre la sidérite en microcristaux automorphes et la sphalérite néoformée et, dans ce cas, les temps de précipitation des deux minéraux se recouvrent partiellement (photos 3, 7, 8).

Le *quartz* est presque toujours antérieur non seulement à la sphalérite, mais aussi à la sidérite néoformée (photos 3, 8). Toutefois, il a été rencontré en traces (en association avec la *chalcopyrite* et la *pyrite*) dans de la *sidérite de renourrissage* et, par ailleurs, il a livré un cas particulier d'association avec la *sphalérite néoformée*, dans une paragenèse à pyrite métasomatique précoce (sondage S.62, 218 m).

La *pyrite*, la *marcasite* et, dans une moindre mesure la sidérite microcristalline, sont les seuls minéraux dont la cristallisation est, pour l'essentiel, indubitablement *contemporaine de la sphalérite néoformée*. Il semble même exister une certaine *corrélation entre les proportions de sulfures de fer et de zinc*. En effet, les deux seuls échantillons qui soient exceptionnellement enrichis en sphalérite néoformée, sont aussi particulièrement riches en pyrite et/ou marcasite (sondages S.56, cf. fig. 4 et S.62, cf. fig. 3).

Enfin, la *calcite*, toujours terminale, n'a encore jamais révélé d'intercroissances par syn-cristallisation avec d'autres constituants de la paragenèse à sphalérite néoformée. Toutefois, leur étant couramment associée dans toutes les zones de la structure filonienne, elle semble pouvoir être rattachée à cette paragenèse.

Ce rattachement trouve aussi une justification indirecte dans le fait que, lorsque la calcite imprègne des sédiments microclastiques (qui sont contemporains de la sphalérite), *les particules détritiques sont toujours largement disjointes* et souvent assez dispersées dans la matrice carbonatée (photos 20, 25). Cette dispersion ne s'accompagne d'aucune perturbation dans la configuration générale du sédiment, ce qui permet de penser que la calcitisation imprégnait des *suspensions aqueuses denses* de particules, c'est à dire des sédiments non encore tassés.

Les données ci-dessus sont résumées dans le diagramme de la figure 5A, où nous avons aussi intégré l'évolution de la sphalérite, déjà décrite (concrétionnement supposé colloïdal, puis cristallisation tardive cf. 2.2.).

Toutefois, les descriptions texturales nous offrent une série d'observations complémentaires qui permettent de caler ce diagramme par rapport à trois autres processus contemporains: la *sédimentation* des particules microclastiques, les *déformations* mécaniques, et les *remobilisations* observées. Le diagramme synthétique ainsi obtenu (fig. 5B) est commenté ci-dessous.

Les *déformations*, contemporaines de la paragenèse à sphalérite néoformée, ont laissé de nombreuses marques texturales caractéristiques.

Les fissures dans lesquelles précipite la paragenèse à sphalérite néoformée forment généralement des *réseaux irréguliers* (fig. 3B), souvent à pendages entre 0 et 60° (photos 2, 4, 22, 23, 37, 38, 42). Au cours de la précipitation, ces réseaux fissuraux manifestent localement de *légers rejeux*, attestés dans deux sondages (S.51 et S.56) qui recoupent le *filon annexe* dans la zone de la mine principale (photos 10, 14).

En outre, dans l'Extension ouest de la structure filonienne, ces réseaux de filonnets irréguliers sont précédés par des *fractures planes et subverticales*, qui sont le siège de précipitations tantôt de *sidérite de renourrissage* (fractures jouant en *extension*, cf. photo 26), tantôt de *pyrite, quartz et sphalérite néoformée* (précipitation métasomatique le long de plans de cisaillement *non ouverts*, cf. photos 30 à 32).

Nous ne disposons pas d'observations probantes sur l'appartenance des plans de cisaillement (zones à métasomatose pyriteuse) et des fissures planes ouvertes (à sidérite de renourrissage) à un même épisode de déformation. Toutefois, à en juger par leurs directions respectives sur la figure 3B, les filonnets à sidérite de renourrissage pourraient correspondre à des *zones de transtension dans un réseau de plans de cisaillement subverticaux fermés* (figure 6). Dans cette hypothèse, la différenciation paragenétique spatiale lors de l'épisode précoce (sidérite de renourrissage ou métasomatose pyriteuse), serait contrôlée par les différences locales de contraintes entre les zones jouant en compression ou en extension.

Les deux temps de déformation (fisuration subverticale, puis oblique, reprenant la première) déterminent *deux épisodes paragenétiques successifs*, qui semblent devoir être rattachés à un processus évolutif continu. En effet : (1)- la sphalérite néoformée se trouve associée aux sulfures

de fer dans les deux générations de fissures, et (2)- la sidérite des fissures précoces, appauvrie en Ca et enrichie en Mn, annonce déjà la composition de celle de l'épisode terminal.

Les *remobilisations* observées (figurées en hachuré sur le diagramme de la figure 5B) concernent la sidérite et la sphalérite néoformée. Lors du premier épisode décrit ci-dessus, la *déstabilisation de la sidérite hydrothermale ancienne dans les zones jouant en compression*, induirait une *reprécipitation de sidérite néoformée* dans les parties ouvertes des fissures (sidérite de renourrissage). Quant à la sphalérite néoformée, la phase à cristallinité imparfaite qui constitue la masse des concrétions est parfois partiellement ou totalement dissoute (fantômes de concrétions), cette dissolution ayant lieu avant l'arrêt de précipitation de la pyrite.

Sur le diagramme de la figure 5B, la coïncidence apparente entre la remobilisation de la sphalérite et les refissurations tardives est induite par le fait que ce diagramme synthétique cumule des observations à répétitivités inégales, faites dans différents secteurs de la structure filonienne.

Enfin, les matériaux des *sédiments microclastiques*, dont les matériaux sont étrangers à la paragenèse considérée, n'en révèlent pas moins des processus de sédimentation de particules exotiques, donc de transport et, par conséquent, de *circulation de fluides* dans les réseaux microfissurés. Ces circulations étaient indubitablement contemporaines des concrétionnements de sphalérite néoformée et des sulfures de fer (pyrite et marcasite) dans les réseaux de fissures irrégulières tardives.

3. ASSOCIATIONS MINÉRALES SUPERGÈNES.

Ci-dessous, nous décrivons deux cas particuliers de paragenèses supergènes, empruntés à l'étude des chapeaux de fer actuellement en cours. Leur intégration dans cette étude se justifie par le fait que chacun d'eux présente des apparentements avec la paragenèse décrite ci-dessus : le premier comporte un sédiment microclastique, et le second révèle la présence de sphalérite néoformée. Enfin, nous terminerons par un rappel des données bibliographiques sur la présence de sphalérite supergène.

3.1. PARAGÈNESE A HÉMATITE ET SÉDIMENT MICROCLASTIQUE

Un sédiment microclastique tout à fait semblable à ceux, décrits plus haut (mais dépourvu de sphalérite), a été rencontré dans un échantillon de *chapeau de fer* de l'Extension ouest (S.61, 51, 7 m), où il s'associe à des remplissages fissurés à *hématite de très basse cristallinité*, et parfois *terreuse*. Ce même type d'hématite fissurale, bien que dépourvue généralement de sédiment microclastique, est connue dans plusieurs autres échantillons de l'Extension ouest (sondages S.56 et S.61), de même qu'à l'intersection du filon de Saint-Salvy avec le filon annexe, à l'extrémité occidentale de la mine principale (Kosakevitch A., 1992, a). Cette hématite recoupe toujours des chapeaux de fer déjà très évolués, qui ont parfois subi une *quartzification* supergène plus ou moins intense, elle-même postérieure à l'oxydation.

Dans l'échantillon cité plus haut, le sédiment microclastique tapisse le fond de pores et de fissures remplis d'hématite (photo 44) et présente, comme dans les filonnets à sphalérite néoformée, une stratification par *classement granulométrique* : le quartz microclastique (parfois associé à des fragments limonitiques plus grossiers) se situe à la base du remplissage hématitique (photo 45), alors que les microlamelles de phyllites sont dispersées dans la masse de celui-ci, en position approximativement horizontale. Une des fissures à hématite de l'échantillon cité a subi une réouverture, avec encroûtement de l'hématite par une *goethite terminale* (photo 44), à la base de laquelle apparaissent des groupements de cristaux de *barytine supergène* (photo 46). Cette barytine est légèrement corrodée par la goethite (photo 47), ou bien, totalement dissoute, ne laissant alors que de fantômes creux, préservés par l'oxyde encroûtant terminal.

La configuration des filonnets à hématite décrits révèle un léger *jeu en faille inverse* (fig. 7). En outre, l'étude texturale a montré que cette fissuration avait succédé à une *déformation de la goethite massive environnante*, produisant des figures de recristallisation sous contrainte et la formation de fentes de tension (dont certaines ont une forme sigmoïde). Cette déformation précoce, qui sera illustrée dans l'étude des chapeaux de fer, était aussi accompagnée de fractures à rejeux répétitifs, mais dont la cinématique n'a pu être reconstituée. De plus, chaque rejeu de ces fractures précoces était suivi d'un encroûtement par de la goethite, *antérieure* au remplissage hématitique mais *postérieure* au chapeau de fer. Cette évolution supergène stadique, comportant deux épisodes paragénetiques liés à une déformation tardive du chapeau de fer, est résumée sur le diagramme de la figure 8A.

Initialement rapportée à une précipitation pédogénétique post-oxydation (Kosakevitch A., 1992 a), l'hématite décrite doit donc être désormais attribuée à une *remobilisation syn-tectonique* du fer, vraisemblablement consécutive aux recristallisations sous contrainte des hydroxydes initiaux. Il en est vraisemblablement de même pour les encroûtements goethitiques cités, aussi bien ceux qui précèdent que celui qui succède à l'hématite. Or, la présence de *barytine supergène tout à fait terminale*, contraste avec la position paragénetique courante de ce sulfate dans les chapeaux de fer, où il est généralement contemporain de l'oxydation de la pyrite. Dans la paragenèse décrite ci-dessus, la barytine témoigne donc d'une activité *tardive* inhabituelle d'ions sulfate, ce qui suggère une remobilisation de sulfures, contemporaine des remplissages hématitiques.

Du fait que, dans l'Extension ouest, la couverture éocène préserve le niveau d'altération pédogénétique de l'ancienne paléosurface sousjacent (observations de Béziat P. à l'affleurement, et de Chabod J.C. en sondage ; communications orales), les chapeaux de fer de cette zone doivent être considérés comme *antérieurs à la couverture*. Par conséquent, ces chapeaux de fer anciens sont antérieurs aux contraintes de l'*orogénie pyrénéenne*, dont les effets sont déjà reconnus à Saint-Salvy (voir fig. 2 : rejeu en *faille inverse* avec formation de brèches d'attrition à gangue calcitique, cf. Cassard D. *et al.*, 1993). Ces chapeaux de fer sont donc susceptibles d'avoir enregistré, eux aussi, des effets de cette compression. Il semble donc justifié d'attribuer les figures de déformation décrites plus haut à la tectonique compressive pyrénéenne (Blès J.L. *et al.*, 1989), d'autant plus que les filonnets hématitiques reproduisent aussi un jeu en faille inverse.

Pour ce qui est du sédiment microclastique qui, comme dans la paragenèse du protore, provient incontestablement des roches encaissantes, il ne constitue pas, dans le cas présent, une indication probante de quelque effet de "suction" qui aurait été produit par l'ouverture de réseaux fissuraux. En effet, dans la zone aérée du profil, les percolations météoriques descendantes transportent couramment des particules clastiques fines. Néanmoins, en admettant que l'hématite résulte d'une remobilisation sous contrainte du fer des hydroxydes plus anciens, on peut supposer que la compression tectonique aurait produit une modification temporaire du régime hydrologique,

saturant le milieu poreux et induisant, là aussi, des effets de succion dans les fissures jouant en extension.

3.2. SPHALERITE ET CARBONATES SUPERGENES DU ROUQUIS (S.53)

Dans tous les exemples décrits au chapitre 2, la paragenèse à sphalérite néoformée était exempte de minéraux d'oxydation. Cependant, dans le sondage S.53 qui a recoupé une caisse filonienne à sidérite stérile à environ 500 mètres sous la mine du Rouquis (entré dans la caisse immédiatement sous la cote altimétrique 0), et où la sidérite présente systématiquement une limonitisation plus ou moins avancée, la sphalérite néoformée a été observée dans une paragenèse typiquement supergène. Nous la décrivons d'après un ancien échantillon de Geldron A. (1981), prélevé à proximité du toit de la structure filonienne^(*).

Dans cet échantillon, la sidérite hydrothermale, en cristaux géodiques, est entièrement pseudomorphosée en *goethite* à texture réticulée, et recouverte d'un dépôt de deux générations successives de *calcite*, entre lesquelles s'intercale une génération de *sidérite néoformée* (photos 48, 49). La sidérite néoformée ne présente aucune trace d'altération, même aux endroits où le recouvrement par la calcite terminale fait défaut, et où ce carbonate de fer affleure dans les géodes (photo 48). Cette sidérite est donc *postérieure* à un épisode d'oxydation temporaire, au cours duquel a dû être altérée la sidérite hydrothermale.

La première génération de calcite est enrichie en Mn, Mg et Zn (photo 50) et, dans une des géodes observées, à la base de cette calcite apparaissent quelques cristallites de carbonate de Mn (rhodochrosite; photo 51, cf. flèches à gauche). Par ailleurs, dans la même géode mais, cette fois à la surface de la calcite précoce, se forment de fréquentes micro-concrétions de *sphalérite néoformée*, incolore, moulée par la sidérite néoformée ou par la calcite terminale (photos 51 à 53). Aux endroits où la calcite précoce est absente, les concrétions de sphalérite néoformée s'implantent directement sur la goethite des pseudomorphoses de la sidérite hydrothermale (photo 54).

Cependant, dans une géode voisine, et dans une position texturale pratiquement identique à celle de la sphalérite néoformée (c'est à dire surmontant la calcite précoce), précipite de la *limonite*, formant des "globules" colloïdaux sur un substrat à peine plurimicronique de sidérite (photos 55, 56). Les globules limonitiques, blindés et légèrement corrodés par la sidérite, ont conservé leur état colloïdal, et contiennent des traces de zinc (photo 57). Cette association montre qu'au début de la précipitation de la sidérite néoformée, les conditions du milieu étaient proches de l'équilibre $\text{FeOOH} - \text{FeCO}_3$.

Etant donné que la croissance des carbonates néoformés (alternance de calcite et sidérite) est de type *épitaxiale*, et qu'elle a conservé l'orientation cristalline de la sidérite hydrothermale sous-jacente (actuellement oxydée), on pourrait supposer qu'au moins la première calcite serait antérieure à l'oxydation de la sidérite. Cependant, la présence de rhodochrosite saine sur la surface de la sidérite oxydée, de même que celle d'efflorescences de goethite moulées par la

^(*) Le métrage donné pour cet échantillon dans le rapport de A. Geldron est de 355,5 m, ce qui correspondrait à des schistes non minéralisés. De l'avis de J.C. Chabod, géologue de la mine, il s'agit d'une erreur de transcription du premier chiffre (3 au lieu de 5), ce qui situe le prélèvement à l'entrée dans la caisse filonienne. C'est la valeur ainsi rectifiée du métrage qui est citée dans la légende de la figure 8B et dans celles des photos 48 à 58.]

calcite précoce (cf. photos 51, 53), contredit une telle hypothèse. En effet, ces efflorescences prennent localement un aspect *globulaire* (photo 58), qui permet de les interpréter comme d'*anciens dépôts limonitiques colloïdaux*, qui auraient recouvert la sidérite hydrothermale antérieurement à son encroûtement par la calcite. Nous sommes donc conduits à attribuer la totalité de l'encroûtement carbonaté à une précipitation supergène, laissant ainsi ouvert le problème textural de croissance épitaxiale évoquée plus haut.

La paragenèse supergène décrite témoigne donc d'un *épisode d'oxydation temporaire*, suivi de précipitation en milieu redevenu réducteur, avec reprécipitations de sulfure de zinc et de sidérite supergènes qui, depuis, n'ont plus été affectés par l'oxydation. Cette évolution est schématisée sur le diagramme paragénetique de la figure 8B.

Le rapprochement de cette paragenèse avec celle, décrite au chapitre 2, consiste non seulement en une précipitation de sphalérite concrétionnée, mais aussi en son association avec de la sidérite et une calcite terminale. De plus, l'existence d'une calcite précoce enrichie en manganèse, rappelle aussi l'enrichissement en Mn, observé dans les sidérites de renourrissage dans les fissures précoces de la caisse sidéritique. Il semble donc justifié de rattacher l'association décrite à la même paragenèse tardive, dont elle constituerait seulement une variante.

3.3. SPHALERITE SUPERGENE DANS LE PROFIL D'ALTERATION

Dans le travail de Fogliérini F. *et al.* (1980, p. 24), la présence de sphalérite supergène est mentionnée dans la partie basale du profil supergène de la mine principale, mais son contexte est présenté de manière explicite. Nous citons tout le passage correspondant :

"La minéralisation sulfurée est surmontée par une zone oxydée qui fut reconnue en 1967 par une galerie de 400 m et dont la limite en dents de scie se situe, après lissage, à une cote moyenne de 150 m sous la surface topographique".

"On constate que l'oxydation suit préférentiellement l'épente du toit et les réseaux de fractures N-S et N 110".

"Dans ces zones oxydées le zinc a été lessivé et il ne reste qu'une vaste éponge d'oxyde de fer enrichie en plomb (pyromorphite, wulfénite, cérusite, anglésite) avec cristallisation de quartz et de calcite".

"La zone de contact entre zone sulfurée et zone oxydée est nettement enrichie en plomb (teneur maximum : 2 %) : on observe des néogenèses de blende et de galène".

D'après Béziat P. (comm. orale), la zone basale du profil contenait aussi des *sulfures de cuivre* supergènes, et représenterait une *zone de cimentation*.

Dans un tel contexte, il conviendrait de supposer que la sphalérite néoformée se produirait par resulfuration du zinc, apporté *per descensum*, à partir de la zone oxydée susjacente.

Cependant, une telle hypothèse pose un problème, sur lequel nous reviendrons dans la discussion générale : celui des relations génétiques entre la sphalérite «de cémentation» et celle, décrite plus haut dans les réseaux fissuraux du protore^(*).

4. DISCUSSION

- 4.1. L'association occasionnelle de la sphalérite néoformée avec des concrétions de *pyrite fromboldale* (2.5.) ou avec des carbonates *supergènes* (3.2.) ne laisse aucun doute sur sa précipitation en *milieu de sub-surface*. La sphalérite néoformée décrite se serait donc formée dans des conditions de milieu comparables à celles de la sphalérite supergène, signalée dans la littérature à la base du profil d'oxydation (3.3.).

Ces données permettent d'attribuer les solutions zincifères tardives non pas à quelque "venue" nouvelle de minéralisation, mais à des *remobilisations* à partir du stock initial de sphalérite hydrothermale. Une telle origine de la sphalérite néoformée rend bien compte du caractère paradoxal de sa distribution, qui consiste en ce qu'elle est reconnue sur une extension pluri-kilométrique, mais sans former de concentrations locales tant soit peu notables.

- 4.2. L'organisation texturale de la sphalérite néoformée (2.2) révèle, par endroits, une évolution du milieu (précipités colloïdaux, puis cristallisations automorphes et dissolution de la phase colloïdale), qui traduit une *baisse rapide de la sursaturation*, pouvant atteindre une *inversion du déséquilibre ZnS/solution*. Le remplissage des cavités de dissolution de sphalérite par la pyrite et la calcite (cf. photos 18 à 21) montre que cette évolution est contemporaine de la mise en place du remplissage fissural. Une évolution aussi rapide du système suggère des *événements pulsatoires*, donc de caractère discontinu et, vraisemblablement, répétitif.
- 4.3. Le sédiment micro-clastique associé à la sphalérite néoformée dans l'Extension ouest représente des particules empruntées aux *roches encaissantes* et qui ont dû subir un certain classement granulométrique préalable, au cours d'un *transport*. Il semble exclu qu'un tel transport puisse être lié à des percollations descendantes, puisqu'il se déroule dans la *zone saturée* du profil de sub-surface. On peut donc supposer que les circulations résulteraient d'une *aspiration* de solutions interstitielles de l'encaissant, induites par l'ouverture des réseaux fissuraux. Cette hypothèse est conforme au fait que la sédimentation intervient dès le début du remplissage des fissures tardives. Cela revient à associer le dépôt de sédiments micro-clastiques à un *événement tectonique*, ce qui s'accorde avec une persistance de

(*) Dans le cadre de cette problématique, rappelons que l'échantillon communiqué par Barbanson L. (cf. 2.1.) et qui présente un encroûtement de sphalérite concrétionnée sur de la sidérite hydrothermale, provient précisément des zones supérieures du protore de la mine principale, c'est à dire proches de la base du profil oxydé. Or, cette sphalérite est caractérisée par un diagramme des poudres spécifique (présence d'une raie de wurtzite).

micro-fissurations locales au cours de la précipitation de la sphalérite néoformée (cf. photos 10, 14).

- 4.4. Le transport des particules clastiques par "aspiration", de même que leur sédimentation dans les réseaux fissuraux, représentent nécessairement des processus relativement rapides et non continus. Cette conclusion est donc similaire à celle, relative à la précipitation de la sphalérite (cf. 4.2). Or, certains échantillons révèlent une *simultanéité de précipitation de sphalérite néoformée et de la sédimentation des particules*, en particulier lorsque la sphalérite s'intercale entre un dépôt basal quartzeux et celui de phyllites "détritiques" sus-jacentes (photos 42, 43).

Si l'on admet que le zinc reprécipité est emprunté à la paragenèse hydrothermale, la paragenèse néoformée peut être considérée comme résultant d'un *mélange de solutions interstitielles de la caisse filonienne avec celles, apportées de l'encaissant voisin*, ces dernières pouvant être enrichies en soufre emprunté aux sulfures de fer qui imprègnent la série schisteuse.

