



Im Bekant 92
Scene Satirice

sr Joseph d'Hurtiere

sous la direction de
Marie-Christine Bailly-Maître,
Alain Ploquin et Nadège Garioud

Le fer dans les Alpes du Moyen-Age au XIX^e siècle

Actes du colloque international
de Saint-Georges-d'Hurtières,
22-25 octobre 1998



éditions monique mergoil

Origine, évolution et âge de la formation géologique concernant les minéralisations des Hurtières (Série Satinée de Belledonne)

D. Gasquet*, S. Beuchat**,
R. Moritz**, J.-M. Bertrand***

Résumé

L'étude cartographique, structurale, géochimique et géochronologique de la Série Satinée (Massifs Cristallins Externes des Alpes occidentales) et des minéralisations qu'elle contient montre à l'évidence que son histoire est polycyclique. Les âges des zircons détritiques contenus dans les schistes s'étalent depuis 3.4 Ga jusqu'à 600 Ma. Les groupements d'âges sont comparables à ceux obtenus en Bavière et en Montagne Noire par d'autres auteurs et suggèrent que l'histoire de la Série Satinée débute au paléozoïque inférieur, les sédiments ayant ensuite subi au moins deux phases tectono-métamorphiques hercyniennes. L'histoire alpine consiste en un rapprochement par chevauchement et/ou décrochement de la Série Satinée avec les autres ensembles des Massifs Cristallins Externes et s'accompagne d'une mylonitisation localisée à proximité de l'accident médian et d'une fracturation ailleurs. L'étude isotopique des filons a montré l'existence de cinq phases de minéralisation : les trois premières étant varisques, les deux dernières étant alpines.

Abstract

Structural, geochemical and geochronological study has shown that the history of the Série Satinée and its mineralizations (External Crystalline Basement from western Alps) is polycyclic. The U-Pb ages obtained on detrital zircons of the micaschists spread from 3.4 Ga to 600 Ma. These ages, comparable to those obtained in Bavaria and Montagne Noire by others authors, suggest that the sedimentary deposit occurred in the Early Paleozoic times. The sedimentary formation has subsequently undergone two hercynian tectono-metamorphic events. The effects of the alpine history are weak in the "Série Satinée". They correspond to a mylonitisation close to the "Accident Médian" and to a more or less developed fracturation elsewhere. Isotopes evidences show that at least five stages of mineralizations are recorded in the hydrothermal veins of St Georges d'Hurtières : three variscan stages are followed by two alpine events.

Introduction

Les minéralisations des Hurtières appartiennent à un vaste district minier qui s'étend sur une dizaine de kilomètres au SSW d'Aiguebelle en rive gauche de l'Arc à l'entrée de la vallée de la Maurienne. Ce district minier appartient au domaine externe des Alpes occidentales lui-même composé des Massifs Cristallins Externes et de leur couverture (zone dauphinoise) de roches sédimentaires (Vivier *et al.*, 1987 ; Menot, 1988 ; Bonin *et al.*, 1993). Les Massifs Cristallins Externes, constitués de roches métamorphiques et granitiques, sont partagés en deux rameaux (externe et interne) par l'Accident Médian (figure 1), profonde cicatrice tectonique (Dondey, 1960).

Le Massif de Belledonne forme l'ossature des Massifs Cristallins Externes entre l'Arc et la Romanche. Il est riche de plusieurs milliers d'indices minéralisés (sulfures et carbonates) qui ont constitué depuis l'antiquité une réserve naturelle (fer et cuivre) pour les ateliers métallurgiques disséminés sur le pourtour du Massif et en grande partie disparus aujourd'hui. Les indices sont irrégulière-

ment distribués de Vizille à Aiguebelle ; ils disparaissent au nord de la vallée de la Maurienne mais se poursuivent, au sud, sur le plateau de la Matheysine. Trois districts miniers, où les minéralisations ont des caractères physico-chimiques homogènes, ont été définis dans le Massif de Belledonne (Ducros, 1974) ; il s'agit des provinces d'Aiguebelle-Hurtières, d'Allevard et de Vizille.

Les filons minéralisés des Hurtières correspondent à des zones très fracturées et sont sécants sur la schistosité principale d'une épaisse et monotone série de séricito-chloritoschistes, d'aspect luisant, formant la Série Satinée. Les indices et filons minéralisés ainsi que les exploitations sont concentrés dans le Rameau Externe (exclusivement dans la Série Satinée et jamais dans le Lias des collines bordières) à quelques exceptions près (Argentine, dans l'Accident Médian, Articol) situées toujours à proximité d'accidents tectoniques majeurs (Cabrol, 1967). Homogène par rapport à ses voisins d'Allevard et Vizille, le district minier d'Aiguebelle-Hurtières est caractérisé par la présence de sidérite dont les teneurs en magnésium sont inférieures à 2.4% et

* CRPG-CNRS et ENSG-INPL, BP20 54501 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex, France.

** Département de Minéralogie, Université de Genève, rue des Maraîchers 13, 1211 Genève 4, Suisse.

*** LGCA-CNRS, 73376 Le Bourget-du-Lac Cedex, France.

contenant de 2 à 4 fois plus de manganèse qu'à Allevard et 3 à 6 fois plus qu'à Vizille.