- 4.5. La paragenèse fissurale tardive du chapeau de fer, à hématite et barytine associées à un sédiment micro-clastique à quartz et phyllites (3.1.), offre un triple critère de rapprochement génétique avec la paragenèse à sphalérite néoformée : (1)- les deux paragenèses précipitent dans des milieux de sub-surface ; (2)- la barytine témoigne d'une activité *tardive* d'ions sulfate et suggère une *remobilisation de sulfures*, postérieure à la formation du chapeau de fer ; (3)- le réseau fissural où se produit le dépôt d'hématite est lié, lui aussi, à une déformation tectonique, avec un *jeu en faille inverse*. Si l'on admet que les deux paragenèses sont contemporaines, et tenant compte de ce que la déformation du chapeau de fer est attribuée à la *compression pyrénéenne* (cf. 3.1.), l'hypothèse proposée revient à *dater les remobilisations syntéctoniques du zinc entre la fin de l'Eocène et le début de l'Oligocène*.
- 4.6. La datation des remobilisations syntéctoniques du zinc ne devrait pas, *a priori*, s'appliquer aux précipités de sphalérite supergène signalés à la base du profil d'oxydation (3.3.). Cependant, il est permis de supposer que, pendant la phase de compression pyrénéenne, le zinc pouvait parvenir dans la zone de cémentation non seulement *per descensum*, mais aussi *per ascensum* (un tel fait serait en accord avec l'attribution hypothétique de la barytine du chapeau de fer à une remobilisation syntéctonique de sulfures). Une précipitation préférentielle de la sphalérite néoformée *au sommet* du protore pourrait, dans ce cas, être attribuée à un développement accru de *l'activité bactérienne*. Cette dernière hypothèse trouve, d'ailleurs, une confirmation dans le développement de pyrite fromboïdale, contemporaine de la sphalérite néoformée (cf. photo 36).
- 4.7. Dans le sondage profond du Rouquis, la paragenèse à sphalérite néoformée succède à un *épisode momentané* d'oxydation de la sidérite hydrothermale (cf. 3.2.). Cet épisode d'oxydation particulièrement profonde doit être attribué à des venues oxydantes lors d'un *événement de durée relativement courte et non répétitif*. La caisse filonienne étant, dans cette zone, considérée comme stérile, l'origine du zinc remobilisé peut être recherchée dans le corps minéralisé sus-jacent du Rouquis, ou dans celui de la mine principale. Un tel épisode d'oxydation profonde (en dessous du niveau actuel de la mer), et des migrations de fluides zincifères sur des distances pluri-hectométriques, pourraient traduire un *effet hydrologique de la compression pyrénéenne*.

Si l'on applique cette hypothèse à l'échelle de la structure filonienne régionale, les précipitations de sphalérite néoformée dans les zones stériles de remplissages filoniens constitueraient de larges *auréoles de remobilisation*, et joueraient un rôle de *traceurs de minéralisations hydrothermales*.

CONCLUSIONS

La paragenèse à sphalérite néoformée, précipitée en milieu de *sub-surface*, est attribuée à des *remobilisations*, produites au cours de déformations tardives de la structure filonienne de Saint-Salvy. Ces contraintes sont vraisemblablement contemporaines des déformations et des remobilisations observées dans le chapeau de fer antérieur à la couverture sédimentaire éocène, et qui sont attribuées à la *tectonique pyrénéenne*. Les transferts de fluides sous l'effet des contraintes produisent des *mélanges de fluides interstitiels* de milieux différents, tels que la caisse minéralisée et son encaissant, ou les zones du protore et du profil d'oxydation, dont les signatures paragenétiques ont pu être notées occasionnellement. Ainsi, la précipitation de la sphalérite, dont l'abondance relative semble se corrélérer avec celle de sulfures de fer, serait contrôlée à la fois par l'activité de Zn et celle de S²⁻, le soufre pouvant être apporté de l'encaissant pyriteux, par les solutions transportant du matériel microclastique, ou bien, être produit à partir de sulfate par réduction bactérienne.

La grande variété de milieux de précipitation devrait, semble-t-il, induire des précipités de compositions minéralogiques spécifiques et variées, dont l'étude n'a permis de définir jusqu'à présent que quelques variantes à sphalérite et une à hématite syn-tectonique. Cependant, quelques indices d'un milieu supergène dans lequel devaient précipiter certains remplissages de calcite, stérile ou accompagnée de pyrite, et ultérieurement maclée, permettent de penser qu'au moins une importante partie des précipitations de calcite et sulfures de fer tardifs, disséminés dans la caisse filonienne, devrait appartenir aussi à la paragenèse de remobilisation syn-pyrénéenne.

Cette étude, à l'origine marginale dans le programme de recherche concerné, mériterait d'être étendue aux différentes variantes de brèches d'attrition syn-pyrénéennes, afin de dresser une image plus complète des remobilisations syn-tectoniques.

Néanmoins, déjà dans son état actuel, *elle présente un intérêt pratique potentiel. En effet, les reprécipitations de zinc, consécutives aux transferts de fluides, sont de nature à produire des auréoles secondaires dans les zones stériles, et signent ainsi une présence de minéralisation hydrothermale plus ou moins proche* (la limite maximale du degré de proximité, encore difficile à apprécier, semble pouvoir atteindre des distances pluri-hectométriques). Tel est, notamment, le cas du sondage S.62 dans l'Extension ouest, et du sondage profond sous Rouquis (S.53). Toutefois, la proportion négligeable de sphalérite néoformée, pouvant être voilée par des traces de sphalérite hydrothermale, n'est guère identifiable par une approche analytique, et implique des examens minéralogiques systématiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BLES J.L., BONIJOLY D., CASTAING C., GROS Y. (1989) - Successive post-Variscan stress fields in the French Massif Central and its border (Western European Plate): comparison with geodynamic data. *Tectonophysics*, 169, pp. 79-111.

CASSARD D., CHABOD J.C., MARCOUX E., BOURGINE B., CASTAING C., GROS Y., KOSAKEVITCH A., MOISY M., VIALLEFOND L. (1993) - Mise en place et origine des minéralisations du gisement filonien de Noailhac - Saint-Salvy, Zn, Ge, Ag (Pb, Cd), Tarn. (à paraître dans la *Chronique de la Recherche Minière*, et sous forme de *Rapport de synthèse de fin d'étude de la RPI 1*).

CASSARD D., GROS Y. (1989) - Etude structurale du gisement filonien de Nailhac-Saint-Salvy (Tarn): Zn (Ag, Ge, Pb, Cd). Rôle des déformations dans la géométrie et la répartition des minéralisations. *Rapport BRGM n° 89 SGN 034 GEO*, 58 p.

FOGLIERINI F., BEZIAT P., TOLLON F. et CHABOD J.C. (1980) - Le gisement filonien de Noailhac-Saint-Salvy (Tarn). 26^e Congrès Géol. Internat., fasc. E 6 (Gisements Français), p. 1-43.

GELDRON. A. (1981) - Synthèse des données acquises sur la région de Saint-Salvy et la caractérisation de ses structures filoniennes. *Rapport de fin de stage de D.E.A., Univ. d'Orléans (Archives de la mine de Saint-Salvy)*.

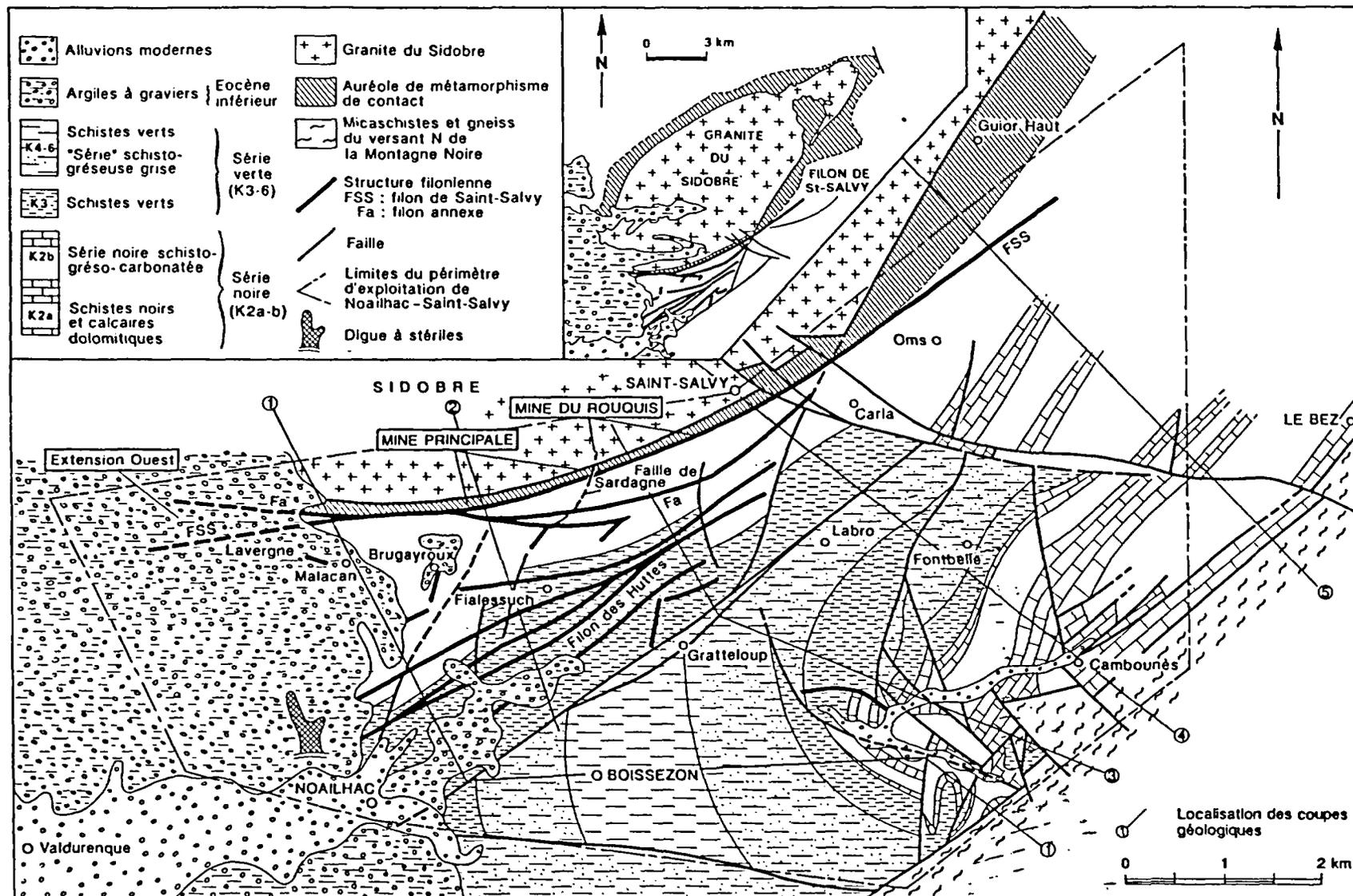
KOSAKEVITCH A. (1992a) - Etude texturale des chapeaux de fer de Saint-Salvy. BRGM, *Note Technique 92/SGN/GEO/GS.MA/032 (15 p.)*.

KOSAKEVITCH A. (1992b) - Complément à l'étude texturale des chapeaux de fer de Saint-Salvy (Tarn): commentaire des analyses chimiques des échantillons. BRGM, *Note Technique 92/SGN/GEO/GS.MA/032 bis (5 p., 2 tabl., 1 fig.)*.

KOSAKEVITCH A. (1992c) - Etude chimique du sondage S.62, Extension ouest de Saint-Salvy. BRGM, *Note Technique SGN/GEO/SMA/NT/92/052 (12 p., 1 fig., 1 annexe)*.

KOSAKEVITCH A., CASSARD D., CASTAING, CHABOD J.C., LAFORET C., PILLARD F. (en cours): Signatures paléoclimatiques et déformation pyrénéenne des chapeaux de fer de Saint-Salvy, Tarn.

MARCOUX E. (1989) - Minéralogie des remplissages du gisement filonien de Noailhac-Saint-Salvy (Tarn) et des structures proches. BRGM, *Rapport 89 SGN 687 GEO (35 p., 9 fig., 4 pl. phot.)*.



D'après Cassard *et al.*, 1993

Fig. 1 - Carte géologique générale du secteur étudié et localisation du champ filonien de Saint-Salvy. En encart, le granite du Sidobre et son auréole de métamorphisme de contact.

Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)

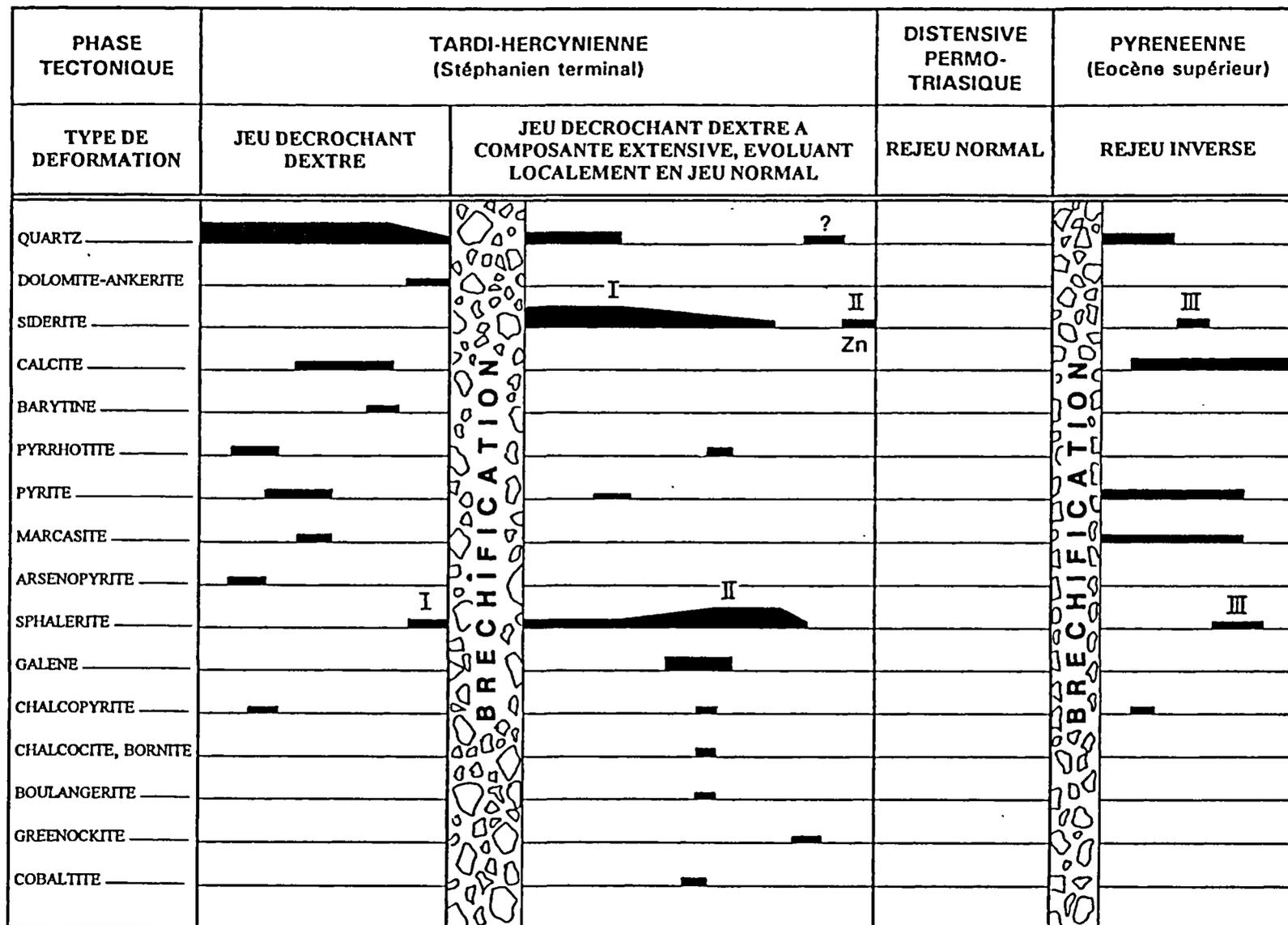
D'après Cassard *et al.*, 1993

Fig. 2 - Diagramme paragenétique du filon de Saint-Salvy. Dans l'épisode zincifère, les réouvertures et les remplissages successifs ont été comprimés en un seul événement. Les paragenèses supergènes ne sont pas incluses.

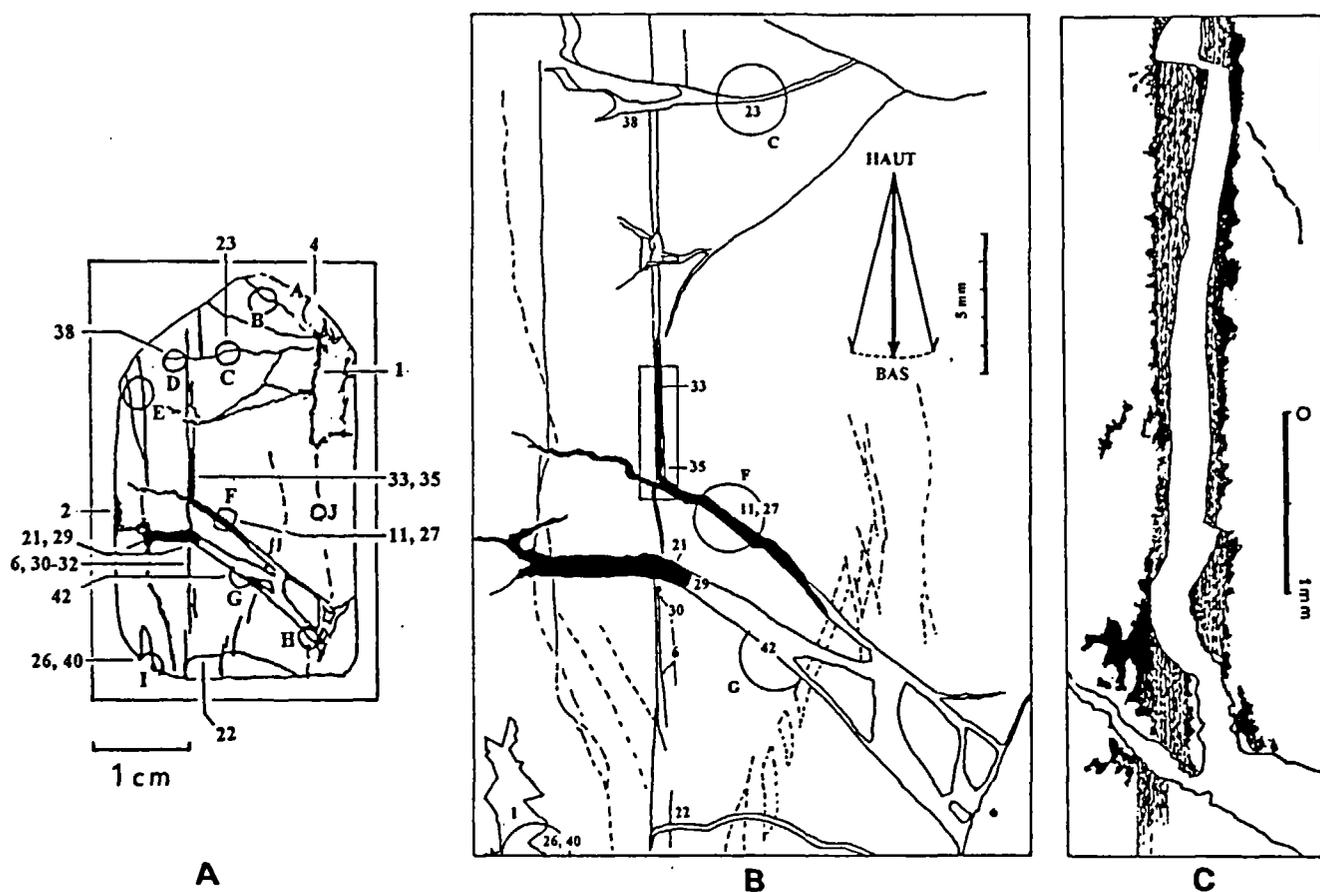


Fig. 3 - Croquis de la lame mince C5727, sondage S.62 ; 218 m.

A - Croquis général, repérant les cercles (lettres) et les photographies présentées.

B - Détail de la partie centrale de la lame :

- * flèche triple : sens de la gravité, avec l'approximation de la verticale
- * en noir : pyrite et marcasite dans les fissures ouvertes.
- * en pointillés : traces de déformations anciennes de la sidérite filonienne.
- * en bas, à gauche : sidérite néoformée géodique, faciès de renourrissage.

C - Détail de la zone encadrée sur la figure B :

- * bandes verticales grises : plans de cisaillement, minéralisés en pyrite, quartz, sphalérite en traces.
- * franges noires : pyrite épigénisant les épontes sidéritiques.
- * remplissage de la réouverture (blanc) : marcasite, pyrite, traces de sphalérite.

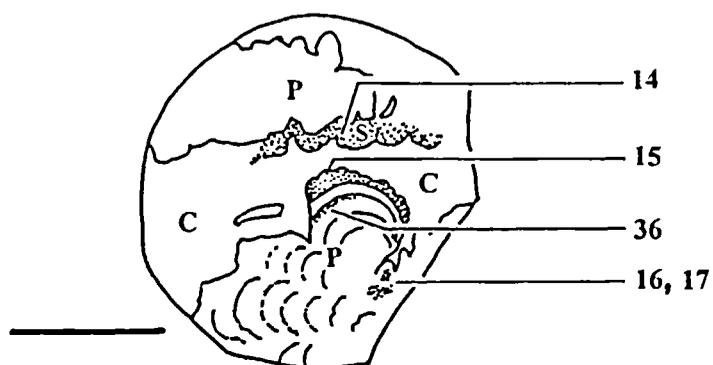


Fig. 4 - Croquis de la section polies 50194, Sondage S.56.
Echelle : 1 cm.

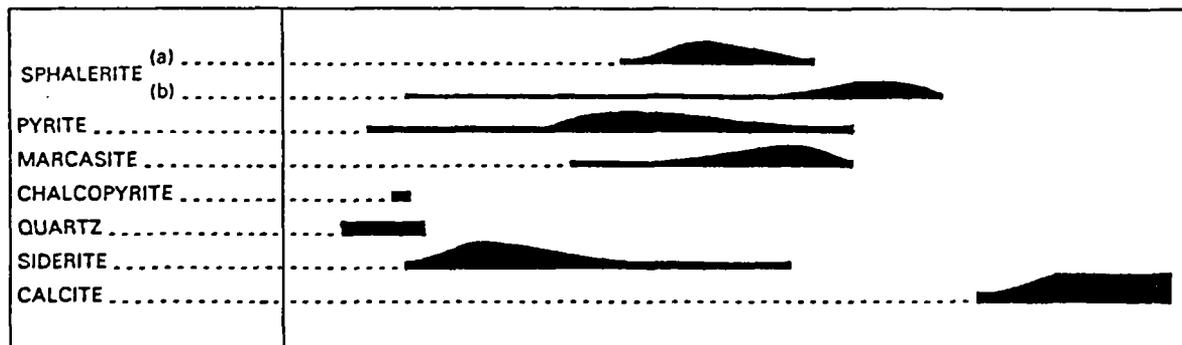
P : pyrite ; la plage zonée représente une concrétion constituée de fromboïdes.

S (pointillé) : sphalérite néoformée.

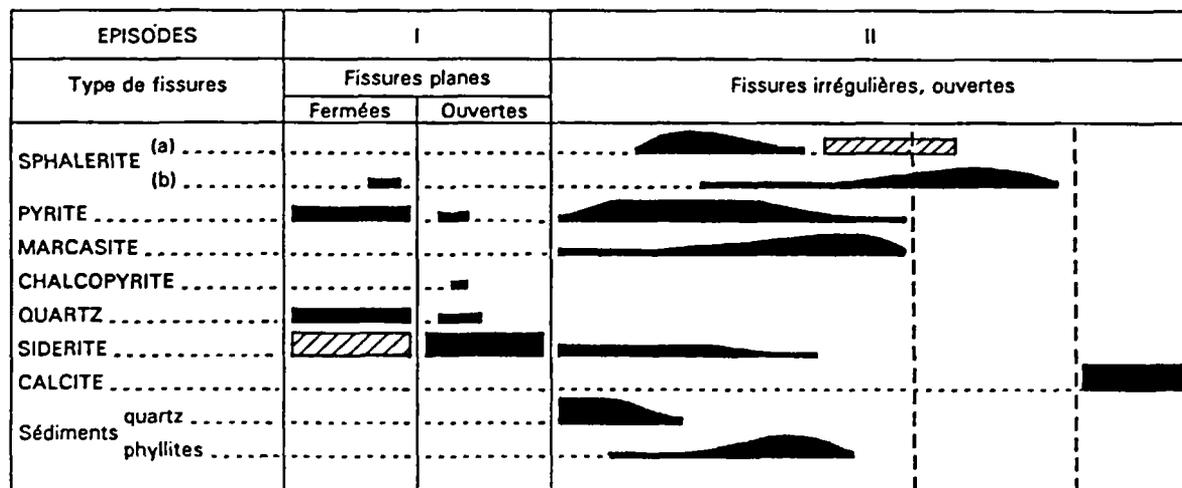
C : remplissage calcitique terminal.

Les numéros renvoient aux photographies présentées.

Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



A



B

TEMPS DE PRECIPITATION
 REMPLACEMENT, LESSIVAGE

Fig. 5 - Séquence paragenétique à sphalérite néoformée dans la partie non oxydée de la caisse filonienne.

Sphalérite a : faciès concrétionnaire, supposé colloïdal à l'origine.
 Sphalérite b : précipités microcristallins.

- A - Ordre général de précipitation des phases minérales.
- B - Diagramme intégrant les stades de fissuration (I, II), les types de fissures, les apports clastiques (sédiments) et les remobilisations (en hachuré).

N.B. La remobilisation de la sidérite affecte la sidérite hydrothermale ancienne du remplissage filonien.

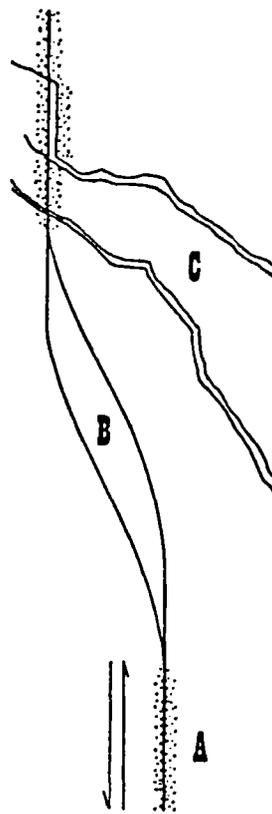


Fig. 6 - Représentation synthétique interprétative des réseaux fissuraux minéralisés en sphalérite néoformée.

- A -** Plans de cisaillement, le long desquels se produit une métasomatose de la sidérite hydrothermale, avec précipitation de pyrite, quartz et sphalérite néoformée.
- B -** Zones de transtension, à remplissage de sidérite néoformée, de faciès de renourrissage. Le remplissage ultérieur des cavités résiduelles (sphalérite, sédiment clastique, calcite) est contemporain des fissures C/.
- C -** Fissures tardives irrégulières, à remplissage de pyrite, marcasite, sphalérite, sédiment clastique et calcite.

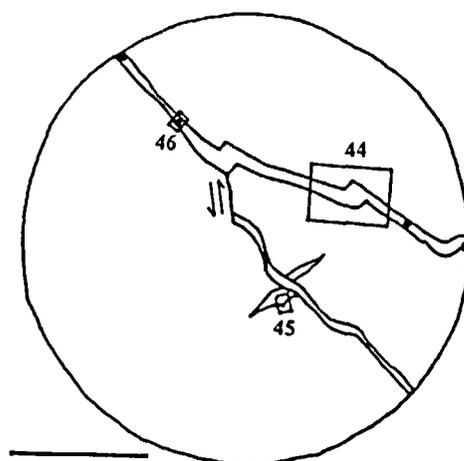


Fig. 7 - Croquis de la section polie 52088 (S.61 : 51,7 m) représentant le réseau de filonnets à hématite néoformée, recoupant un chapeau de fer antérieur.

Echelle : 1 cm.

L'échantillon est représenté en position verticale, reconstituée d'après les sédiments liés à l'hématite.

Les encadrés renvoient aux photographies ci-jointes.

Les points noirs dans le filonnet supérieur symbolisent les cristaux de barytine.

Matrice environnante : goéthite et quartz (hypogène et supergène), bréchifiés et recimentés par de la goéthite.

La photo 45 est située dans une ancienne cavité lenticulaire dans la matrice, recoupée par le filonnet hématitique et comblée elle-même d'hématite.

Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)

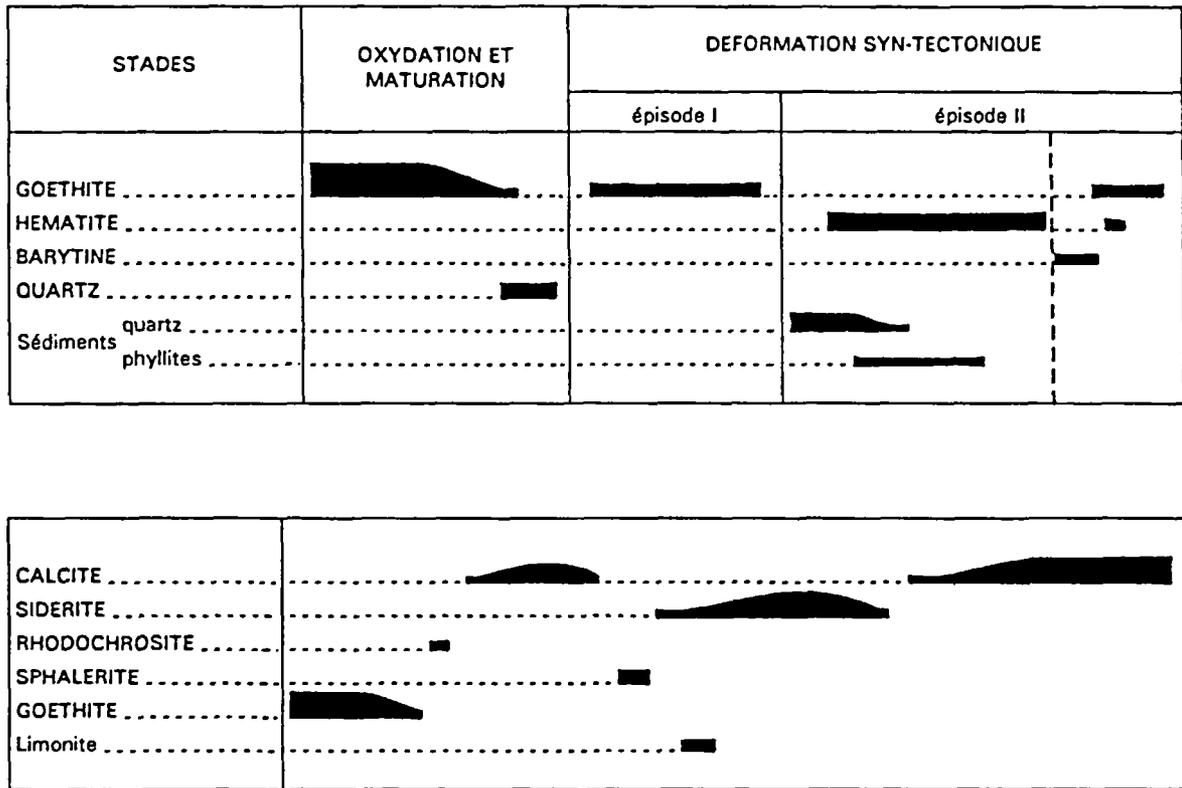


Fig. 8 - Deux séquences paragénétiques supposées être liées à la compression pyrénéenne.

- A -** Paragenèse syntectonique postérieure à l'oxydation et à la maturation du chapeau de fer. Les subdivisions de cette paragenèse coïncident avec des refissurations successives (sondage S.61, extension ouest du gisement).
- B -** Paragenèse supergène profonde (sondage S.53, sous Rouquis).

ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES

Les légendes mentionnent l'origine des échantillons (sondage et métrage) et le numéro de la lame mince (*LMP*) ou de la section polie (*SP*), qui sont donnés en italiques, entre parenthèses.

Lorsque la plage représentée est localisée sur un des croquis d'échantillons présentés dans le rapport, le *renvoi à la figure correspondante* est donné à la suite du numéro de la lame ou de la section polie.

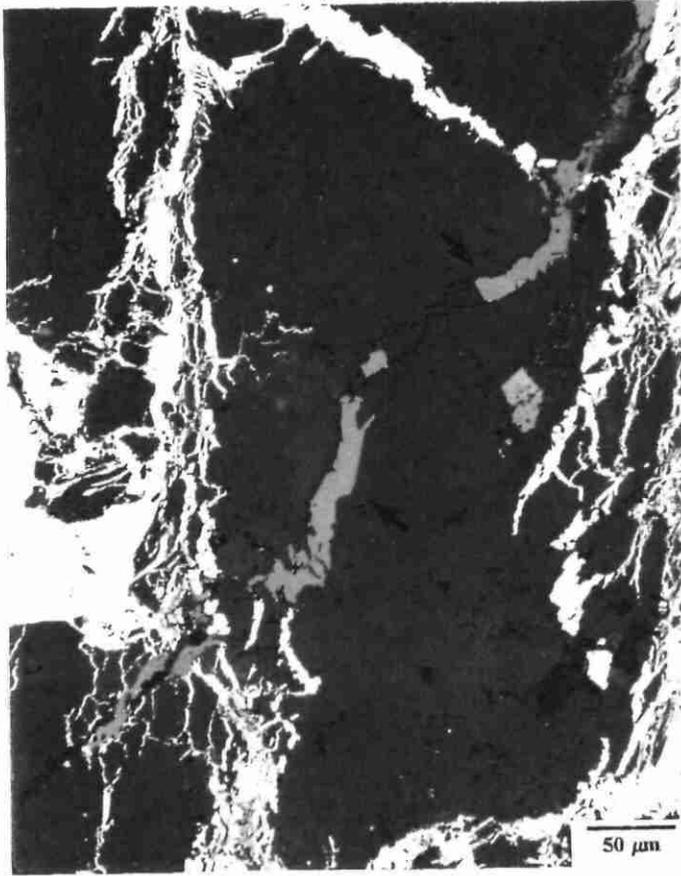
Sauf mention particulière, les photographies sont prises en *lumière réfléchie*, dite naturelle.

Chaque fois qu'il a été possible, la photographie a été orientée *approximativement suivant la verticale réelle* de l'échantillon, avec mention *V.R.* en fin de légende. Dans les cas où la position verticale de la plage représentée a pu être reconstituée mais lorsqu'elle devie sensiblement de celle de la photographie, une *flèche* indique le sens approximatif de la gravité.

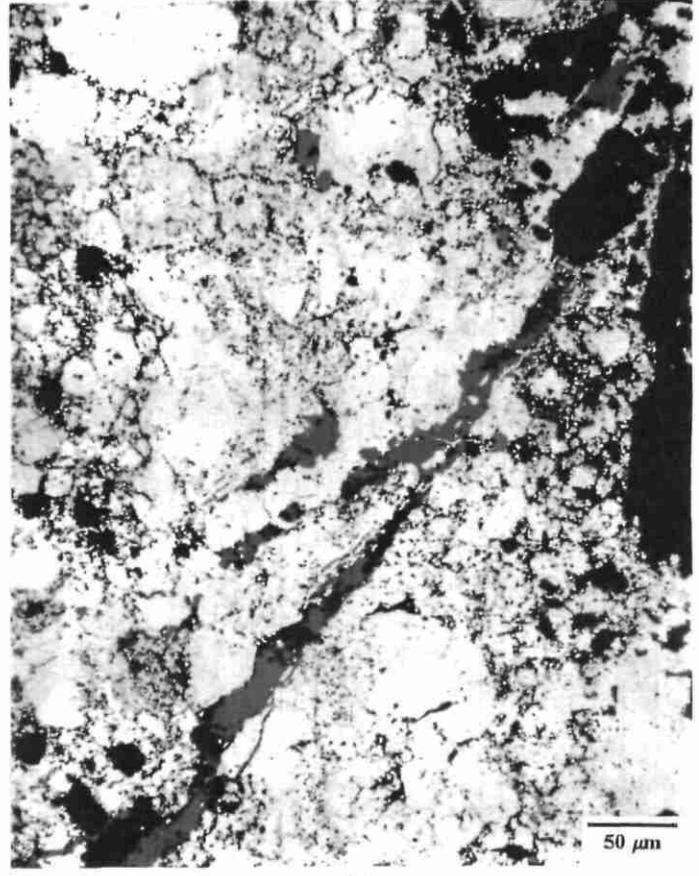
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)

- Photo 1 :** Sphalérite néoformée (au centre, fléchée) en remplissage discontinu de fissures dans un élément bréchique quartzifié. La sphalérite précipite préférentiellement à proximité de concentrations de pyrite, elle aussi tardive (remplissages fissuraux environnants). *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C5727, cf. fig. 3A). V.R.*
- Photo 2 :** Filonnets de sphalérite néoformée, dans de la pyrite tardive qui recoupe la sidérite. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C5727, cf. fig. 3A). V.R.*
- Photo 3 :** Cristaux automorphes de sphalérite néoformée (au centre), implantés sur de la sidérite géodique tardive. *Ext. ouest, S.62, 173,40 m (LMP C5721).*
- Photo 4 :** Cristal automorphe de sphalérite néoformée, sur la paroi inférieure d'une fissure ouverte dans de la sidérite massive. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C5727, cf. fig. 3A). V.R.*

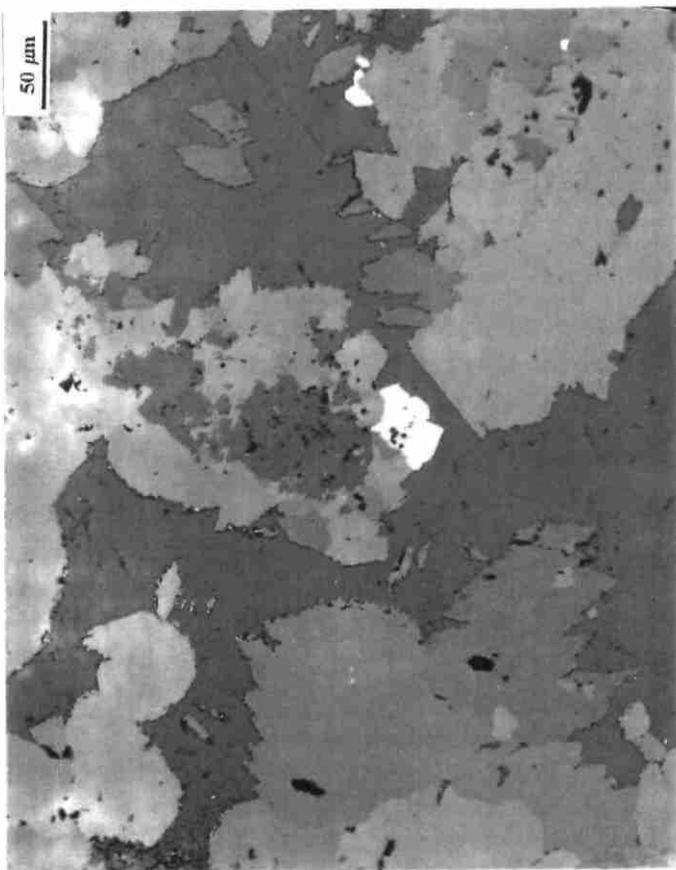
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



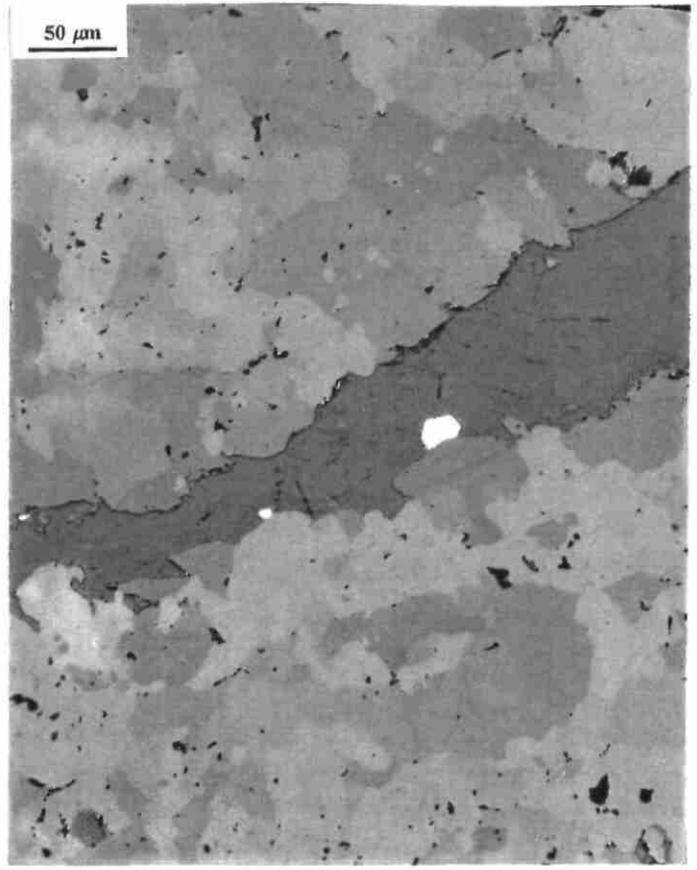
1



2



3



4

Photo 5 : Cristaux de sphalérite néoformée dans une cavité entre deux cristaux zonés de sidérite géodique. *Ext. ouest, S.62, 177,50 m (LMP C5724).*

N.B. : Noter que les cristaux de sphalérite sont légèrement incrustés dans le substrat carbonaté. Cette sidérite spathique représente un remplissage d'une fracture à ouverture centimétrique et à épontes planes (pendage redressé mais non vertical), les pores géodiques résiduels occupant le plan central du filonnet sidéritique.

Photo 6 : Sphalérite néoformée dans un pore de sidérite hydrothermale (flèche, à droite du centre), à proximité d'une zone pyritisée par remplacement de la sidérite le long d'un plan de cisaillement subvertical (à gauche; représenté aussi sur les photos 30 à 32). *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C5727, cf. fig. 3B). V.R.*

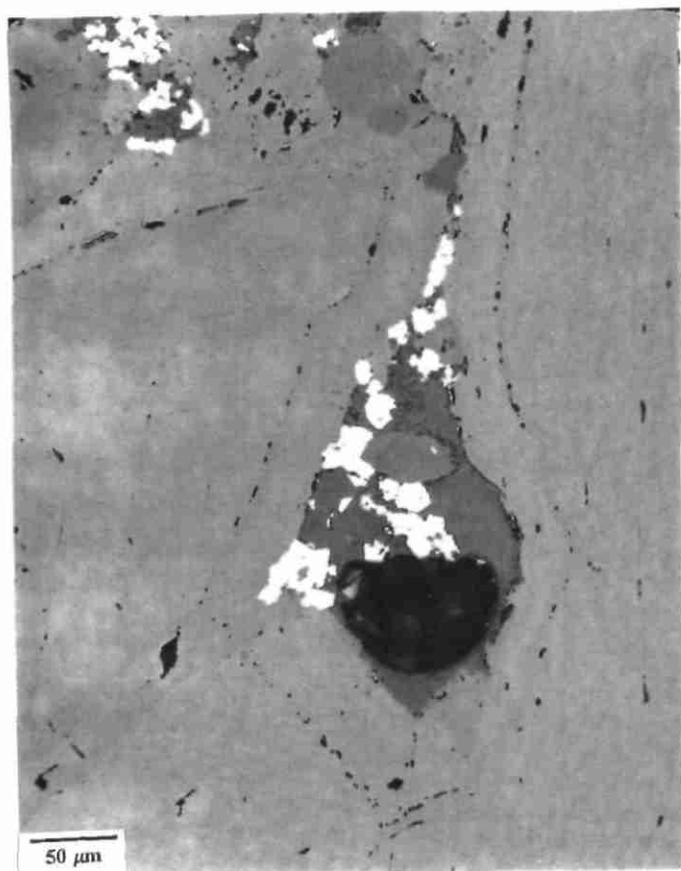
N.B. : Les pores intracrystallins dans la sidérite, comme ceux visibles sur la photo, apparaissent souvent dans la sidérite hydrothermale, semble-t-il au cours d'une phase de déformation, et traduiraient une remobilisation partielle, liée à un rééquilibrage chimique. Ils confèrent au carbonate un *aspect laiteux pâle*, imitant celui d'une "ankérite". A proximité de filonnets de calcite plus tardive, ils sont parfois comblés par celle-ci.

Photo 7 : Sphalérite et sidérite néoformées dans un filonnet à remplissage phylliteux ("sédiment micro-clastique"), recoupant un élément de roche quartzifiée. Deux cristaux de pyrite, de 8-10 microns chacun (flèche), sont associés à la sphalérite. *Ext. ouest, S.62, 202,50 m (LMP C5726).*

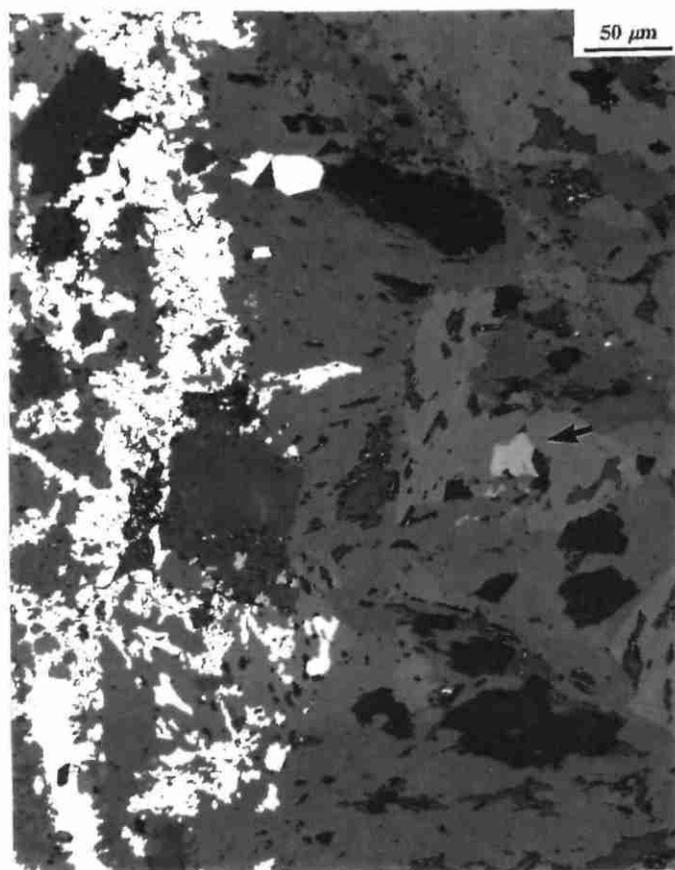
Photo 8 : Sphalérite et sidérite néoformées, formant un filonnet à épontes de quartz encroûtant des éléments de roche silicifiée. *Mine principale, sondage fond S.56, 8,63 m (LMP 9464).*

N.B. : Près du centre de la photo, une plage de sphalérite présente un *coeur circulaire gris* (zone poreuse, comblée de carbonate), qui représente un fantôme d'une forme concrétionnaire de la première génération de sphalérite néoformée.