L'âge des dépôts (Dinantien, Paléozoïque inférieur ou Briovérien), des métamorphismes et des déformations superposées de cette Série Satinée ont longtemps été discutés comme l'ont été les relations structurales entre les Rameaux Externes et Internes de part et d'autre de l'Accident Médian (Bordet, 1961 ; Carme, 1970 ; Siméon, 1979). Le caractère polyphasé de cette série a été clairement reconnu par les auteurs sans que ne soient véritablement identifiées l'importance des différentes phases et leur cinématique en particulier la cinématique alpine. Le but de ce travail est de faire le point sur les données existantes et les données nouvelles (métallo géniques, structurales et géochronologiques) sur la Série Satinée et de proposer une nouvelle vision de cette formation dans le cadre ouest-européen.

1. Cadre géologique régional

Le Massif de Belledonne résulte de la juxtaposition, par collision, de divers domaines structuraux ± internes (plus à l'est) par rapport à leur position actuelle. La nature lithologique et structurale de ces domaines est relativement homogène. Le rapprochement de ces ensembles géologiques s'est fait, au Miocène, à la faveur de grands accidents tectoniques. L'Accident Médian en est un exemple, il a fonctionné en chevauchement au moins pendant les phases les plus tardives liées à l'exhumation des Massifs Cristallins Externes. En effet, le long de cet accident et à au moins 1250 m sous la surface topographique (galerie Arc-Isère) du Trias et du Lias se trouvent pincés et plissés, entre des terrains paléozoïques d'où l'ancienne appellation de "Synclinal médian".

Le Rameau Interne représente la majeure partie du Massif de Belledonne entre l'Accident Médian à l'ouest et les failles bordières de l'est. Il est composé de roches métamorphiques et granitiques organisées en un certain nombre d'ensembles : schistes verts de la "Série Verte", gneiss et amphibolites de la "Série Brune", granite des Sept Laux-Epierre, Complexe granitique de Saint Colomban-Lauzière, représentés dans la figure 1. Le Rameau Externe est constitué des schistes de la Série Satinée qui sont, à l'ouest, en contact par faille avec les formations sédimentaires de la couverture. Ces formations de couverture, d'âge triasique à jurassique moyen, sont empilées en de vastes plis couchés vers l'ouest (figure 1C). De petites lentilles de carbonate triasique surmontent la Série Satinée au faite de la Chaîne des Hurtières.

Les schistes de Feissons-sur-Isère (figure 1B) qui appartiennent au Rameau Interne, ont longtemps été apparentés à ceux de la Série Satinée (Bordet, 1961). Il s'avère en fait qu'ils en sont très différents tant du point de vue lithologique (présence de conglomérats, de grau-wackes s. st.), que du point de vue structural (moins de phases tectoniques) (Siméon, 1979 ; Gasquet *et al.*, 1981).

2. Les minéralisations de St-Georges-d'Hurtières

2.1. Structure et paragenèse

Cinq phases de minéralisation sont reconnues à St-Georges-d'Hurtières, les quatre premières sont encaissées par la Série Satinée. La minéralisation la plus précoce et la plus abondante constitue les veines massives de sidérite (FeCO_3) riche en manganèse (*cf.* analyses n° 1982 et 2109 dans l'article de A. Ploquin "Les scories..." dans ce volume). L'observation au microscope de cette dernière montre des macles courbes qui indiquent que cette veine a subi une déformation synmétamorphique. Cette sidérite précoce est suivie de quartz et, dans la partie supérieure du gisement, par de la barytine (BaSO_4). La veine de sidérite est discordante sur la schistosité de la Série Satinée et est découpée par le réseau de failles alpines. De plus, aucune altération de la roche encaissante n'est visible. Ces trois premiers stades de minéralisation sont probablement varisques (Carbonifère, ca. 300Ma).

Le quatrième stade est composé de filons de quartz qui peuvent être riches en sulfures (*cf.* analyses n° 2147 et 2148 dans l'article de A. Ploquin "Les scories..." dans ce volume) : pyrite (FeS_2), chalcopyrite (CuFeS_2) et galène (PbS) principalement. Ces filons de quartz recoupent la veine de sidérite, et à leur contact cette dernière est remplacée par de l'ankérite (Fe, Mg, CaCO_3). Aucune relation n'a pu être observée entre la barytine et les filons de quartz riches en sulfures. La mise en place de ces derniers est contrôlée par les failles alpines, ils sont donc probablement du même âge (Tertiaire, moins de 60Ma).

La cinquième minéralisation consiste en de petits filons décimétriques de barytine et de quartz à galène encaissés dans les lentilles de Trias coiffant la crête de la Chaîne de Hurtières. Les relations entre ces minéralisations et le gisement de St-Georges d'une part et entre les deux types de veines d'autre part, sont ambigus.

2.2. Isotopes du strontium

Le strontium est constitué de trois isotopes ni radioactifs ni radiogéniques (^{84}Sr , ^{86}Sr et ^{88}Sr) et de l'isotope ^{87}Sr issu de la désintégration du ^{87}Rb . Une roche possédant du Rb et du Sr, comme celles de la "Série Satinée", aura donc un rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ qui augmentera avec le temps. Si le Sr est un élément qui peut être incorporé dans la sidérite (FeCO_3) et se substituer au barium de la barytine (BaSO_4), le Rb est un atome qui en est pratiquement exclu de par sa taille. Lors du processus de formation du gisement, la sidérite et la barytine ont acquis la composition $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ qui était celle de leur fluide minéralisateur. Le Rb étant exclu de leur structure, ce rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ n'a pas évolué avec le temps et constitue un enregistrement du fluide initial.