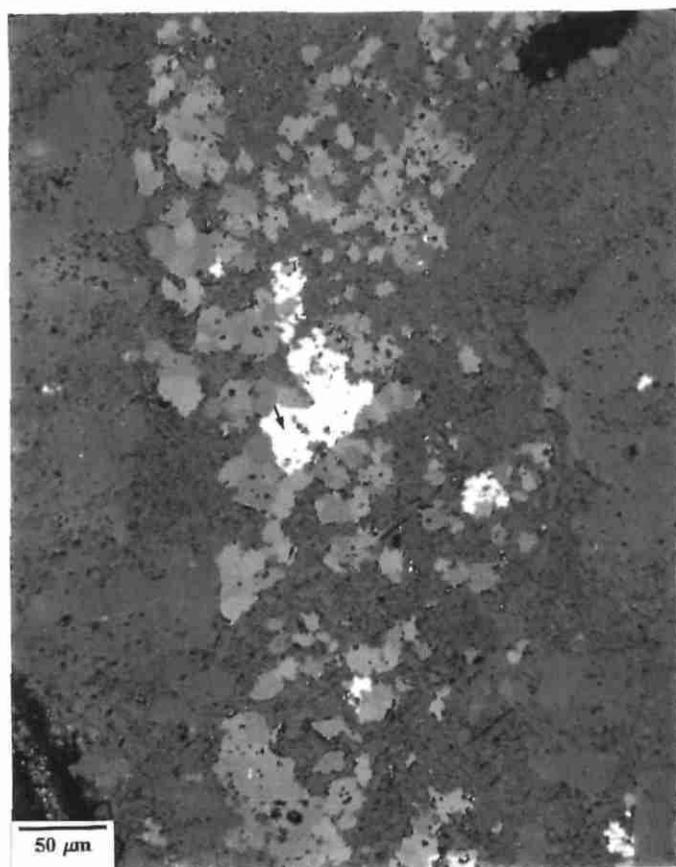
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



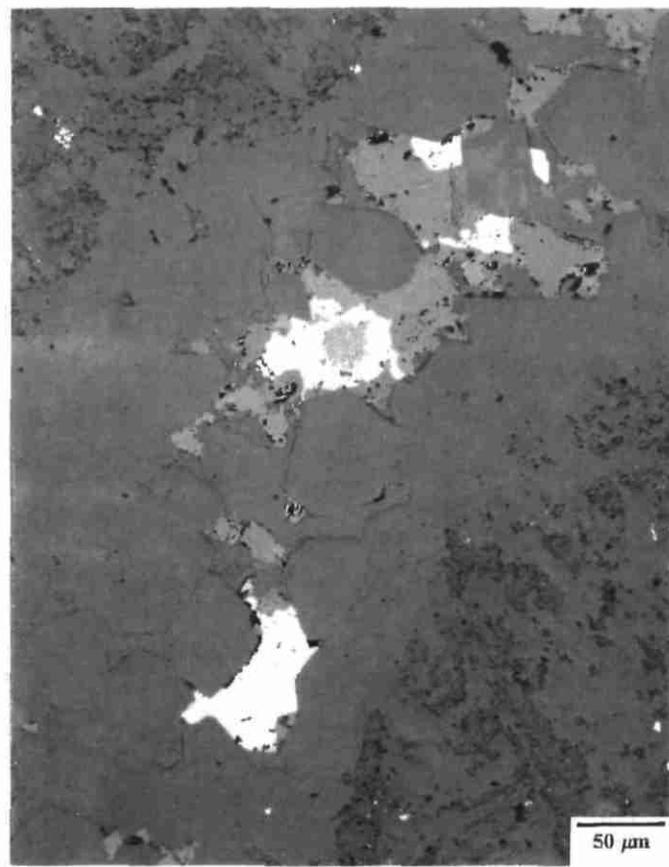
5



6



7



8

Photo 9 : Microconcrétions zonées de sphalérite néoformée, dans un interstice de quartz encroûtant. *Mine principale, sondage fond S.56, 8,63 m (LMP 9464).*

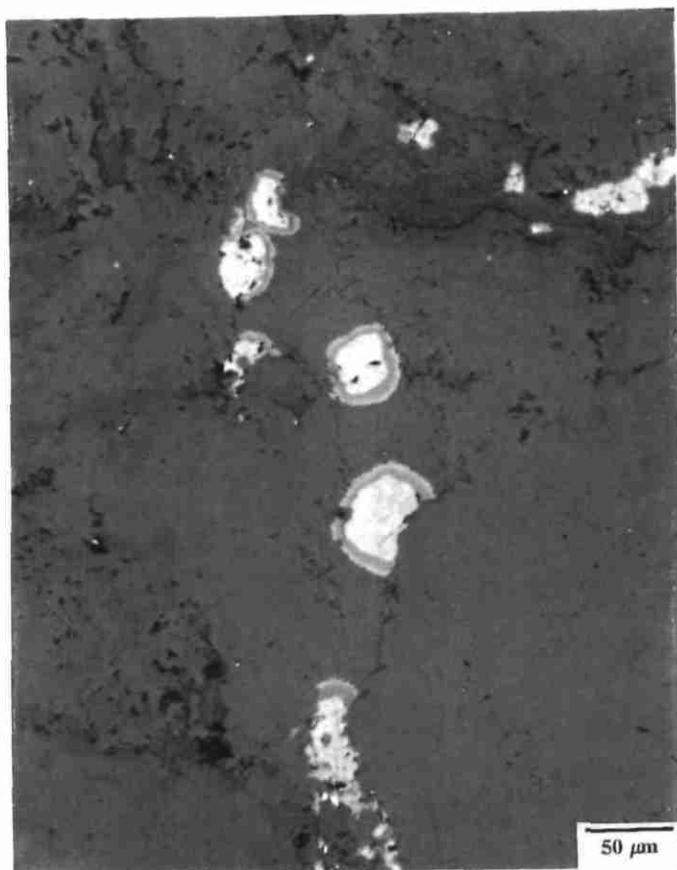
Photo 10 : Microconcrétions de sphalérite néoformée, présentant une "déchirure" (cicatrisée par de la sphalérite cristalline), due à une réouverture de la fissure qui précède la précipitation du remplissage calcitique. *Filon annexe, S.51, 361 m (LMP 9457). Flèche : sens de la gravité.*

N.B. : Le long de l'éponte gauche, la calcite renferme des traces d'un sédiment phylliteux.

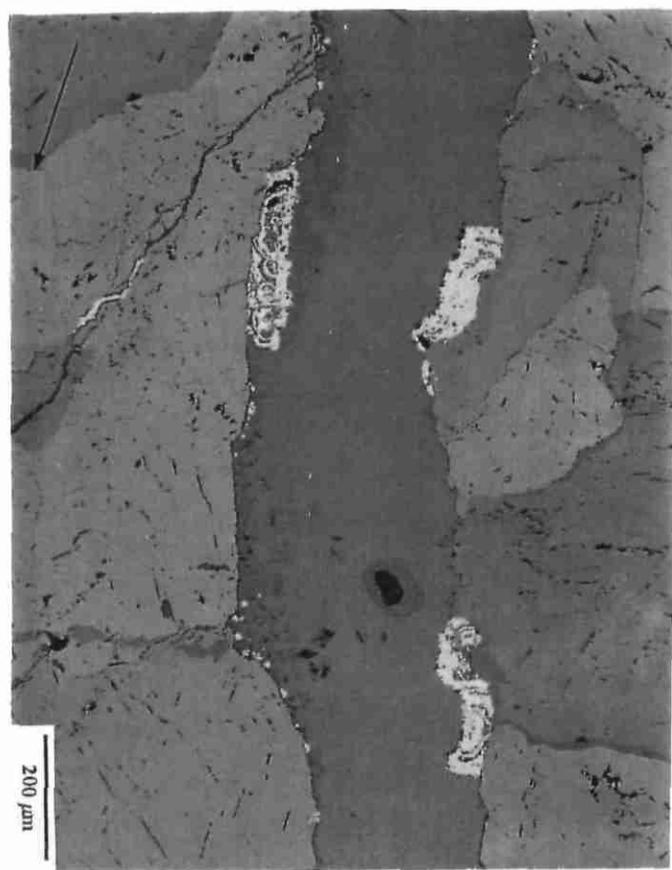
Photos 11, 12 :

Concrétions zonées de sphalérite néoformée poreuse, associées à de la pyrite (P), et cimentées par la calcite (gris foncé). Photo 12 - détail de la photo 11. Images au MEB, électrons secondaires. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C5727, cf. fig. 3B).*

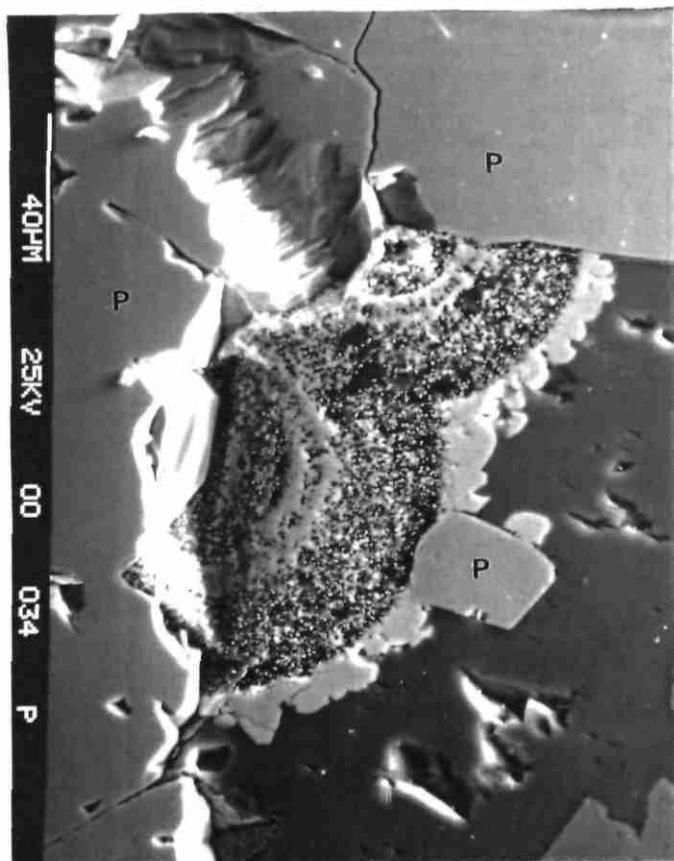
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



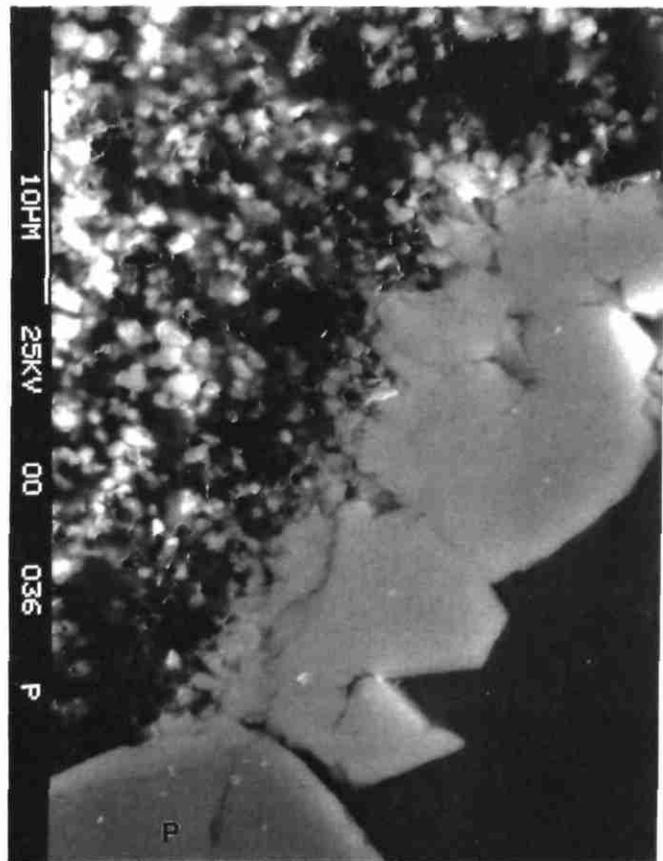
9



10



11



12

Photo 13 : Cristal de phyllite (kaolinite ?), piégé entre les deux concrétions de sphalérite de la photo 11.

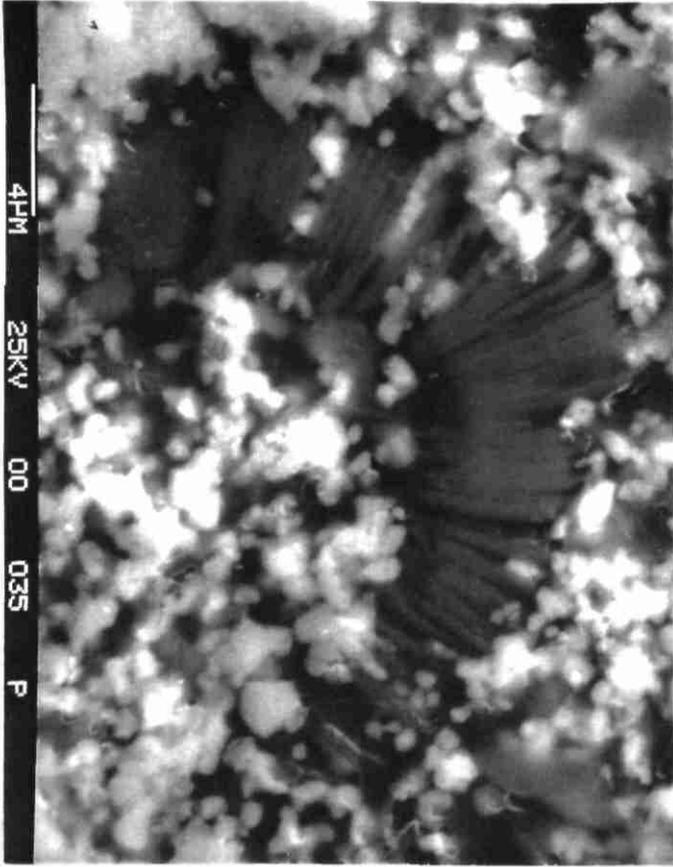
Photo 14 : Concrétion de sphalérite, microporeuse et zonée, encroûtée et recoupée par la dernière génération de sphalérite cristalline, l'ensemble étant recoupé par la calcite terminale. *Mine principale, S.56, métrage non précisé (SP 50194, cf. fig. 4).*

N.B. : Comparer avec la photo 10, présentant une refissuration comparable (vraisemblablement synchrone) de la sphalérite.

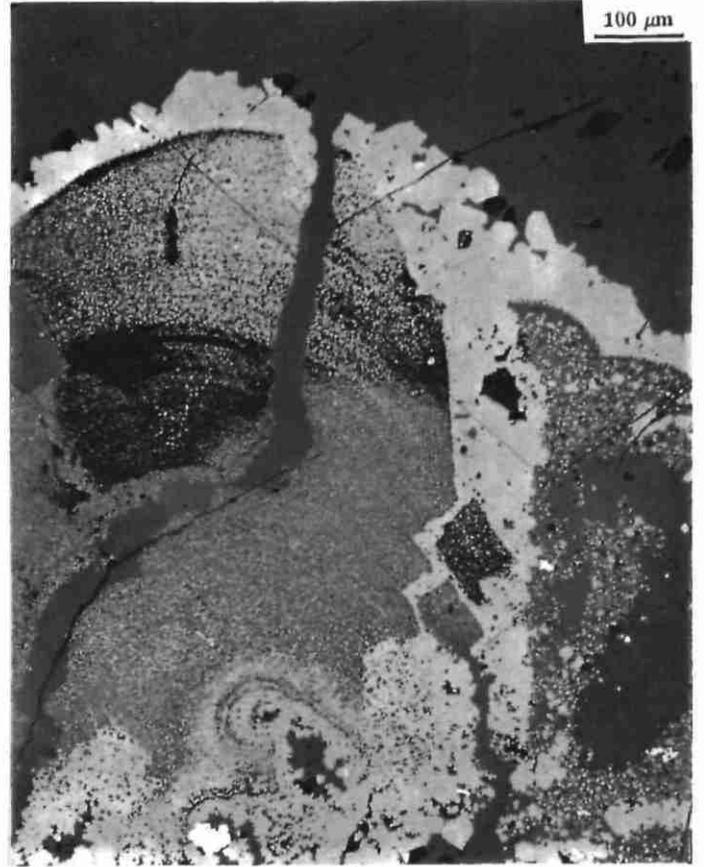
Photo 15 : Surface d'une concrétion de pyrite (constituée de fromboïdes, voir photo 36), encroûtée de sphalérite néoformée concrétionnée, se terminant par un dépôt de sphalérite cristalline. En bordure supérieure - calcite terminale. *Mine principale, S.56, métrage non précisé (SP 50194, cf. fig. 4).*

Photo 16 : Concrétionnements dendritiformes de sphalérite néoformée, au coeur d'une concrétion de pyrite. *Mine principale, S.56, métrage non précisé (SP 50194, cf. fig. 4).*

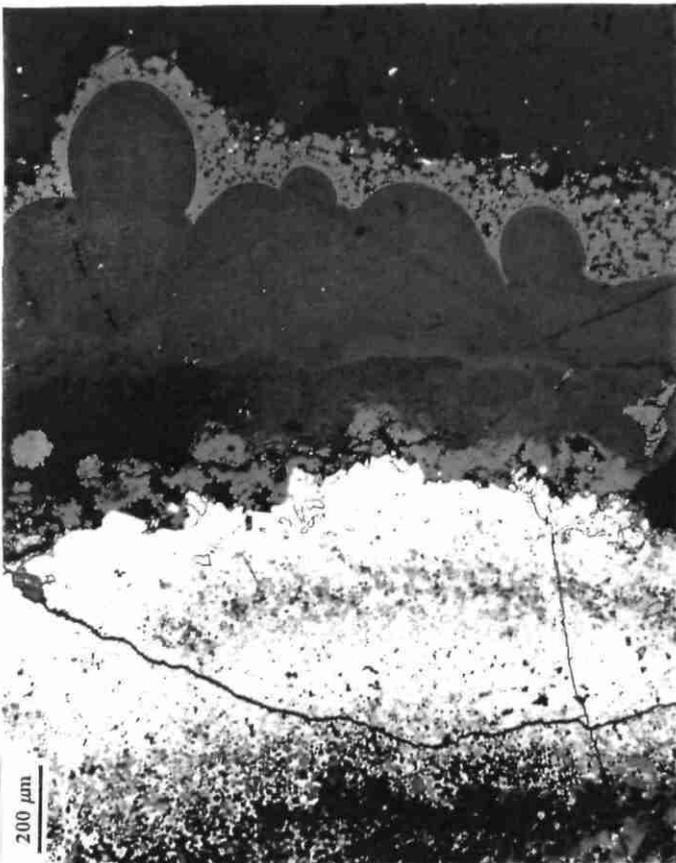
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



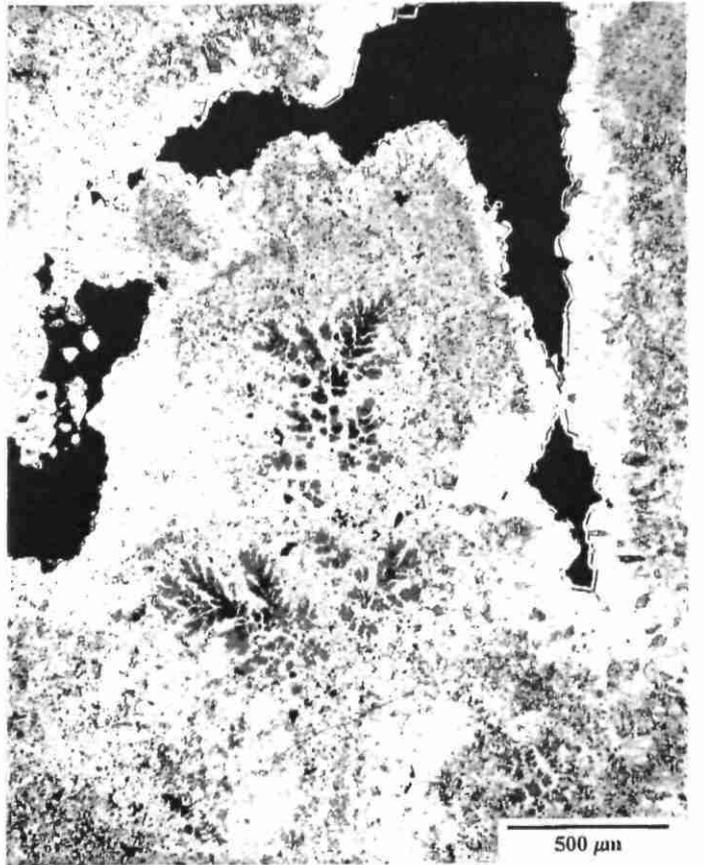
13



14



15



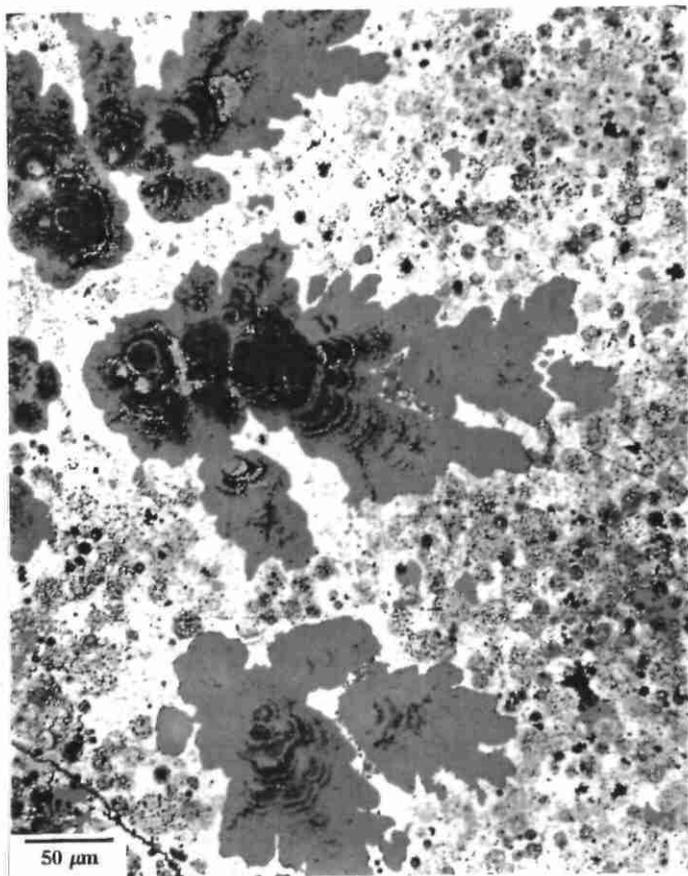
16

Photo 17 : Concrétionnement dendritiforme de sphalérite néoformée, au coeur d'une concrétion de pyrite, constituée de fromboïdes partiellement recristallisés (voir photo 36). Plage voisine de celle de la photo 16. *Mine principale, S.56, métrage non précisé (SP 50194, cf. fig. 4).*

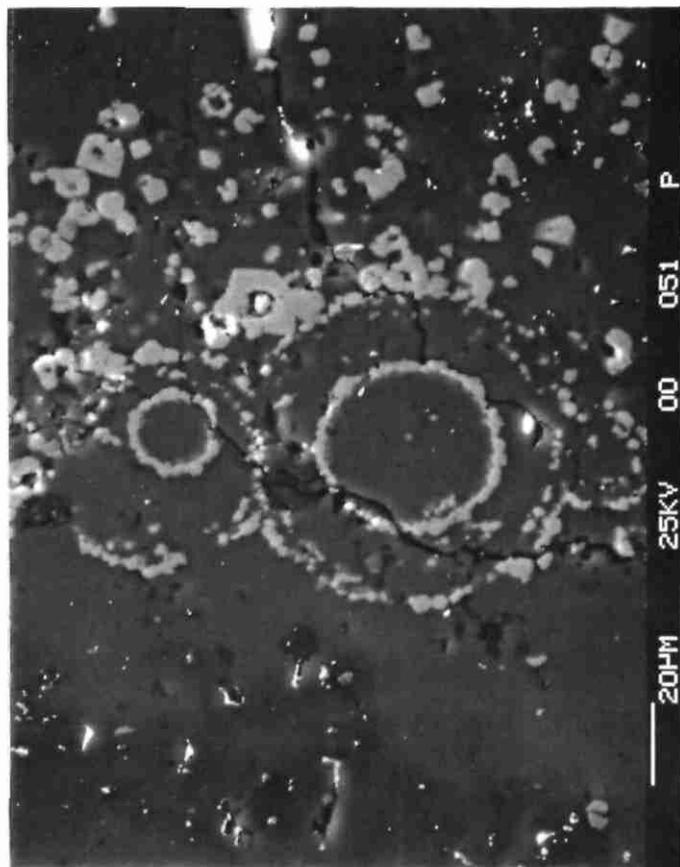
Photos 18 à 20 :

Fantômes de concrétions de sphalérite, évidés de leur contenu microporeux, pris dans un remplissage calcitique monocristallin. Détails de la photo 42. Noter, sur la photo 19, le décentrage des deux zones d'accroissement emboîtées, ce décentrage étant interprété comme résultant d'un affaissement de la zone périphérique après la dissolution de la phase interstitielle. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C5727, cf. fig. 3B, voir localisation de la photo 42). V.R.*

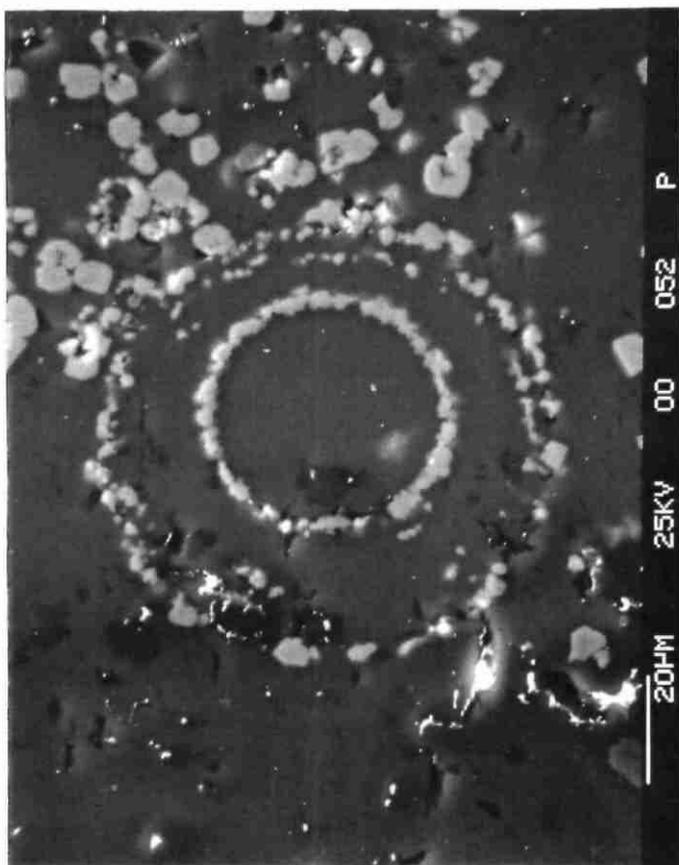
N.B. : Les centres des concrétions des photos 18 et 19 sont implantés à l'interface des sédiments microclastiques grossier et fin, la photo 20 est prise dans la masse du sédiment grossier.



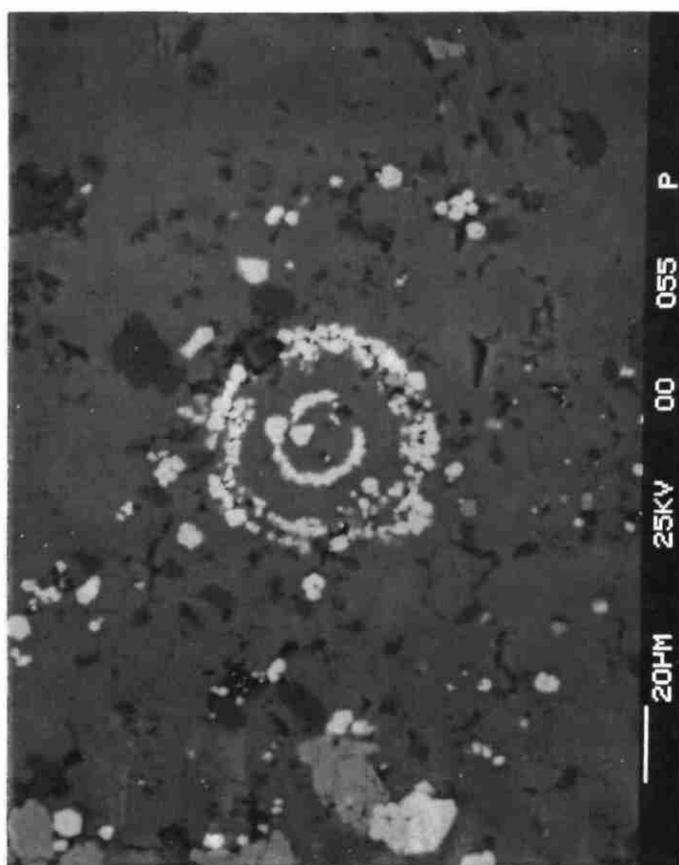
17



18



19



20

Photo 21 : Fantômes de concrétions de sphalérite, implantés sur de la pyrite plus ancienne (à gauche), et repris dans la masse de cette même pyrite au cours de sa croissance ultérieure. Noter un dépôt de cristallites de sphalérite, postérieurs à la concrétion, et formant des «ombres de sédimentation». *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C5727, cf. fig. 3B). Flèche : sens de la gravité.*

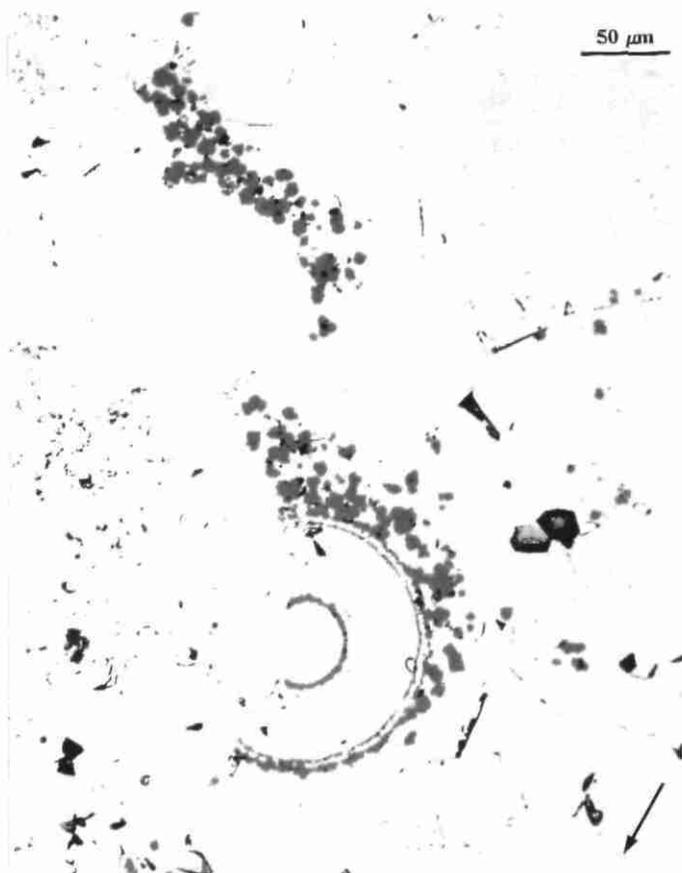
N.B. : Cette texture permet de dater la précipitation et le lessivage de la sphalérite comme contemporains de la pyrite, et témoignant d'une rapide *inversion* du déséquilibre ZnS/solution.

Photo 22 : Filonnet horizontal de calcite (recoupant la sidérite hydrothermale), contenant des cristallites de sphalérite néoformée, dispersés le long du mur dans un sédiment microphylliteux (non perceptible sur la photo). Légèrement à gauche de l'axe vertical de la photo, dans la sidérite encaissante apparaît un plan de déformation (comparer avec la photo 31), antérieur au filonnet calcitique. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B). V.R.*

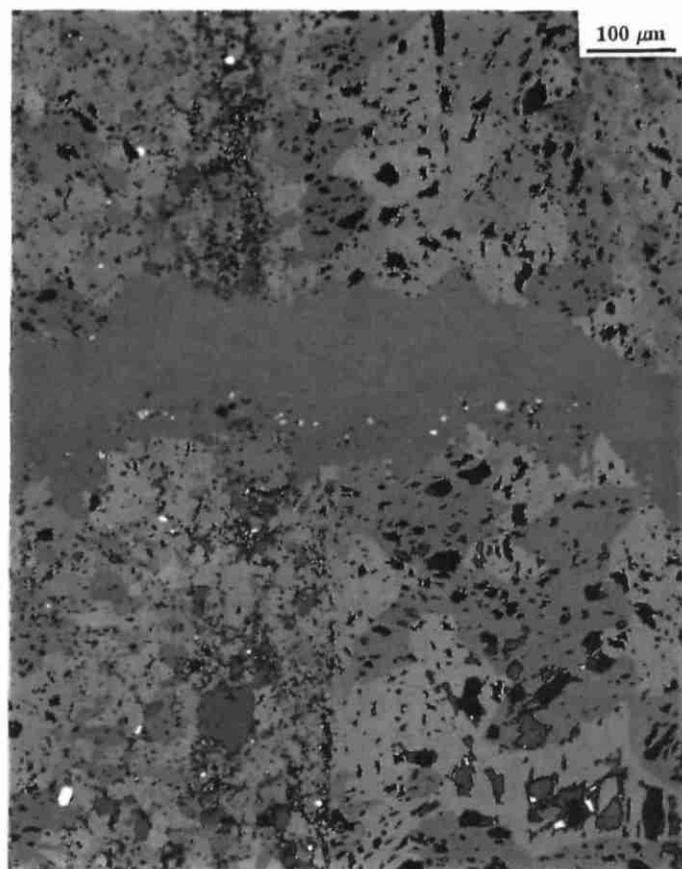
Photo 23 : Concrétions de sphalérite néoformée (fantômes évidés) et cristaux de sidérite néoformée, dans un sédiment microclastique tapissant une fissure dépourvue de remplissage calcitique terminal. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B). V.R.*

Photo 24 : Cristaux de sidérite néoformée encroûtant une cavité dans la sidérite hydrothermale, comblée de calcite. Dans la calcite se distinguent des inclusions microniques de sphalérite néoformée (blanc) et de sédiment microclastique très dispersé (gris foncé), dont la surface supérieure est perceptible en haut de la photo. Dans la sidérite néoformée apparaissent des inclusions de pyrite (en blanc). *Filon annexe, S.51, 361 m (LMP 9457). V.R.*

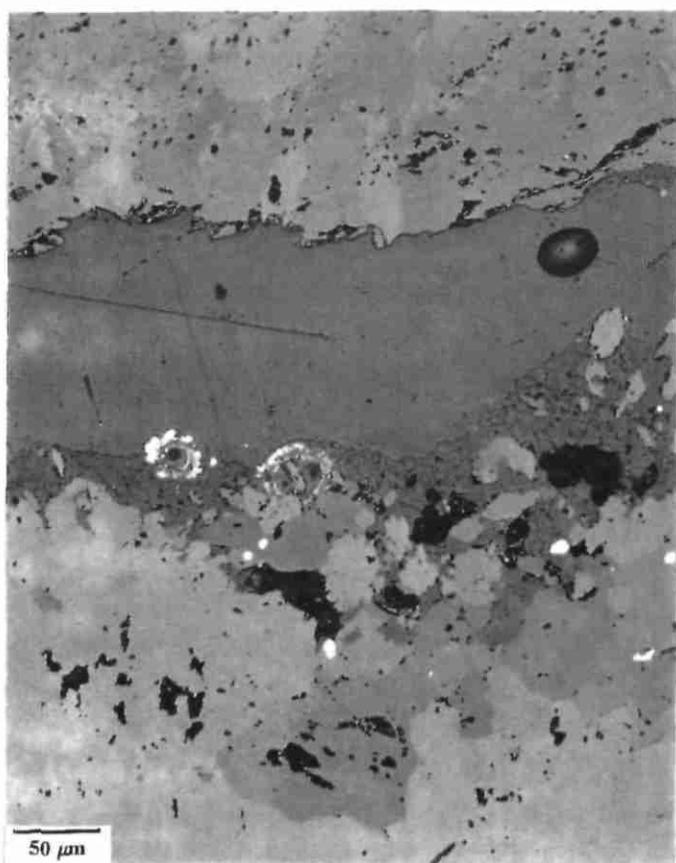
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



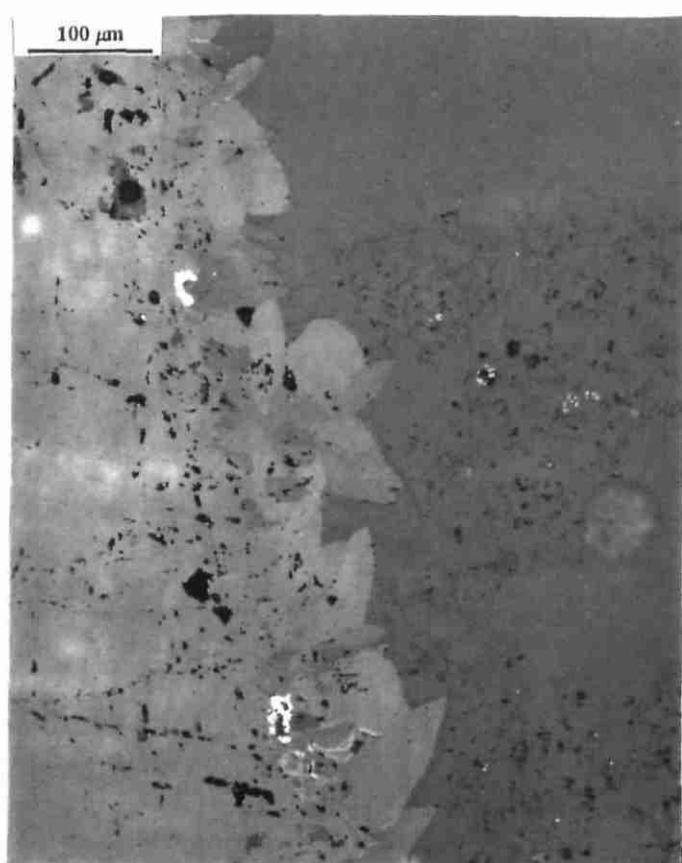
21



22



23



24

Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)

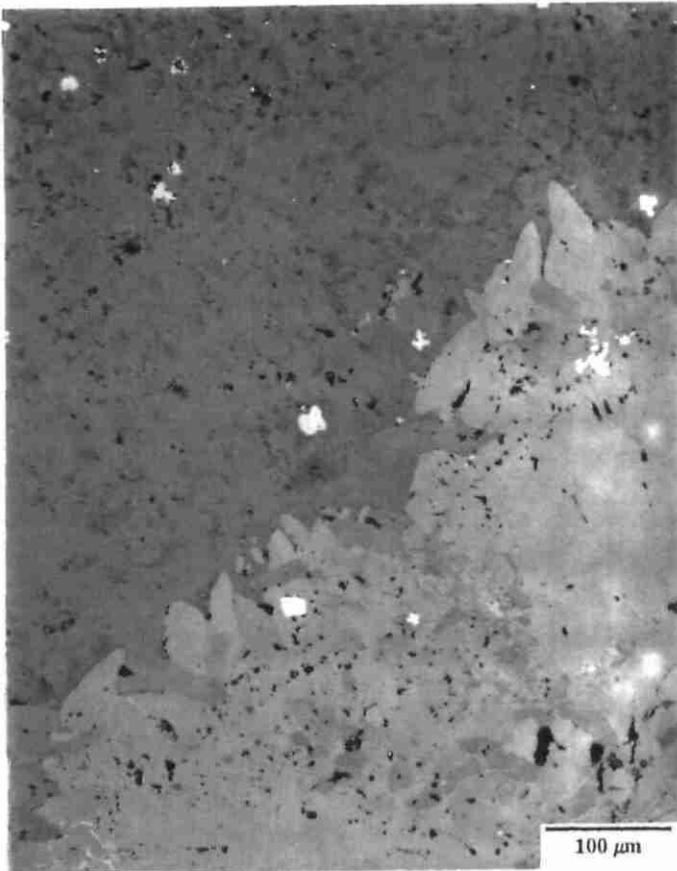
Photo 25 : Plage voisine de celle de la photo 24, présentant des cristaux bien formés de pyrite (liés à la sidérite) et de sphalérite (liés au sédiment pris dans la matrice calcitique). *V.R.*

Photo 26 : Encroûtement d'une fracture subverticale plane par de la sidérite néoformée précoce (faciès de renourrissage), à teneurs en Ca décroissantes, et croissantes en Mn (de droite à gauche). Ces variations chimiques déterminent le dégradé du gris. Photo MEB, électrons rétrodiffusés. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B). V.R.*

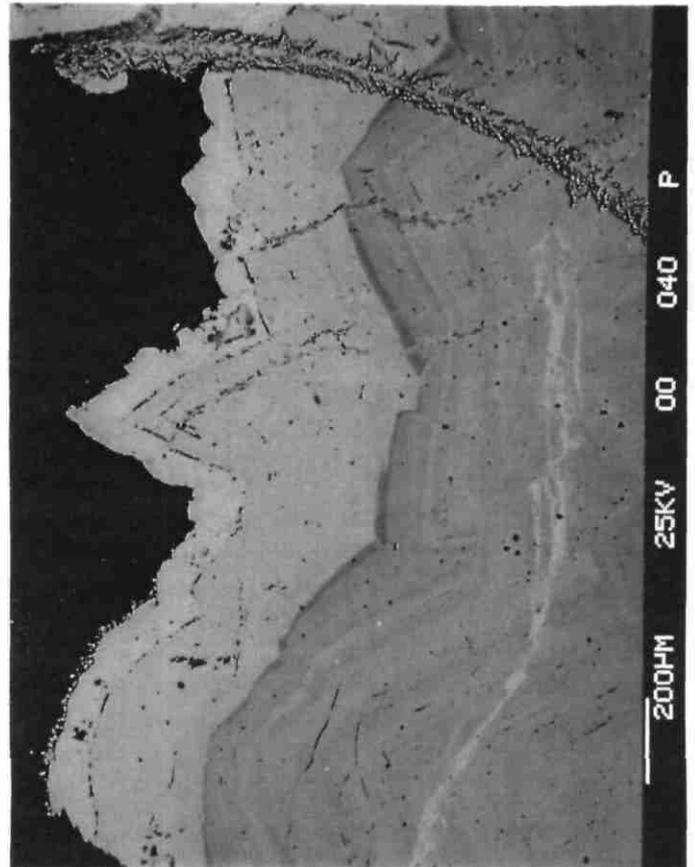
Photo 27 : Encroûtement d'une fracture oblique tardive par de la sidérite de renourrissage, de composition semblable à celle de la dernière génération de sidérite de la photo 26 (absence de Ca). *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B).*

Photo 28 : Microcristaux de sidérite néoformée, dans la masse d'un sédiment microclastique à quartz (détail de la photo 23). Les cristaux de carbonate épousent les grains de quartz, ce qui témoigne de leur croissance *in situ*. Composition chimique semblable à celle des sidérites néoformées des photos 26 et 27. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727).*

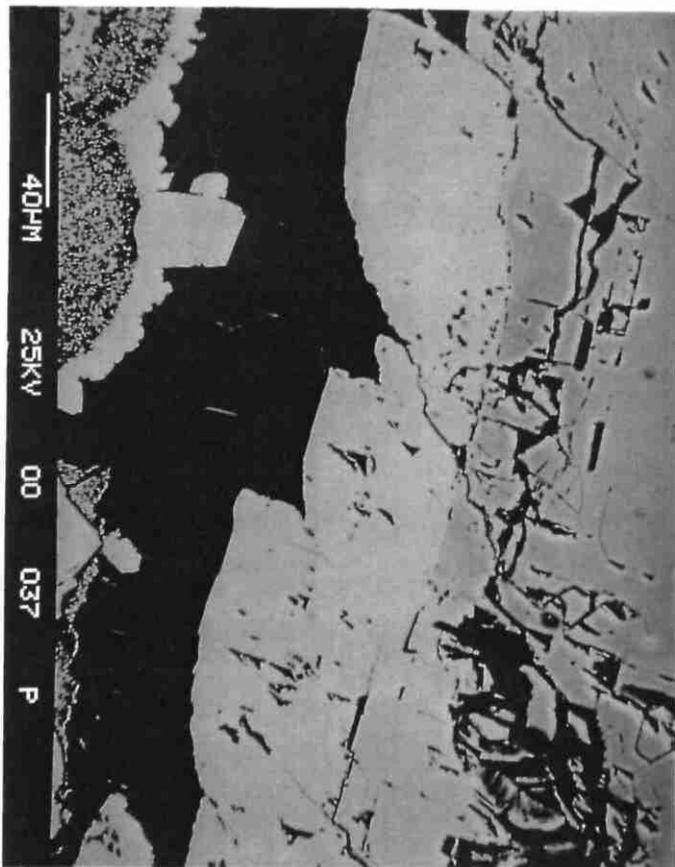
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