Les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de la sidérite (0.71900 à 0.72133) et de la barytine varisque (0.71391 à 0.72008) sont compatibles avec la composition de la Série Satinée

durant l'orogénèse varisque (figure 2). Cela suggère d'une part que le fluide a circulé au travers de la Série Satinée, et d'autre part cela confirme un âge varisque pour les trois premiers stades de minéralisation, sidérite-quartz-barytine. L'évolution du rapport 1/Sr en fonction de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des barytines indique un probable mélange entre du strontium lessivé de la Série Satinée et du strontium qui pourrait provenir du Granite des Sept Laux (ou d'un granite équivalent non visible aujourd'hui à l'affleurement), des carbonates ou encore de l'eau de mer.

Les ankérites tardives ont des rapports isotopiques de Sr allant de 0.72560 à 0.72787 (figure 2) et tombent entre le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des sidérites et celui de la Série Satinée durant l'orogène alpin. La composition isotopique des ankérites résulte donc probablement du mélange des deux sources et confirme l'âge alpin des filons de quartz riches en sulfures associés à la formation de l'ankérite.

Les barytines encaissées dans le Trias ont des rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ compris entre 0.72219 et 0.72599 (figure 2). Elles sont distinctes des barytines associées à la sidérite et appartiennent donc à un événement hydrothermal distinct. La covariation 1/Sr en fonction de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ montre que leur composition isotopique est un mélange de Sr radiogénique provenant de la Série Satinée durant l'orogénèse alpine et de Sr moins radiogénique issu du Trias encaissant.

3. Pétrographie, géochimie et métamorphismes de la Série Satinée

Les schistes de la Série Satinée sont épais de plusieurs milliers de mètres (Bordet, 1961 ; Gasquet, 1979) et les minéraux principaux (séricite et/ou chlorite) qui les constituent leur ont donné un aspect luisant et satiné à l'origine du nom de la formation. Ces schistes comportent, toutefois, quelques variations minéralogiques et peuvent être plus ou moins quartzeux, albitiques, amphiboliques, graphiteux, charbonneux. Les niveaux les plus quartzo-feldspathiques sont parfois épais de plusieurs dizaines de mètres et forment relief dans la morphologie. La présence, plus rare, de calcite, sidérite, pyrite, leucocène, tourmaline a également été relevée en plusieurs points de Belledonne. Quelques rares passées gréseuses et quelques niveaux amphiboliques décimétriques à décamétriques sont intercalés dans la série sédimentaire initiale comme par exemple à proximité du Lac Noir dans le Massif du Grand Arc. En outre, une caractéristique commune à tous les schistes de la Série Satinée est la présence de nombreux filons ou lentilles de quartz qui peuvent être soit plissés comme les schistes et correspondre à des exsudats précoces, soit sécants sur les plis et représenter des filons tardifs.

La composition chimique de ces schistes varie assez fortement (tableau 1) depuis un pôle gréseux jusqu'à un pôle pélitique (figure 3) (Gasquet *et al.*, 1981). D'autres roches sont clairement d'anciennes roches magmatiques

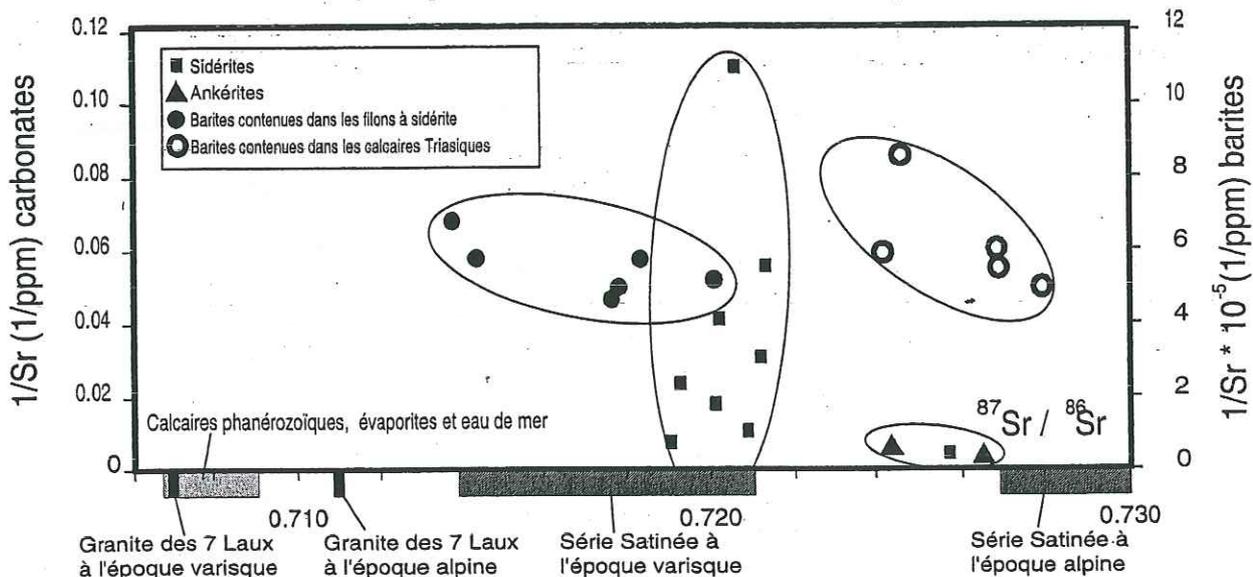


Fig. 2 — Diagramme 1/Sr en fonction du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Pour les carbonates, ces rapports sont corrigés en fonction de leur teneur en Rb.

comme le métagabbro du Lac Noir. D'autres, enfin, pourraient correspondre à des roches sédimentaires immatures de type grauwackes ou arkoses.

Ces faciès pourraient dériver (Bordet, 1961) d'anciens flyschs comme ceux qui se déposent actuellement dans les deltas sous-marins profonds. L'âge de dépôt des schistes de la Série Satinée n'est pas, à ce jour, précisé : Protérozoïque pour Carme (1970), Paléozoïque inférieur pour Siméon (1979) ou Paléozoïque supérieur pour Bordet (1961).

Les sédiments à l'origine de ces schistes ont été affectés postérieurement à leur dépôt et leur diagenèse d'au moins deux phases de métamorphisme schistes verts (à muscovite, albite, épidote, chlorite actinote...) avec, pour la première phase, début d'apparition de la biotite (peu fréquente) et de grenat (une seule occurrence identifiée dans tout le massif). L'examen, au microscope, des schistes albitiques (figure 4) révèle le polymétamorphisme : de l'albite secondaire (Ab2) cristallise autour de l'albite de la première phase (Ab1).

4. Structure de la Série Satinée et de l'Accident Médian

L'étude récente, dans le cadre du programme géologique Géo-France 3D, d'une série de coupes E-O, depuis Albertville au nord jusqu'à Allevard au sud, montre que les schistes de la Série Satinée ont acquis une schistosité intense pendant une phase tectonique ancienne (lors de l'orogénèse hercynienne). Cette schistosité est elle-même plissée comme on peut l'observer, par exemple, dans les environs de St-Georges (figure 4C) et dans les galeries de

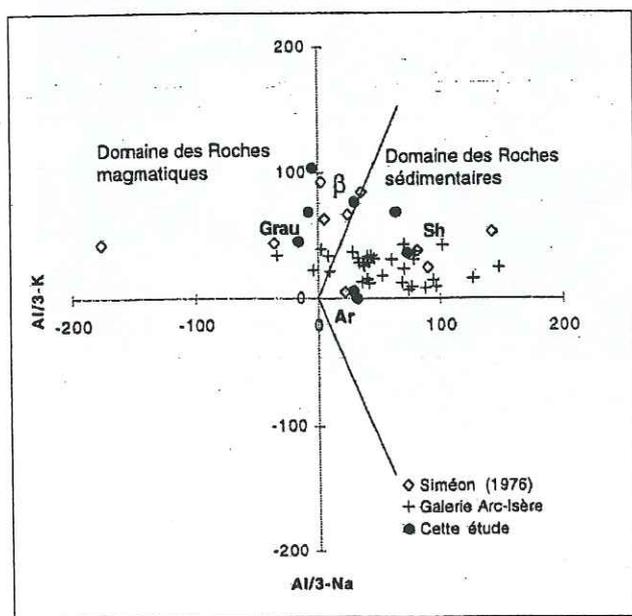


Fig. 3 — Diagramme $(Al/3 - K) = f(Al/3 - Na)$, de La Roche (de) (1972) qui met en contraste les domaines magmatiques et sédimentaires et qui montre la grande diversité de composition des schistes de la Série Satinée. Ar, Grau, Sh et B aires de répartition des arkoses, grauwackes, shales et basaltes respectivement.

mines. Ces plissements, probablement anté-alpins, sont accompagnés d'une schistosité de dissolution associée (figure 4D) et indiquent un raccourcissement général des ensembles lithologiques selon une direction SE-NW. Les axes des plis sont subhorizontaux à faible plongement vers le NNE (figure 5).

La tectonique alpine est visible dans la Série Satinée à proximité de l'Accident Médian sur quelques dizaines à quelques centaines de mètres. Elle est matérialisée par une cataclase ou une schistosité phyllonitique NNE-SSW (figures 4B et 5) à pendage variable (30 à 70°E). En outre, de nombreux cisaillements de faible pendage à vergence ouest et des décrochements visibles un peu partout dans le Rameau Externe peuvent être attribués à la tectonique alpine (figure 4C).