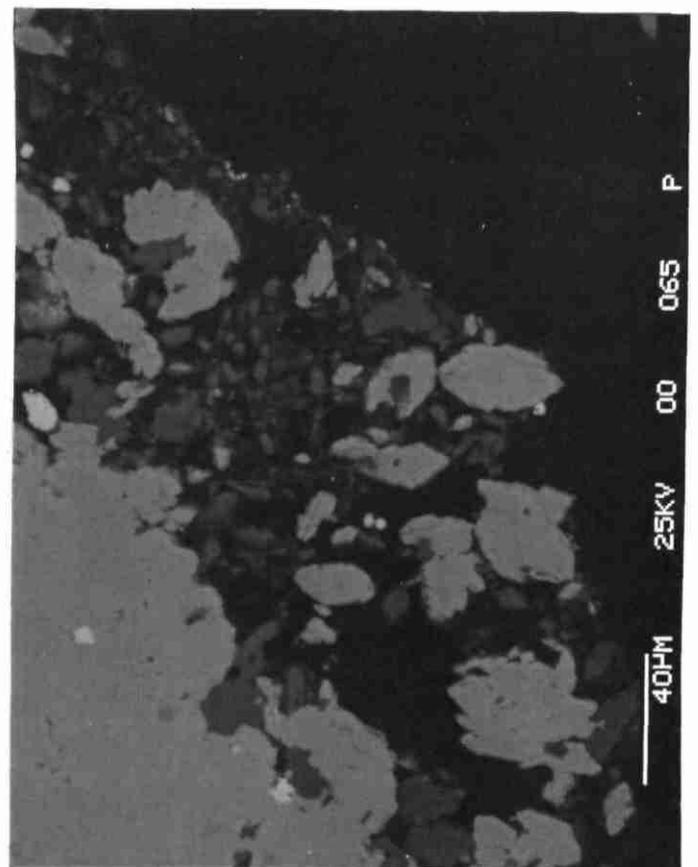
25



26



27



28

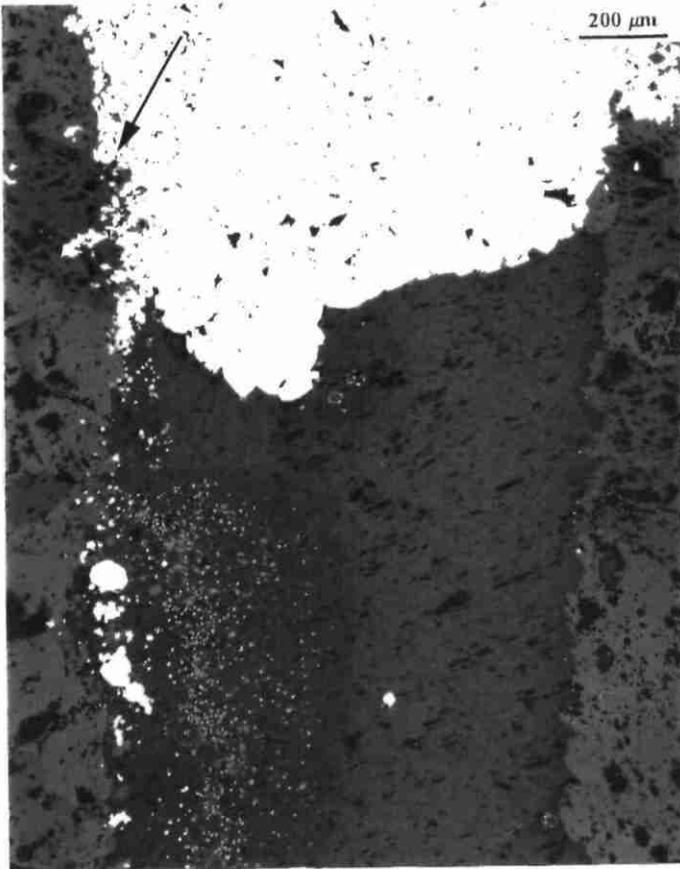
Photo 29 : Remplissage calcitique monocristallin d'une fissure tardive oblique (la verticale est indiquée par la flèche). En haut - pyrite et marcasite, antérieures à la calcite. En bas à gauche - microcristaux de sphalérite le long du mur, surmontant quelques cristaux de pyrite. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B).*

N.B. : Les sulfures qui jalonnent le mur, sont associés à un sédiment microclastique. Cet ensemble sédimenté avait glissé par gravité le long du mur, ce qui a déterminé son décollement du «bouchon» pyriteux supérieur. Un détail interne de ce «bouchon» a été déjà commenté dans la légende de la photo 21.

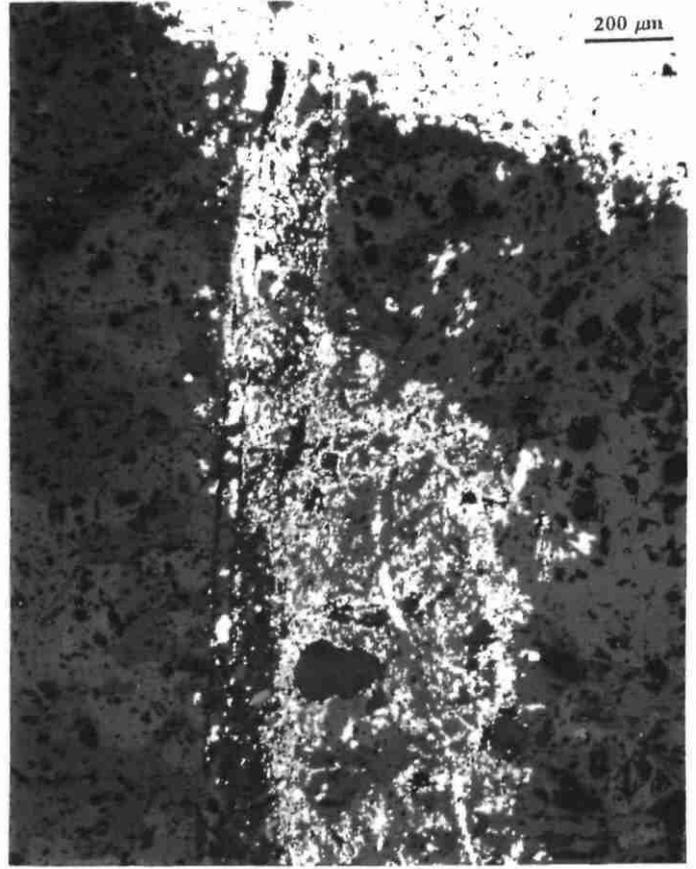
Photos 30 à 32 :

Paragenèse à *pyrite, quartz* et traces de *sphalérite néoformée*, mise en place par *remplacement* de la matrice sidéritique hydrothermale le long de plans de cisaillement verticaux non ouverts. *Photo 30* : aspect général de chevelus pyriteux métasomatiques (en haut apparait un filonnet pyriteux sécant, plus tardif). *Photo 31* : détail de la photo précédente, montrant les relations quartz/pyrite, et une plage de sphalérite (flèche, en bas de la photo). *Photo 32* : détail du front de pyritisation de la sidérite, avec figures d'infiltration du sulfure le long des plans de clivage et des joints intergranulaires. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B). V.R.*

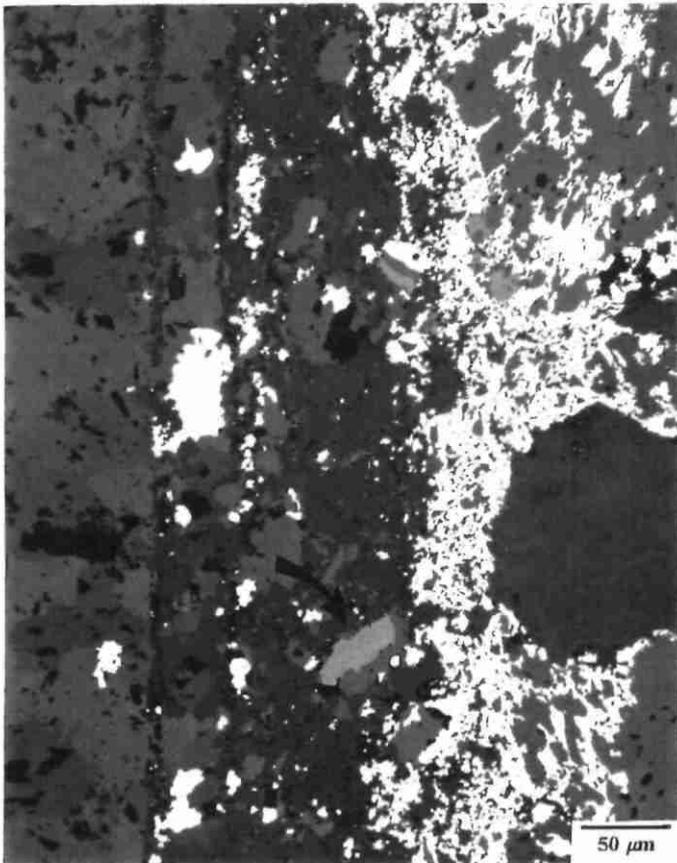
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



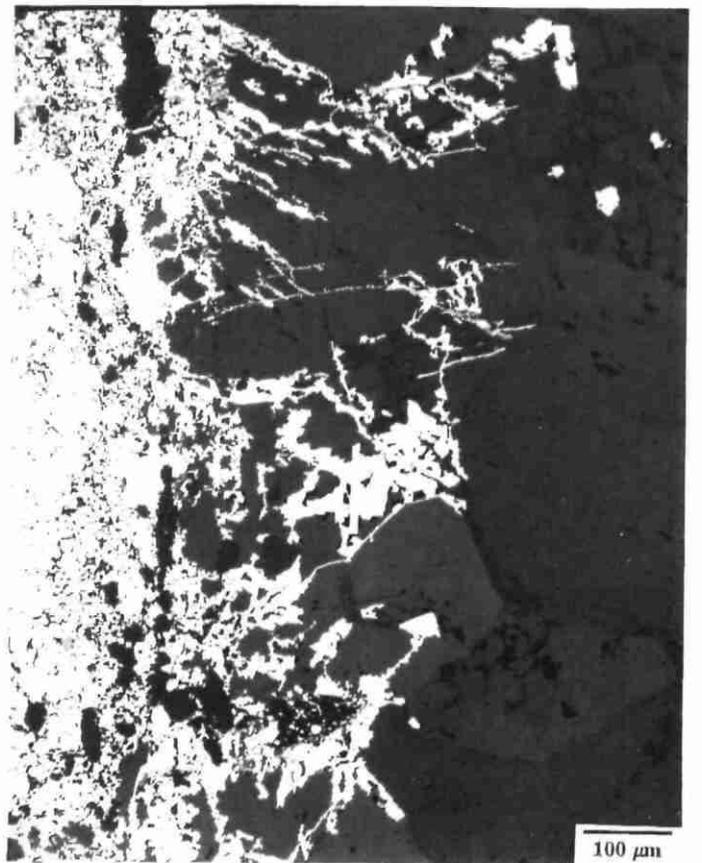
29



30



31



32

Photos 33 à 35:

Zone de pyritisation métasomatique le long d'un plan de cisaillement vertical, reprise par une fissure extensive tardive, avec remplissage à marcasite prédominante. Les photos 33, 34 (même plage, lumière "naturelle" et entre nicols croisés) et la photo 35 représentent, respectivement, les parties supérieure et inférieure de la figure 3C. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727). V.R.*

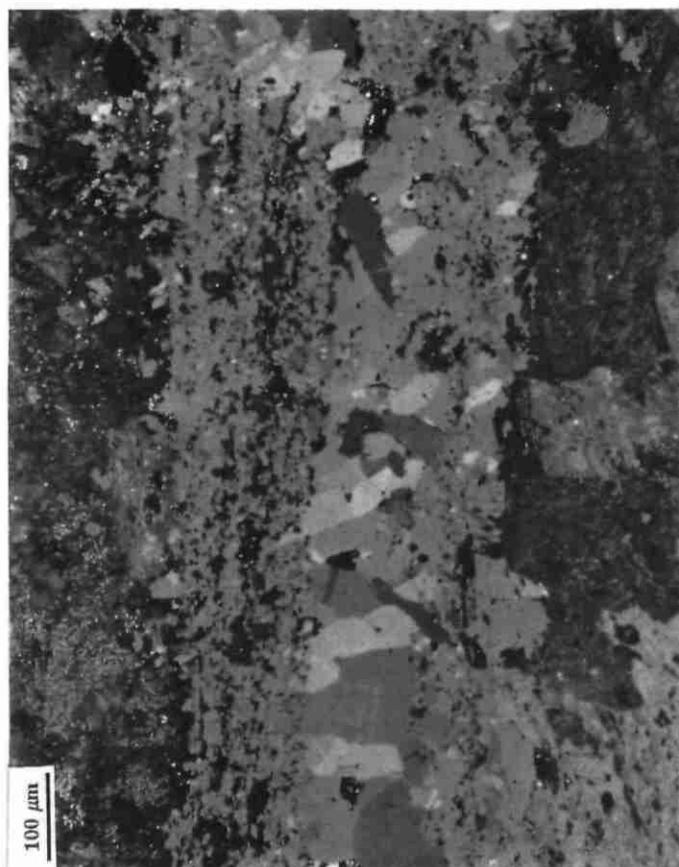
Photo 36 : Dépôt de sphalérite néoformée (gris moyen) le long d'une zone d'accroissement d'une concrétion de pyrite, constituée de fromboïdes partiellement recristallisés. *Mine principale, S.56, métrage non précisé (SP 50194, cf. fig. 4).*

N.B. : La zone d'accroissement à sphalérite (verticale sur cette photo) apparaît sur la bordure inférieure de la photo 15. L'aspect lacunaire de la sphalérite est produit non pas sa corrosion, mais par celle des fromboïdes de pyrite qu'elle contient et dont on observe encore de nombreuses traces résiduelles (il s'agit vraisemblablement d'une corrosion par oxydation).

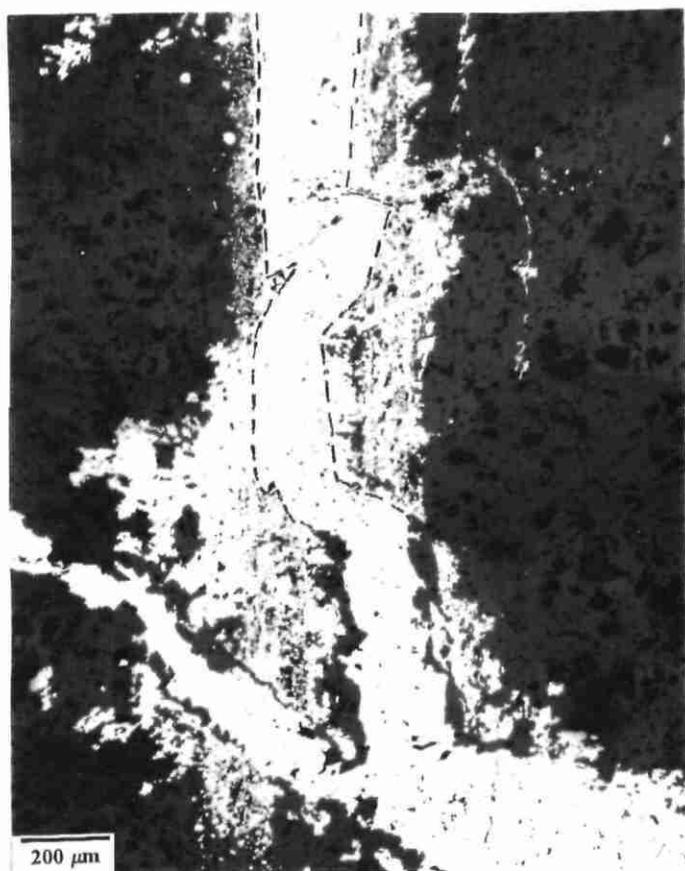
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



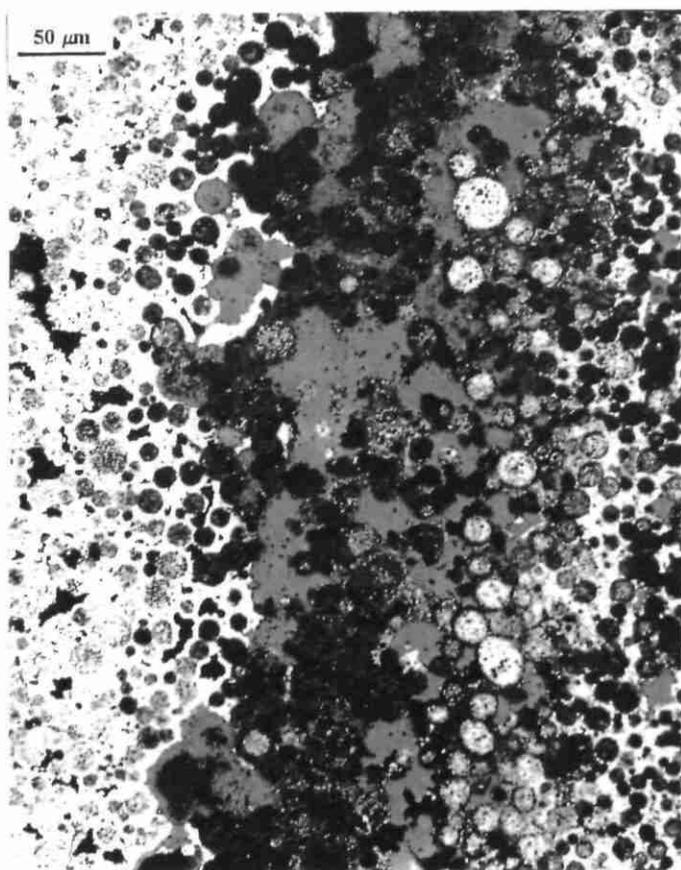
33



34



35



36

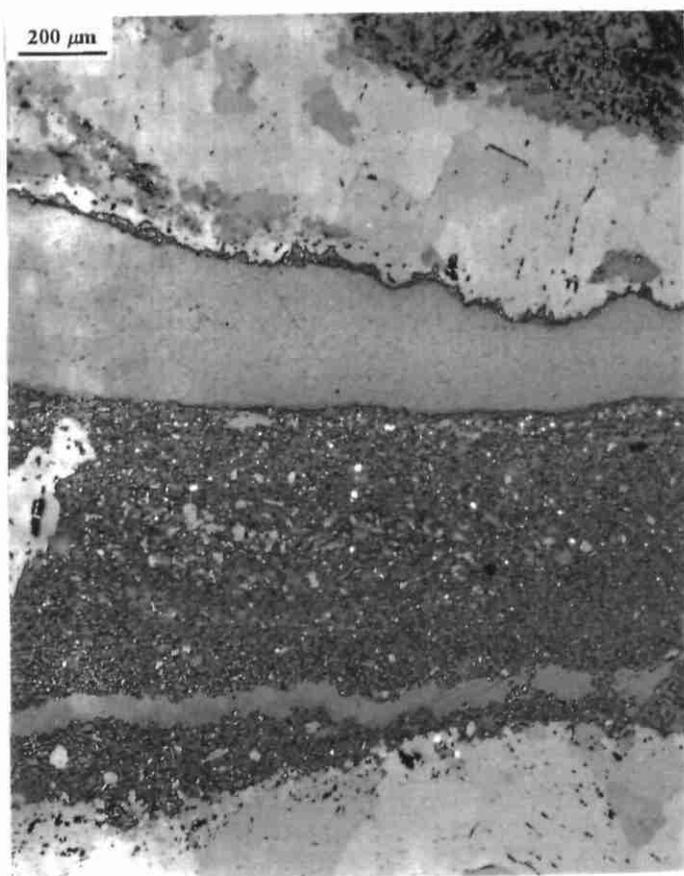
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)

Photo 37 : Sédiment microclastique à traces de litage, dans une fissure horizontale dépourvue de remplissage calcitique) recoupant la sidérite hydrothermale. Le sédiment contient, à sa base, quelque traces microscopiques de sphalérite néoformée (non visibles sur la photo). En haut de la photo apparaît un élément bréchique de schiste quartzifié. *Ext. ouest, S.62, 173,70 m (LMP C5723). V.R.*

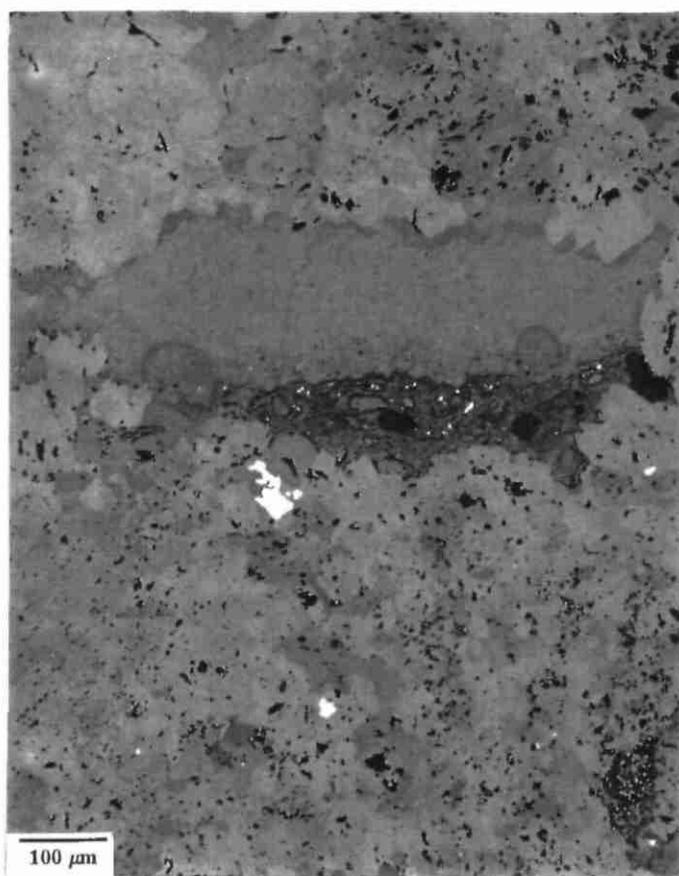
Photo 38 : Fissure horizontale comblée de calcite, présentant au mur un dépôt de sédiment microclastique qui, dans ce cas particulier, n'est imprégné de calcite que dans sa partie sommitale, essentiellement microphylliteuse. Le sédiment grossier (non imprégné) contient quelques traces de sphalérite. *Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B). V.R.*

Photo 39 : Sédiment microclastique fin, très poreux, en remplissage d'une fissure horizontale dépourvue de calcite et présentant de nombreuses plages microscopiques de sphalérite néoformée (les plus importantes sont repérées par des flèches). *Ext. ouest, S.62, 173,70 m (LMP C5723). V.R.*