Ech.	96,2	96,7	96,11	96,16	98,5	98,6
SiO2	50,89	86,58	65,23	73,20	47,38	44,04
Al2O3	17,04	6,02	17,98	13,08	17,07	13,51
Fe2O3	11,75	1,53	5,51	3,85	10,68	16,35
MnO	0,19	0,03	0,03	0,02	0,15	0,23
MgO	5,23	0,44	1,57	1,40	6,84	6,69
CaO	3,24	0,11	0,07	0,21	8,58	7,06
Na2O	2,51	0,21	1,38	3,16	3,60	2,99
K2O	1,63	1,84	3,82	1,88	0,38	0,94
TiO2	2,95	0,52	0,88	0,65	2,14	5,17
P2O5	0,52	0,00	0,17	0,12	0,45	0,42
Pf	3,85	1,25	3,19	2,23	2,66	2,54
Total	99,80	98,53	99,83	99,80	99,93	99,94
Ba	518	282	607	641	301	164
Cr	77	21	76	61	204	21
Cu	49	3	20	12	24	75
Nb	44	9	16	12	30	35
Ni	39	6	24	24	69	40
Pb	8	10	10	17	5	8
Rb	46	71	184	73	15	29
Sr	368	14	65	77	609	333
Th	4	13	14	13	4	3
U	1,2	2,2	2,0	2,7	0,8	0,7
V	213	31	103	57	201	521
Y	28,5	19,6	22,8	20,0	24,4	28,6
Zn	118	18	62	57	106	167
Zr	243	405	214	285	181	234
La	38,5	33,8	44,8	36,5	24,7	26,8
Ce	82,2	67,8	91,1	77,1	52,7	59,9
Pr	10,2	7,3	10,2	8,2	6,4	7,7
Nd	39	27	36	31	27	31
Sm	8,5	5,4	6,6	5,4	5,6	6,9
Eu	3,0	0,9	1,5	1,4	2,0	2,3
Gd	7,8	4,3	5,5	4,4	5,5	6,3
Tb	1,0	0,6	0,7	0,6	0,8	1,0
Dy	6,1	3,5	4,3	3,5	4,6	5,3
Ho	1,4	0,7	1,0	0,8	0,9	1,0
Er	2,9	1,9	2,3	1,9	2,3	2,6
Tm	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Yb	2,3	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1
Lu	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
Nb	44	9	16	12	30	35

Tableau 1 — Exemples d'analyses chimiques.

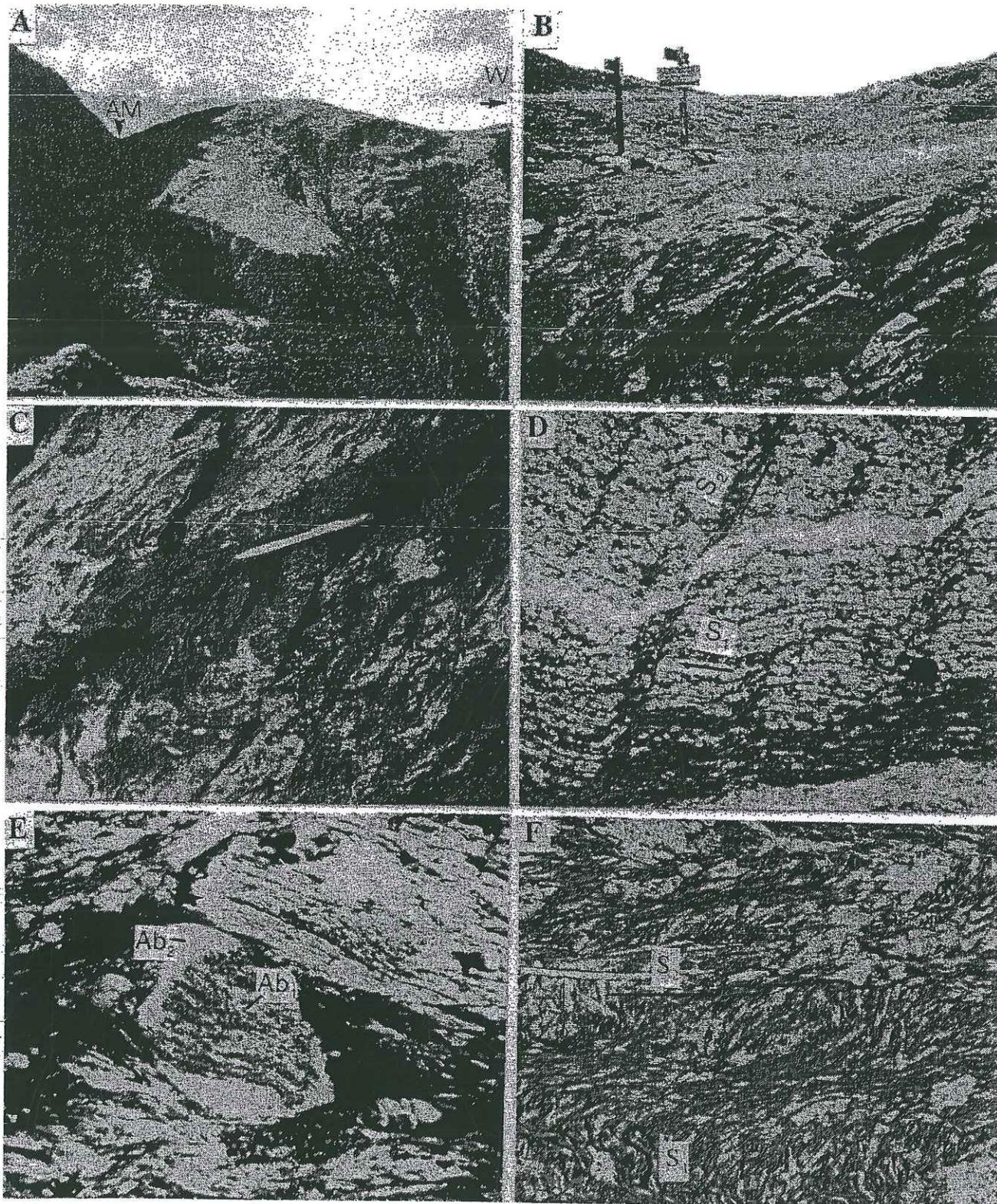


Fig. 4 — A : Passage de l'Accident Médian (AM) au Col de la Perche séparant le granite des Sept Laux à gauche (Est) de la Série Satinée à droite (ouest : Grande Montagne de Presles) ; B : schistosité phyllonitique à pendage faible ($<30^\circ$) vers l'est (Col de la Perrière) ; C : Cisaillement plat tardif (alpin) souligné par le stylo, à vergence nord-ouest, recoupant les plis hercyniens (environs de St-Georges-d'Hurtières) ; D : Schistosité de dissolution, S2, recoupant la schistosité S1 elle-même confondue avec le litage initial (d'origine sédimentaire ?) ; E : auréole d'albite secondaire (Ab2) cristallisant autour d'albites (Ab1) qui "fossilisent" la S1 ; F : microstructures des chloritoschistes : la schistosité S2 recoupe la schistosité S1 plissée. La longueur des photos D, E, F représente 2 mm.

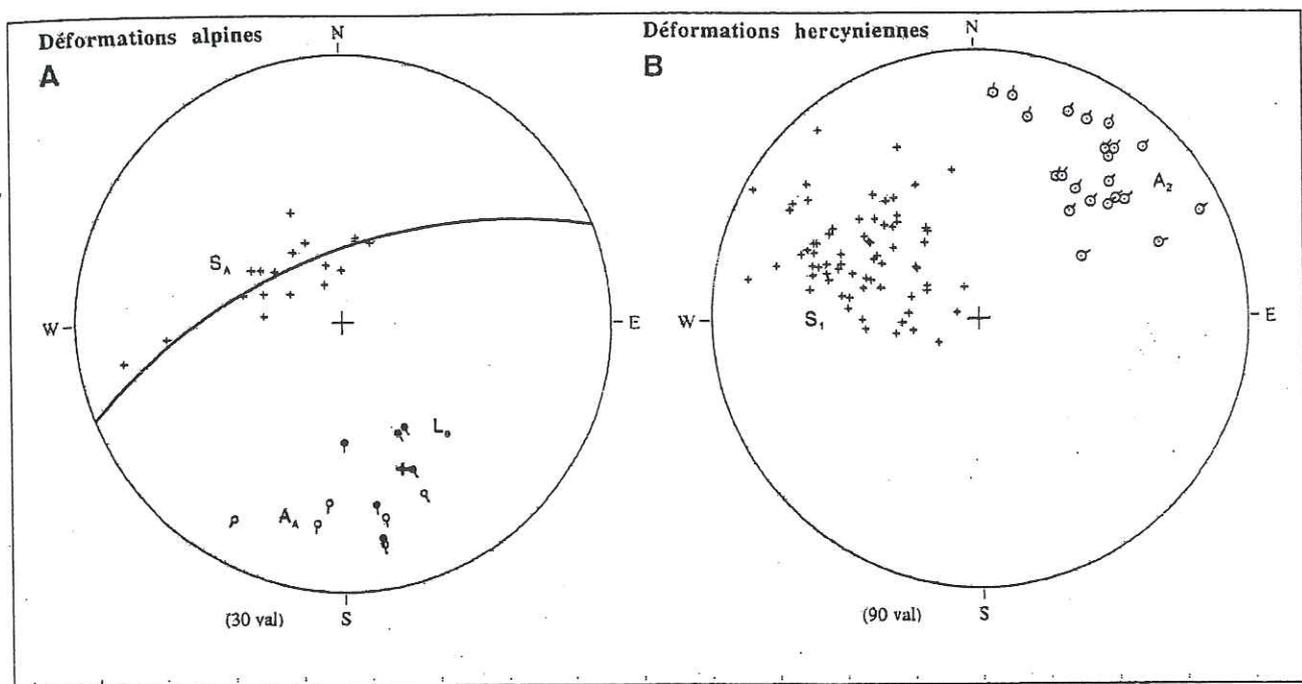


Fig. 5 — A. Dispersion de la schistosité alpine (SA), observée dans l'accident médian ou à proximité ainsi que dans la couverture mésozoïque, par des plis d'axes (AA) NS (accompagnés d'une linéation Le subparallèle aux axes). B. Dispersion des pôles des plans de schistosité S1 par les plis de deuxième phase (d'axes A2). Diagrammes de Schmidt, (hémisphère inf.).

5. Age des dépôts de la Série Satinée

Des zircons provenant d'un échantillon de chloritischistes prélevé à proximité du Col de la Perrière (Val Pelouse) ont été étudiés au Microscope Electronique à Balayage. Ils montrent des structures complexes indiquant un polyphasage et des formes arrondies. Il s'agit donc de zircons détritiques. Analysés à la microsonde ionique (SHRIMP, Perth), ils ont fourni un premier groupe d'âge U/Pb situé aux environs de 600 Ma (12 zircons homogènes) et un deuxième autour de 1 Ga (figures 6 et 7). En outre, 3 zircons ont donné des âges plus anciens respectivement à environ 1.6 Ga, 3.0 Ga et 3.4 Ga. Aucun zircon plus jeune que 550 Ma n'a été daté ce qui indique qu'un socle néoproterozoïque a été érodé et est à l'origine des sédiments de la Série Satinée. Les groupements d'âge sub-concordants suggèrent qu'il y ait eu plusieurs sources détritiques spécifiques et/ou plusieurs recyclages à l'origine des sédiments de la Série Satinée. Un âge post panafricain (zircons les plus jeunes datés) et ante carbonifère, correspondant à l'âge de mise en place du granite des Sept Laux (332 ± 13 Ma, Debon *et al.*, 1994) réputé plus jeune que la Série Satinée, peut être envisagé pour le dépôt des sédiments flyschoides. Cet âge, paléozoïque inférieur probable, pourrait être confirmé par la datation, en cours, des métagabbros du Lac Noir inter-stratifiés dans les schistes.