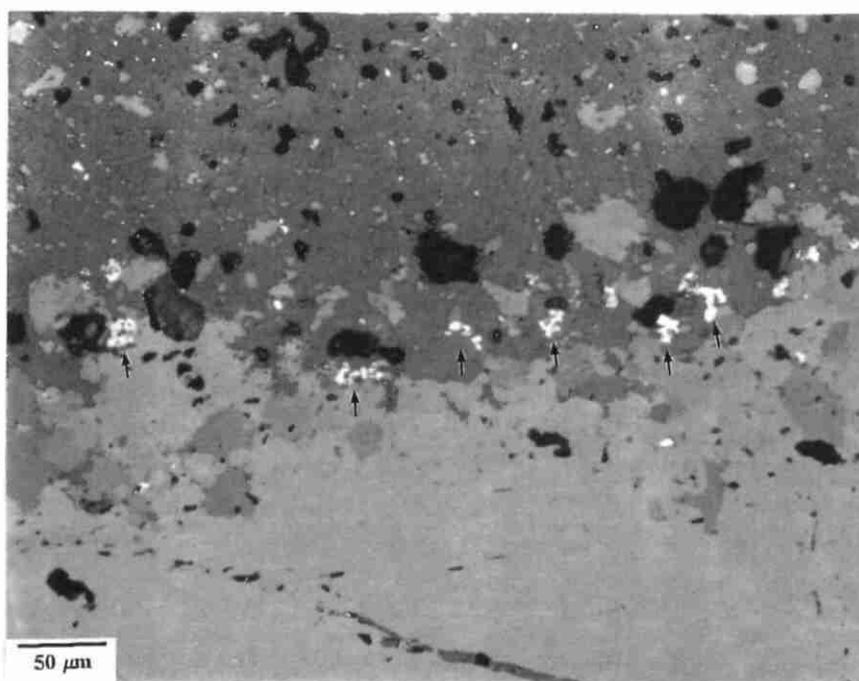
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



37



38



39

Photos 40 et 41 :

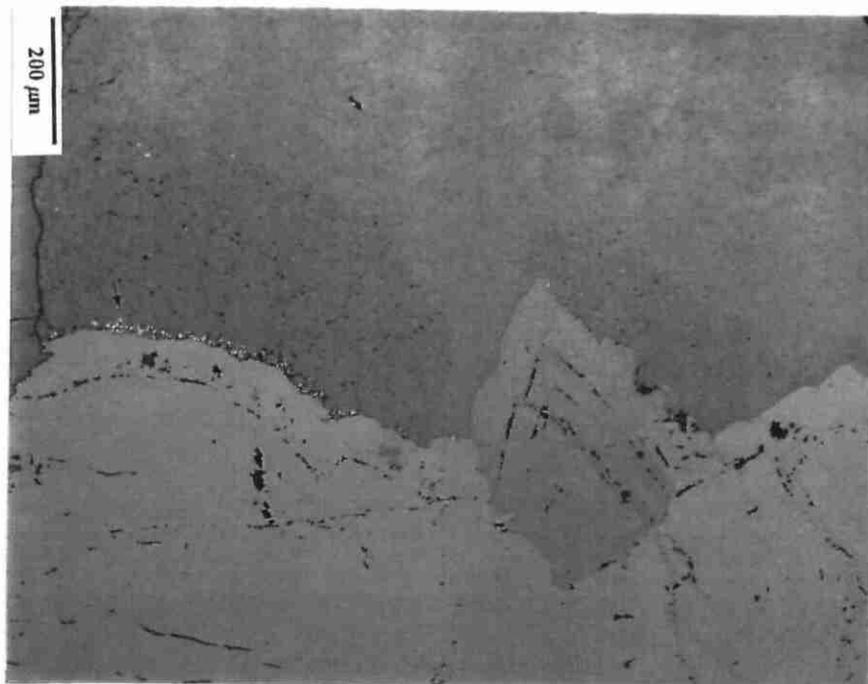
Photographies prises, respectivement, en lumière réfléchie et en lumière transmise. Le sens de la gravité est donné par la flèche horizontale (entre les photos). La plage photographiée reproduit celle déjà vue sur la photo 26 mais, cette fois, elle montre les textures sédimentaires postérieures à la sidérite encroûtante précoce (faciès de renourrissage).

Noter, sur la *photo 40*, un dépôt de cristallites microscopiques de sphalérite, tapissant la sidérite (flèche, à gauche).

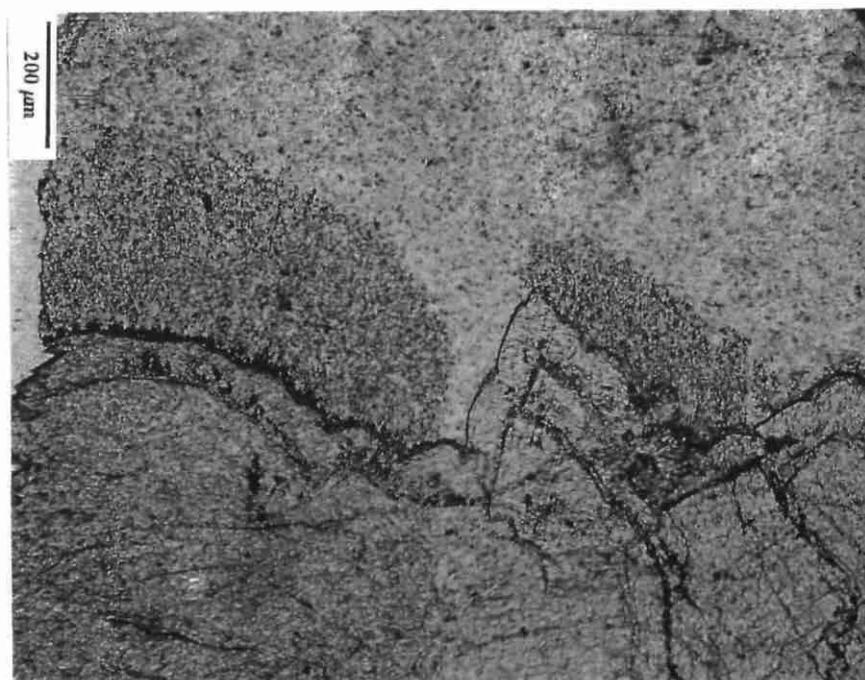
Sur la *photo 41*, la lumière transmise met en évidence un dépôt microphylliteux, formant des «ombres de sédimentation».

Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B).

Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



40



41

Photos 42 et 43 :

Organisation du remplissage d'un filonnet de *calcite* à *pyrite* et *sphalérite néoformée*, vu en lumières réfléchies (photo 42) et transmise (photo 43). Les photos sont orientées suivant la verticale réelle.

Photo 42 : Le mur sidéritique (en bas, à gauche), est dépourvu de renourrissage, le toit (coin supérieur droit) est légèrement renourri (cf. photo 27). Le mur est tapissé de pyrite (en blanc), surmontée d'un fin dépôt de sphalérite, formant une sorte d'*auréole* autour de la pyrite.

Photo 43 : En lumière transmise apparaît le sédiment microclastique, dans lequel la sphalérite (en noir) dessine un *niveau sédimentaire privilégié*. Ce niveau matérialise l'*interface* entre le *sédiment quartzeux « grossier »* (à la base) et le *sédiment phylliteux fin* (au dessus de la sphalérite). Le détail de cet interface est présenté sur les photos 18 et 19.

Ext. ouest, S.62, 218 m (LMP C 5727, cf. fig. 3B). V.R.

N.B. : Le complexe sédimentaire présente une discontinuité oblique qui matérialise un *plan de glissement* (visible sur la photo 43, repéré par un pointillé), qui induit un effondrement de la partie droite du niveau sphaléritique. Sur la bordure gauche de la photo 43 apparaît une autre surface de glissement, disloquant le même niveau.

Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)

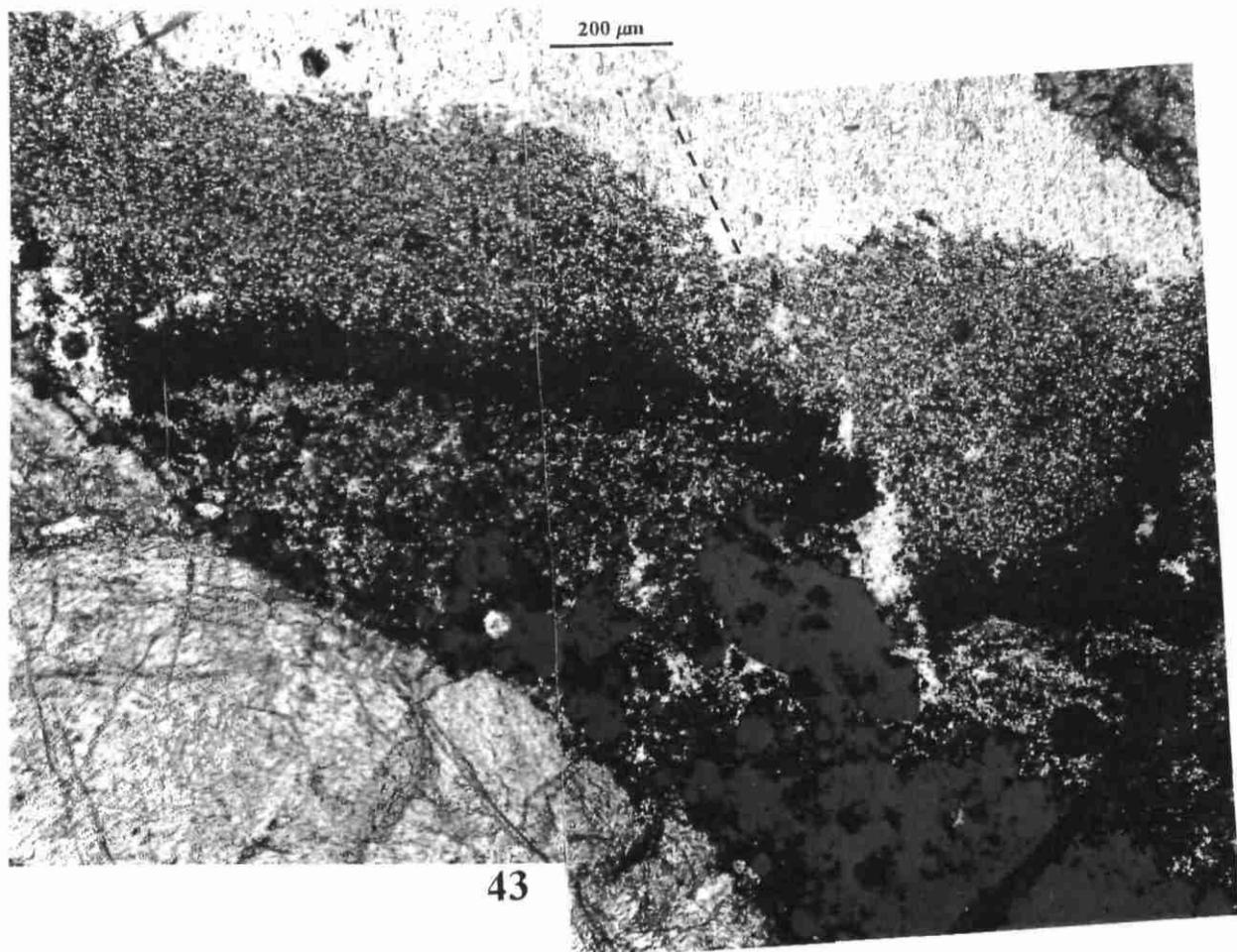
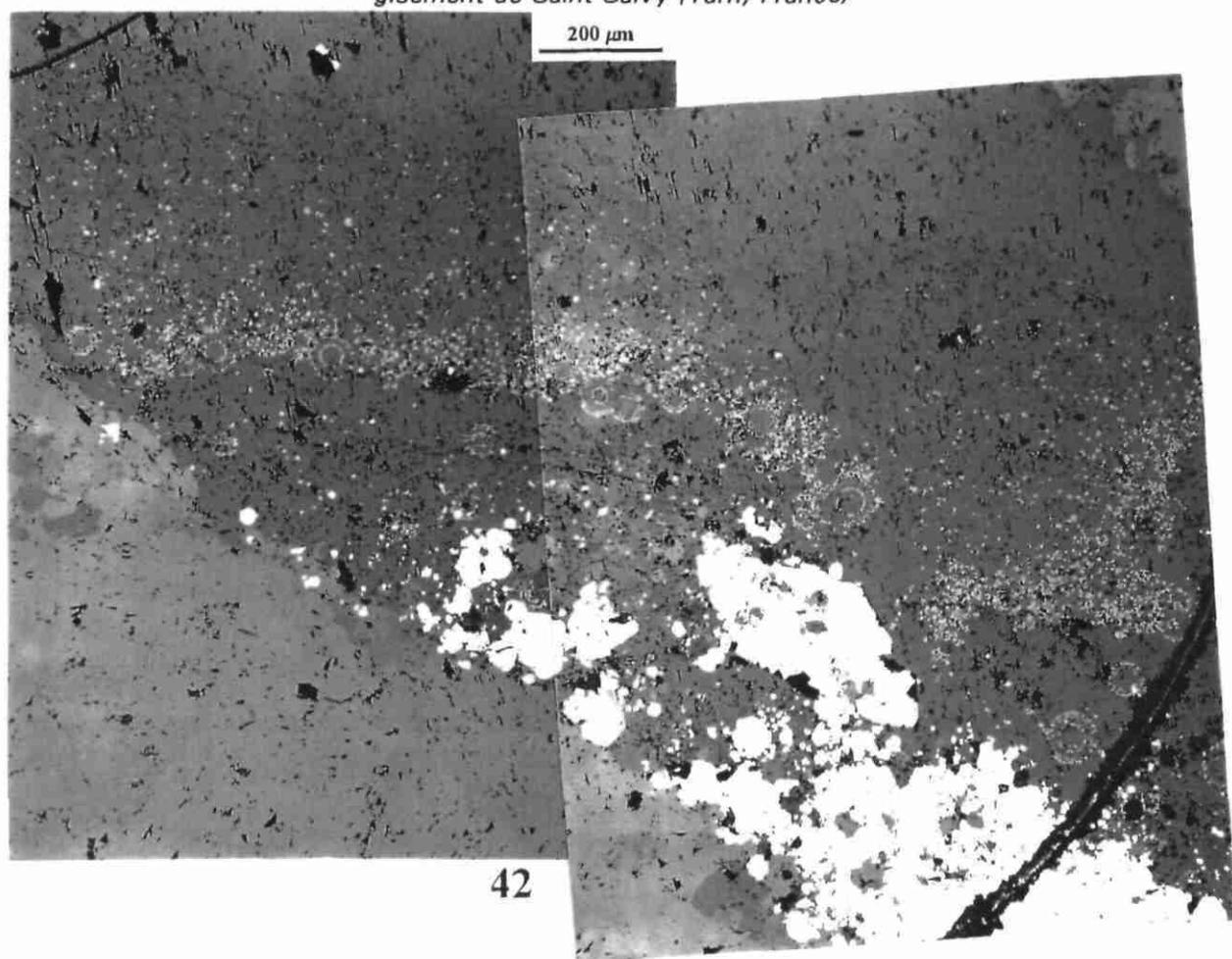


Photo 44 : Filonnet à hématite mal consolidée (H), goethite (G) et sédiment microclastique (en noir, au centre), recoupant un chapeau de fer à goethite et quartz hydrothermal bréchifié. Noter les jeux en faille inverse du filonnet hématitique et de sa réouverture. *Ext. ouest, S.61, m (SP 52088, cf. fig. 7). V.R.*

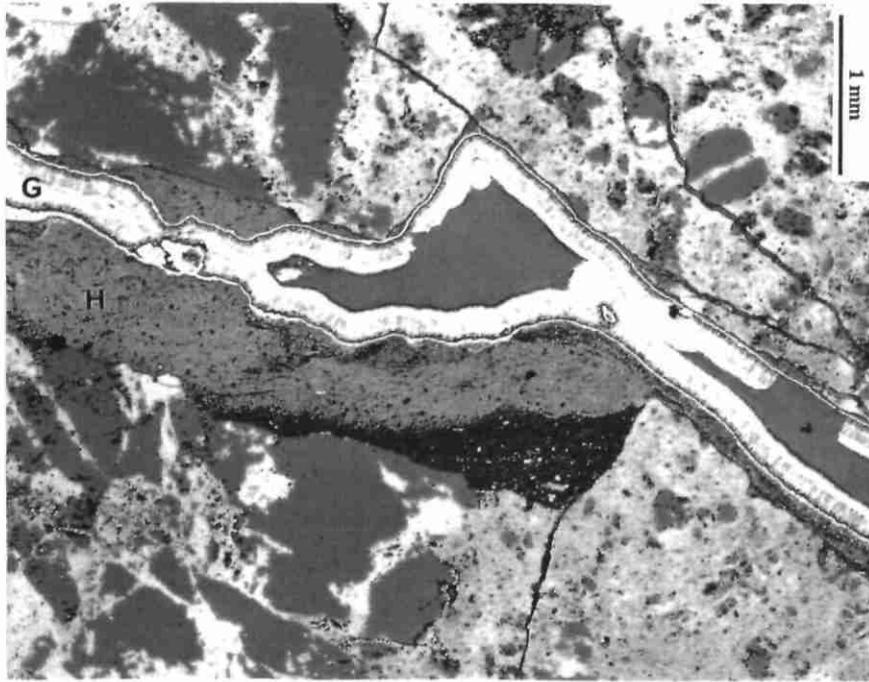
N.B. : L'hématite, légèrement terreuse et ne prenant pas le poli, apparaît ici en gris. A sa base, le sédiment microclastique quartzeux présente une surface plane, matérialisant l'horizontale et permettant ainsi d'orienter l'échantillon. A noter que la goethite fissurale tardive encroûte une réouverture au toit du filonnet hématitique.

Photo 45 : Hématite (en haut) et sédiment microclastique quartzeux (en bas), recouvrant une croûte de goethite syntectonique précoce, mais postérieure à celle de la matrice du chapeau de fer. *Ext. ouest, S.61, m (SP 52088, cf. fig. 7). V.R.*

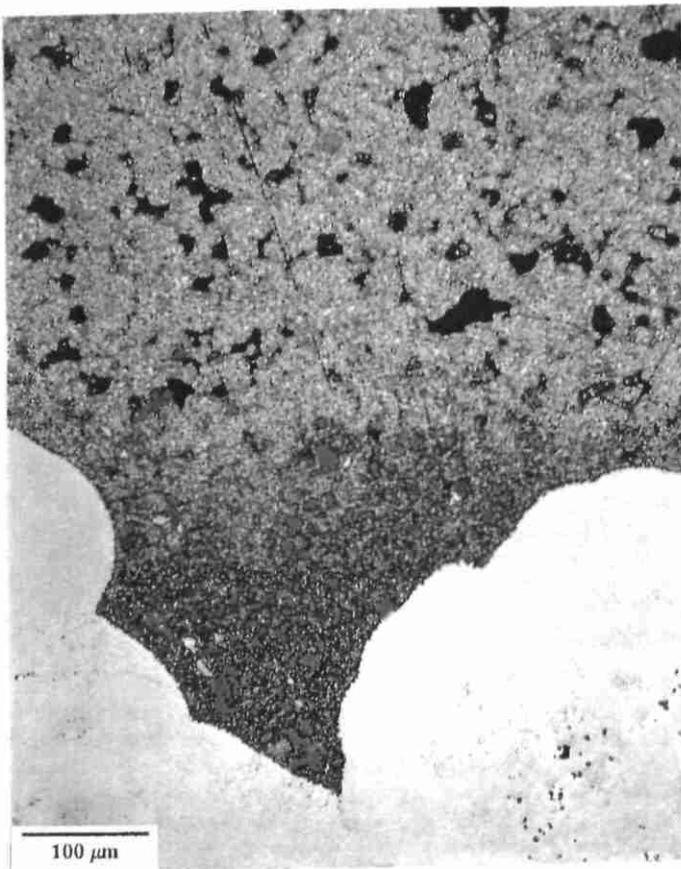
N.B. : Les pores dans l'hématite, à parois concrétionnaires «fromboïdales», sont caractéristiques d'un vieillissement de colloïde fortement hydraté.

Photo 46 : Détail de la réouverture du filonnet hématitique de la photo 44, montrant un liseré d'hématite massive (en blanc) à la base de la goethite terminale, et un groupe de cristaux de *barytine supergène*. La barytine est postérieure à la réouverture, mais précède l'encroûtement à goethite, y compris son liseré hématitique basal. Les cristaux de barytine présentent des *traces de corrosion*, accentuées par des arrachement lors du plissage (comparer avec la photo 47). *Ext. ouest, S.61, m (SP 52088, cf. fig. 7). V.R.*

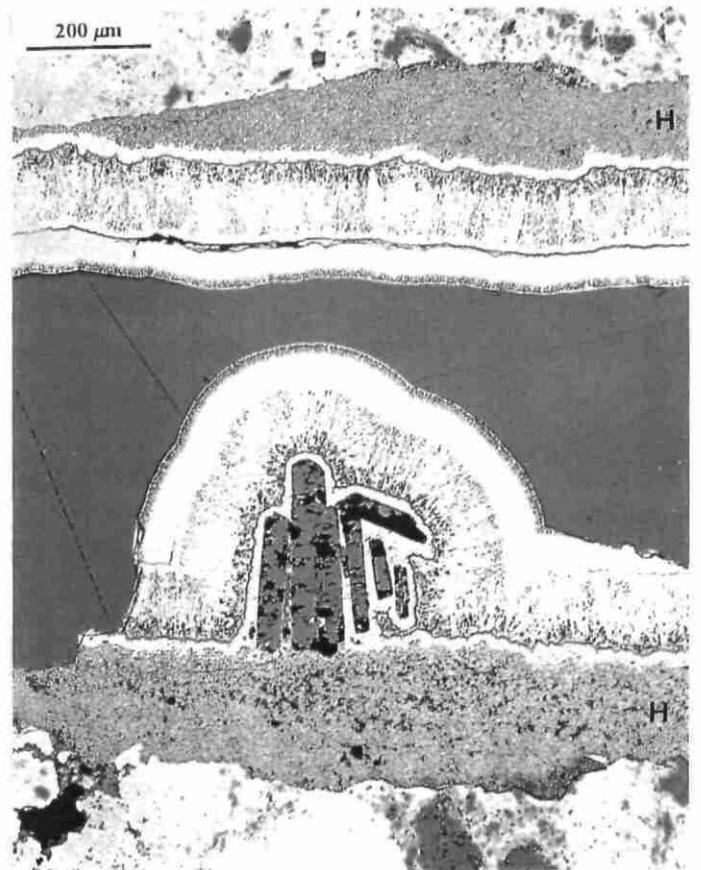
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



44



45



46

Photo 47 : Cristaux de barytine partiellement remplacés par la goéthite et encroûtés de goéthite, présentant à sa base un liseré d'hématite massive (blanc). Les cristaux de barytine sont implantés sur une surface de fracture de l'hématite mal cristallisée, et ils sont *partiellement remplacés* par de la goéthite. *Ext. ouest, S.61, m (SP 52088, cf. fig. 7). V.R.*

N.B. : L'éponte du filonnet (en bas) est ici constituée de quartz supergène, renourrissant du quartz hydrothermal et imprégnant des pseudomorphoses de minéraux hydrothermaux, vraisemblablement de carbonates.