Conclusion

L'observation des relations filoniennes et les isotopes de Sr indiquent que le gisement polymétallique de St-Georges-d'Hurtières est le résultat du télescopage d'au moins deux événements hydrothermaux : (i) un événement sidérite-quartz-barytine d'âge varisque résultant probablement d'un mélange de fluides, et (ii) un événement quartz-sulfures d'âge alpin (Beuchat, 1999). Les petits filons de barytine encaissés dans le Trias sont d'âge alpin sans qu'il soit possible de préciser s'ils sont en relation avec les filons de quartz riches en sulfures présents dans la mine de St-Georges-d'Hurtières (Beuchat, 1999).

En ce qui concerne la Série Satinée, qui encaisse les minéralisations de St-Georges-d'Hurtières, les âges obtenus sur des zircons détritiques indiquent que la sédimentation est probablement d'âge Paléozoïque inférieur et résulte de l'érosion d'un socle Protérozoïque. Des âges voisins ont été obtenus, également sur des zircons détritiques, pour des séries métamorphiques du nord de la Bavière et de la Montagne Noire (Gebauer *et al.*, 1989). Les groupements d'âges sont comparables (figure 7), on peut donc supposer que les socles à l'origine de ces sédiments étaient semblables. Ces âges évoquent également les spectres d'âges publiés en Scandinavie et en Écosse (*cf.* revue dans Ploquin, 1980).

La série des Schistes des Cévennes a souvent été com-

parée à la Série Satinée (Carme, 1971). Aucun âge n'ayant été proposé pour celle-ci, rien ne permet de dire aujourd'hui que ces deux séries se sont déposées en même temps même si de nombreux points de convergence existent du point de vue lithologique et structural (Araud, 1997). Il en est de même pour les schistes de Steige dans les Vosges qui présentent une grande analogie lithologique avec les schistes de la Série Satinée.

L'ensemble de ces résultats montre que la Série Satinée et les minéralisations qu'elle contient ont une histoire polycyclique et que la partie ante-alpine de cette histoire est très comparable à celle d'autres segments de la chaîne varisque ouest-européenne.

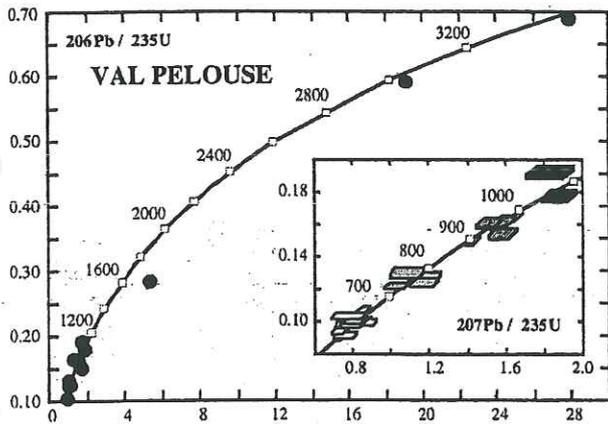


Fig. 6 — Diagramme Concordia des zircons détritiques de la Série Satinée.

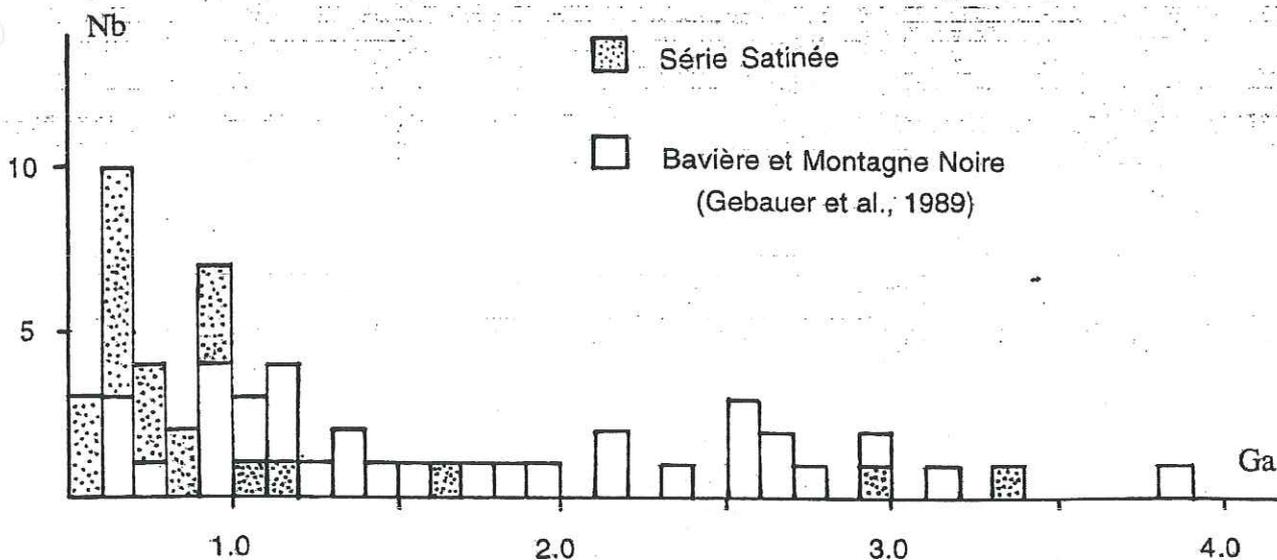


Fig. 7 — Histogrammes des âges des zircons détritiques de Série Satinée comparés à ceux obtenus sur des zircons de métasédiments de la Montagne Noire et du nord de la Bavière par Gebauer *et al.* (1989).

Bibliographie

- ARNAUD (F.), 1997 : *Analyse structurale et thermo-barométrique d'un système de chevauchements va-risque : les Cévennes centrales (Massif central français). Microstructures et mécanismes de déformation dans les zones de cisaillement schisteuses*. Thèse université INPL Nancy, 249 p. (+ annexes).
- BEUCHAT (S.), 1999 : *Le gisement polymétallique de St-Georges-d'Hurtières, Savoie, France : le télescope de plusieurs événements hydrothermaux ?* Diplôme de l'Université de Genève.
- BONIN (B.), BEANDLEIN (P.), BUSSY (F.), DESMONS (J.), EGGENBERGER (U.), FINGER (F.), GRAF (K.), MARRO (C.), MERCOLLI (I.), OBERHANSLI (R.), PLOQUIN (A.), VON QUADT (A.), VON RAUMER (J.), SCHALTEGGER (U.), STEYRER (H.P.), VISONA (D.) & VIVIER (G.), 1993 : Late Variscan magmatic evolution of the Alpine basement. *Pre-Mesozoic geology in the Alps*. J. Von Raumer and F. Neubauer (Eds). Berlin, Springer Verlag, 171-201.
- BORDET (C.), 1961 : *Recherches géologiques sur la partie septentrionale du Massif de Belledonne (Alpes françaises)*. Mém. Carte géol. France, 212 p. (+ annexes).
- CABROL (B.), 1967 : *Étude géologique et minière du Massif des Hurtières : Chaîne de Belledonne (Savoie)*. Thèse 3ème cycle, Université de Grenoble, 134 p.
- CARME (F.), 1970 : Age Briovérien probable de la majeure partie des séries supposées dévono-dinantiennes et existence d'un cycle orogénique ante-hercynien sans doute cadomien dans la chaîne de Belledonne. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 271, Série D, 8, 696-699.
- CARME (F.), 1971 : Données microstructurales pour une corrélation possible entre les massifs cristallins externes et les Cévennes septentrionales. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 273, Série D, 2038-2041.
- DEBON (F.), COCHERIE (A.), MENOT (R-P.), VIVIER (G.) & BARFETY (J-C.), 1994 : Datation du plutonisme magnésien varisque des massifs cristallins externes des Alpes : l'exemple du granite des Sept Laux (massif de Belledonne, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, t. 318, série II, 1497-1504.
- DONDEY (D.), 1960 : Contribution à l'étude de la série cristallophyllienne et de la couverture sédimentaire de la chaîne de Belledonne méridionale (Alpes françaises). *Travaux du Laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences de Grenoble*, 36, 285-368.
- DUCROS (J-B.), 1974 : *Étude géologique et géologique du massif d'Allevard (Chaîne de Belledonne, Savoie)*. Thèse 3ème cycle, Université de Grenoble, 180 p.
- GASQUET (D.), 1979 : *Étude pétrologique, géochimique et structurale des terrains cristallins de Belledonne et du Grand Châtelard traversés par les galeries E.D.F. Arc-Isère (Alpes françaises)*. Thèse 3ème cycle Université de Grenoble, 207 p. (+ annexes).
- GASQUET (D.), GIRAUD (P.), PLOQUIN (A.) & VIVIER (G.), 1981 : Géochimie de mylonites et relations entre les rameaux internes et externes de Belledonne (Alpes françaises). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 292, Série II, 607-610.
- GEBAUER (D.), WILLIAMS (I-S.), COMPSTON (W.) & GRÜNENFELDER (M.), 1989 : The development of the Central European continental crust since the Early Archean based on the conventional old ion-microprobe dating of up to 3.84 b.y. old detrital zircons. *Tectonophysics*, 157, 81-96.
- LA ROCHE (H. De), 1972 : Revue sommaire de quelques diagrammes chimico-minéralogiques pour l'étude des associations ignées ou sédimentaires et de leurs dérivés métamorphiques. *Sciences de la Terre*, XVII, 1-2, 31-46.
- MENOT (R-P.), 1988 : The geology of the Belledonne massif : an overview (External crystalline massifs of the Western Alps). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 68, 531-542.
- PLOQUIN (A.), 1980 : *Étude géochimique et pétrographique du Complexe de gneiss, migmatites et granites du Telemark - Aust Agder (Précambrien de Norvège du Sud). Sa place dans l'ensemble épizonal à catazonal profond du Haut Telemark au Bamble*. Mémoires des Sciences de la Terre, Nancy, -38, 389 p. (+ annexes).
- SIMEON (Y.), 1979 : *Étude pétrologique ; géochimique et structurale des terrains cristallins de Belledonne entre l'Arc et l'Isère (Alpes françaises)*. Thèse 3e cycle, Université de Grenoble, 224 p. (+ annexes).
- VIVIER (G.), MENOT (R-P.) & GIRAUD (P.), 1987 : Magmatismes et structuration orogénique paléozoïques de la chaîne de Belledonne (massifs cristallins externes). Le domaine sud-occidental. *Géologie Alpine*, 63, 25-53.