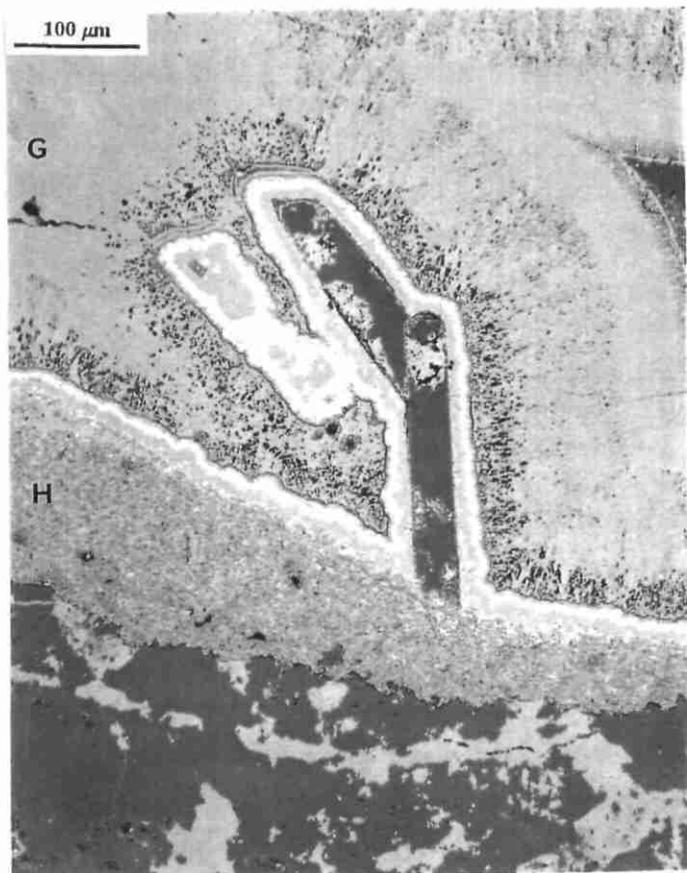
Photo 48 : Ancien pore géodique de sidérite hydrothermale (bordures supérieure et gauche), actuellement *pseudomorphosée en goéthite* et encroûtée de *carbonates supergènes* : deux générations de *calcite* (gris foncé), intercalées de sidérite (gris clair). Image au MEB, él. rétrodiffusés. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

N.B. : La dernière génération de calcite se présente en cristaux automorphes non jointifs, entre lesquels la sidérite néoformée affleure *sans traces d'altération*. Cette texture montre que l'oxydation de la sidérite hydrothermale correspondait à un épisode oxydant temporaire.

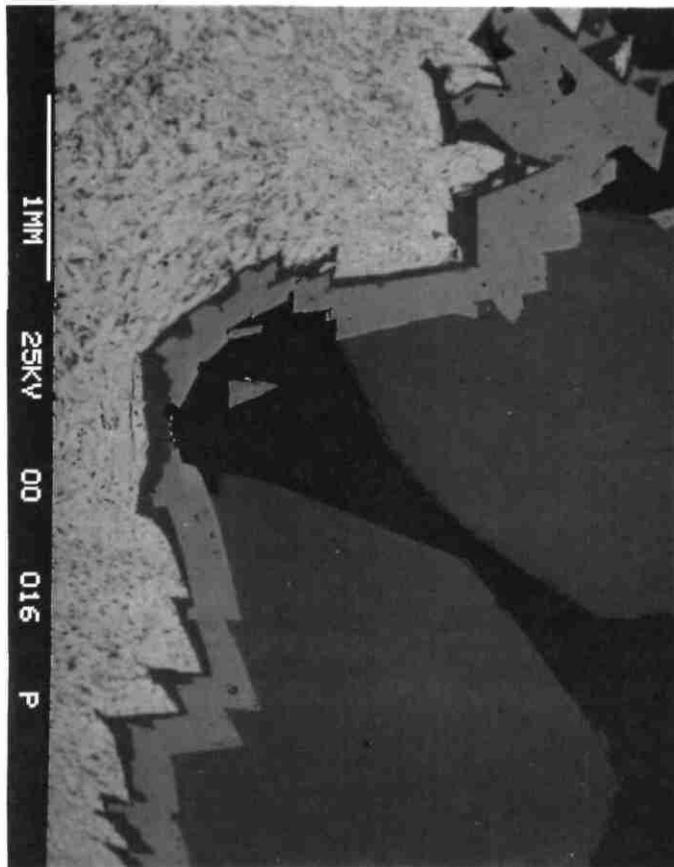
Photo 49 : Détail de la partie inférieure de la photo 48, vu en lumière réfléchie, et montrant l'organisation de la pseudomorphose goéthitique de la sidérite hydrothermale. Noter une croissance épitaxique des carbonates successifs, orienté par les cristaux de sidérite hydrothermale. Cette texture indique, vraisemblablement, une *simultanéité* entre l'oxydation de la sidérite du substrat et le début de la précipitation de la première génération de calcite. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

Photo 50 : Analyse qualitative de la calcite de la première génération (cette analyse a été obtenue sur la plage de la photo 55). Noter la présence de Mn, Mg et Zn. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

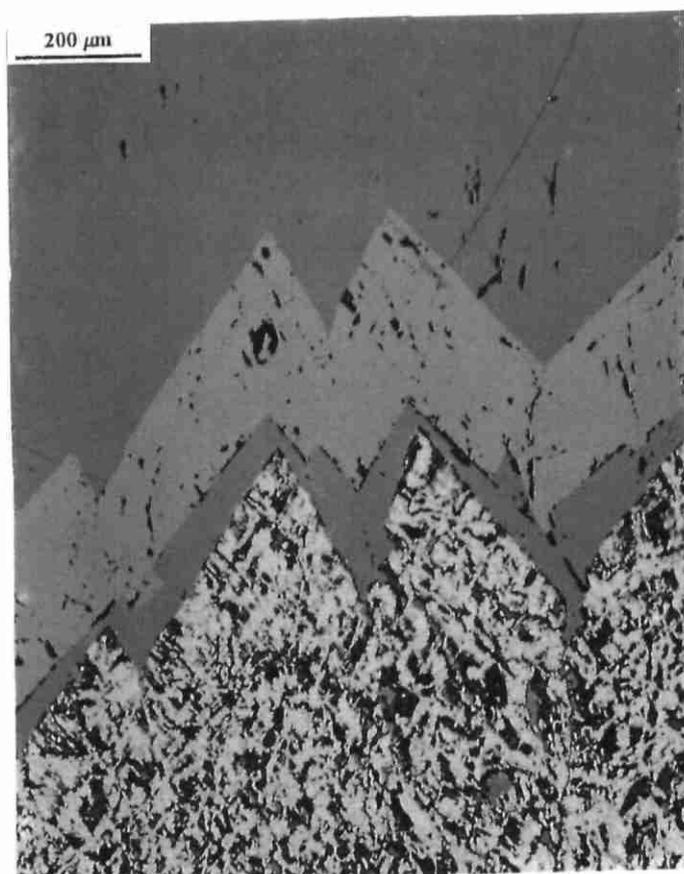
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



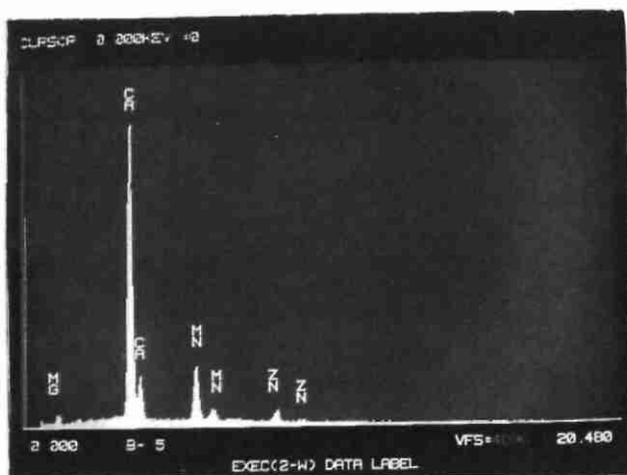
47



48



49



50

Photos 51 et 52 :

Concrétion de sphalérite néoformée (en blanc), développée sur la calcite de première génération et moulée par la sidérite néoformée. Images MEB, électrons rétrodiffusés. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

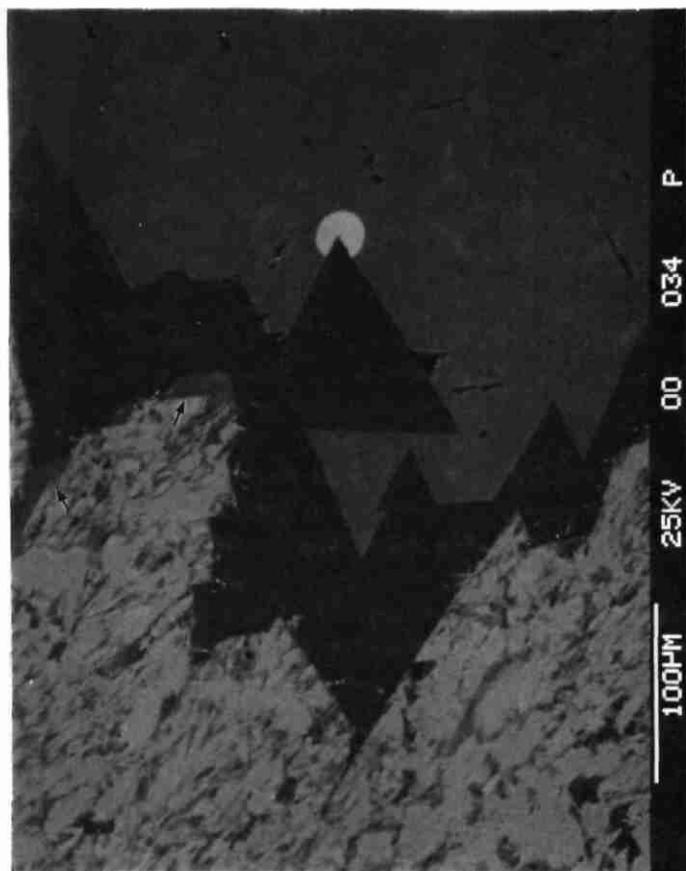
N.B. : Sur la photo 51, entre la pseudomorphose goethitique de la sidérite hydrothermale et la calcite s'intercalent, dans cette plage particulière, des cristallites de *carbonate de Mn* (flèches, à gauche), eux aussi orientés sur la sidérite hydrothermale.

Photo 53 : Zonation de la calcite de première génération, produite par des teneurs variables en Mg, Mn et Zn. Photo MEB, électrons rétrodiffusés. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

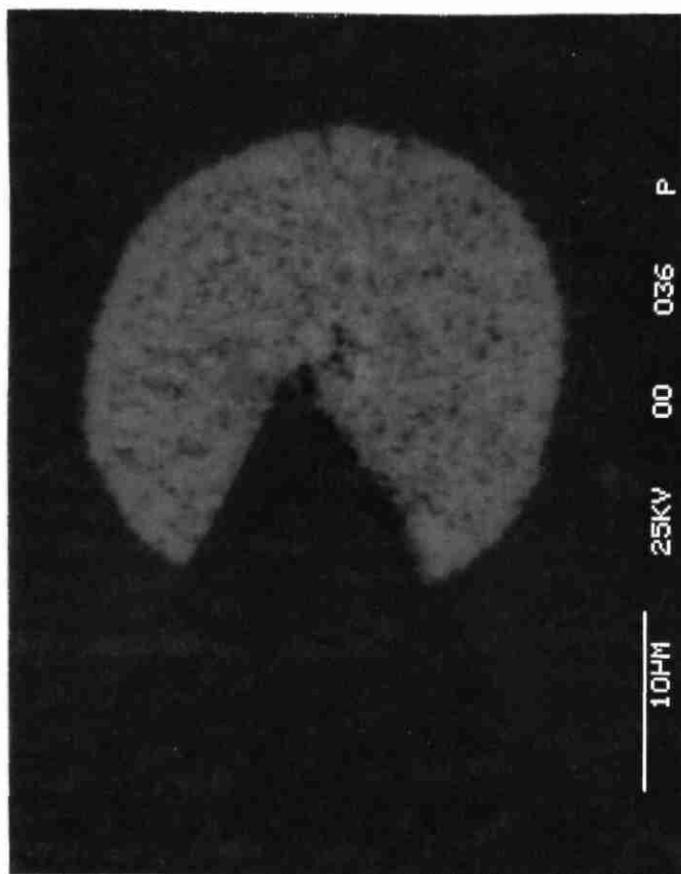
N.B. : Noter la surface hérissée du substrat de la calcite, formé de goéthite pseudomorphosant la sidérite hydrothermale. Sur la calcite se dispose une concrétion de *sphalérite néoformée*, à surface microcristalline (flèche). La *sidérite néoformée* (S) présente une lacune de cristallisation remplie de calcite de seconde génération.

Photo 54 : Pseudomorphose d'un ancien cristal de sidérite hydrothermale en goéthite, recouverte d'une *croûte de sphalérite concrétionnée*, elle-même recouverte de calcite de la deuxième génération. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

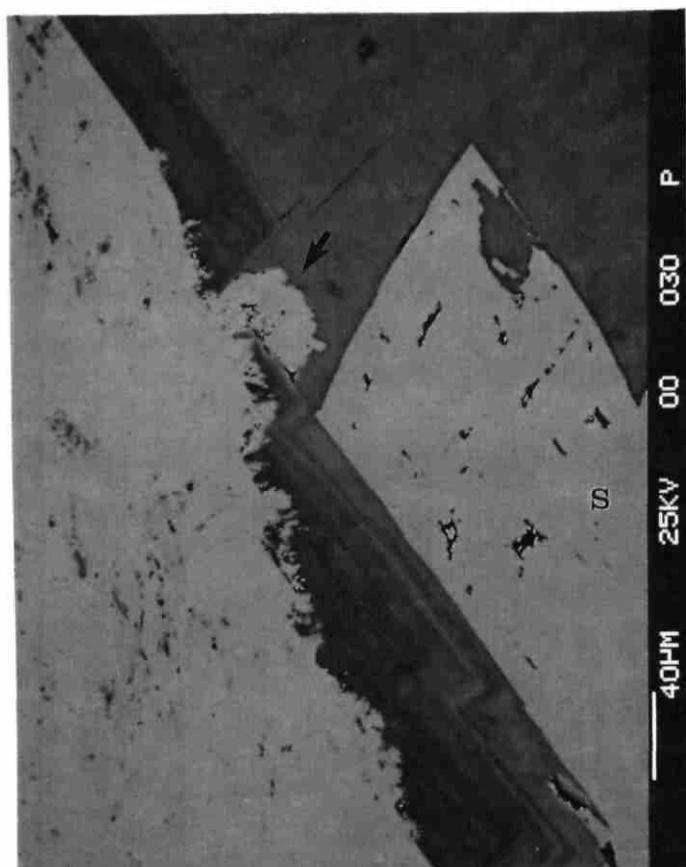
N.B. : Cette plage présente une lacune locale de précipitation de sidérite néoformée et de calcite de première génération.



51



52



53



54

Photos 55 et 56 :

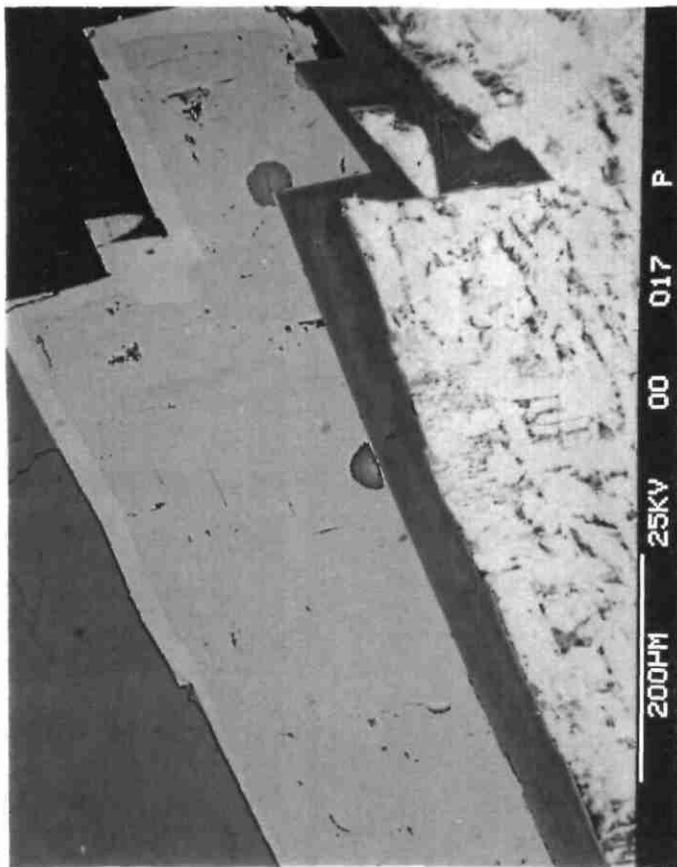
Micro-concrétions globulaires d'hydroxyde de fer colloïdal (limonite), contemporaines des premières précipitations de sidérite néoformée. Photos au MEB, électrons rétrodiffusés. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

N.B. : La *photo 55* représente un détail de la photo 48 : dans le coin supérieur gauche, la sidérite néoformée, sans traces d'altération, affleure dans la cavité géodique (en noir). Sur la *photo 56*, noter : (1)- une zonation chimique de la calcite du substrat (comparer avec la photo 53), (2)- un fin liseré de sidérite précédant le dépôt de limonite et, enfin, (3)- la corrosion superficielle de la concrétion limonitique par la sidérite environnante.

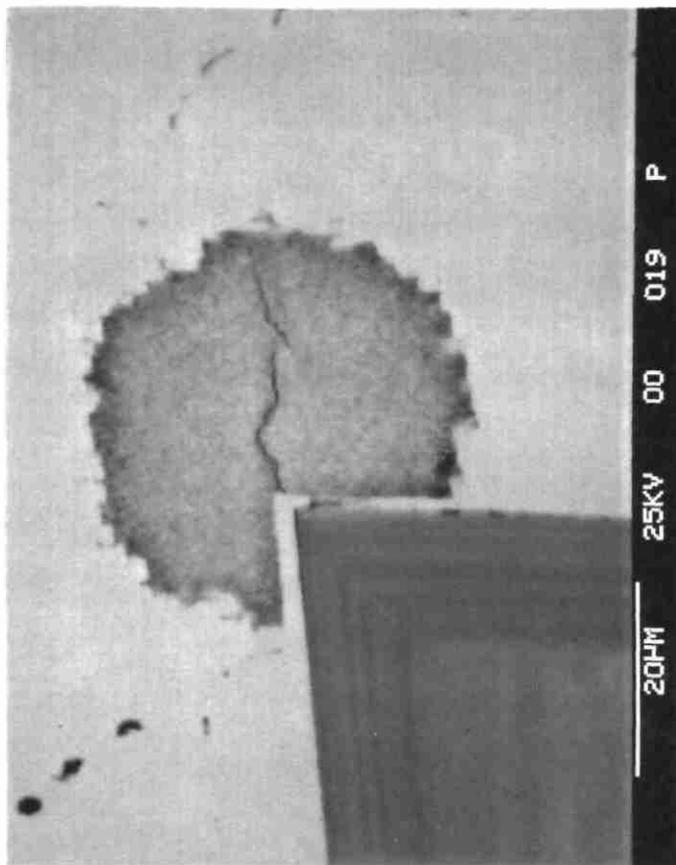
Photo 57 : Analyse qualitative de la limonite de la concrétion inférieure de la photo 55. Noter une légère trace de Zn. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

Photo 58 : Détail de la surface d'une pseudomorphose de sidérite hydrothermale en goethite, recouverte de calcite de première génération. Les excroissances de goethite forment dans cette plage des corps sphériques, interprétés comme résultant d'un dépôt limonitique concrétionné, antérieur à la calcite. *Sond. sous la mine du Rouquis, S.53, 555,5 m (SP 39324).*

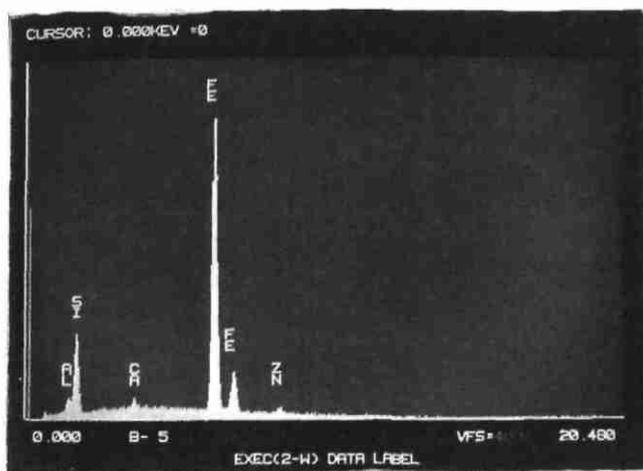
Paragenèse à sphalérite néoformée de subsurface, syn-tectonique pyrénéenne dans le gisement de Saint-Salvy (Tarn, France)



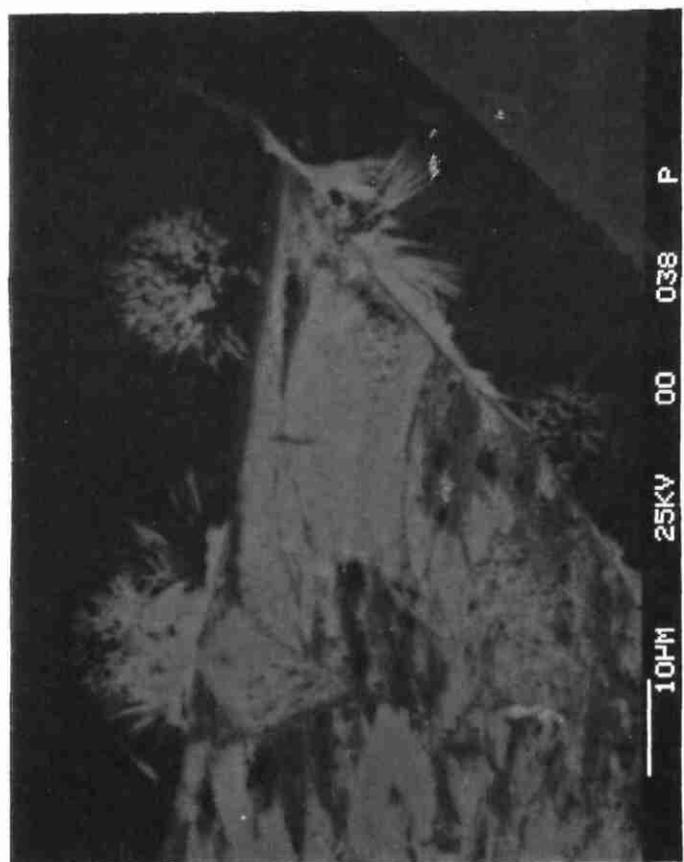
55



56



57



58