HAL
open science

Le district aurifère de Challant (Val d'Aoste-Italie) : gîtologie, géochimie et métallogénie de l'or

Annick Richard

To cite this version:

Annick Richard. Le district aurifère de Challant (Val d'Aoste-Italie) : gîtologie, géochimie et métallogénie de l'or. Géologie appliquée. Universite Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981. Français. NNT : . tel-00741254

HAL Id: tel-00741254

https://theses.hal.science/tel-00741254v1

Submitted on 12 Oct 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GEOLOGIE GRENOBLE UJF
D 050 030893 9

RICHARD (A.)
Ex. n° I
Vol. I

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPÉCIALITÉ

Géologie appliquée
Option : Pétrologie - Métallogénie

LE DISTRICT AURIFERE DE CHALLANT (VAL D'AOSTE - ITALIE) : GITOLOGIE, GÉOCHIMIE ET MÉTALLOGÉNIE DE L'OR

- 6 MAI 1981

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76). 87.46.43

par Annick RICHARD

Thèse de 3e cycle soutenue le 25 avril 1981 devant la Commission d'Examen

MM.	R.	MICHEL	Professeur U.S.M.G.	Président
	H.	DABROWSKI	Maître Assistant U.S.M.G.	Rapporteur
	P.	GIRAUD	Professeur U.S.M.G.	Examinateur
Mme	A.M.	ANDRÉANI	Ingénieur au C.E.N.G.	Examinateur
MM.	G.	ELTER	Directeur de Recherche C.N.R.I. Turin	Examinateur
	M.	MASOLI	Professeur à l'Université de Trieste	Examinateur

Je dédie cette thèse à Georges, Andrée,

Florindo, Giovanni et Mirella.

REMERCIEMENTS

J'exprime ma gratitude à Monsieur le Gouverneur et au Gouvernement de la Région Autonome de la Vallée d'Aoste, à la municipalité et aux habitants de Challant Saint-Anselme, au laboratoire d'Analyses Physico-chimiques du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble et à l'Institut Dolomieu, pour m'avoir permis de réaliser cette étude.

Monsieur le Professeur R. Michel a bien voulu s'intéresser à ce travail et me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse. Je l'en remercie sincèrement.

Je suis reconnaissante à Messieurs les Professeurs R. Compagnoni et G. Elter de la faculté de Turin et M. Masoli de la faculté de Trieste pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette étude et pour avoir bien voulu accepter de juger ce travail.

Je remercie Monsieur le Professeur P. Giraud d'avoir accepté de participer au jury.

C'est grâce à Monsieur le Professeur H. Dabrowski que j'ai pu entreprendre cette étude ; il a pris le temps de m'apporter son aide et d'accepter les discussions même contradictoires. Qu'il en soit sincèrement remercié.

Madame Andréani a porté un intérêt constant à mon travail ainsi qu'un appui moral essentiel ; aussi je ne la remercierai jamais assez pour avoir guidé mes premiers pas dans la vie professionnelle.

Que tous ceux qui par leur accueil, leur aide et leur collaboration ont facilité mon travail, soient ici cordialement remerciés. Je ne saurais les citer tous.

RESUMÉ

Dans la province aurifère du Mont Rose, le district de Challant représente une entité géologique calquée sur l'îlot de gneiss paléozoïques d'Arcesa entouré par la nappe des Schistes Lustrés à ophiolites ; le district s'étend au Sud de l'accident majeur de Ranzola, limitant les gneiss dans leur partie Nord.

Il s'agit de filons épigénétiques dont la mise en place se serait effectuée entre 50 et 30 Ma. Ces filons, au nombre d'une centaine, sont soit de type à quartz et or natif, pauvres en sulfures (type Fenillaz à teneur en or moyenne de 12 g/t), soit de type à quartz et pyrite (type Béchaz à teneur en or moyenne de 7g/t). Les réserves en or probables sont estimées à 1 t et les réserves possibles à 5 t.

L'utilisation de différentes méthodes d'analyse (dont la spectrométrie de masse à étincelles) permet de dresser l'inventaire des éléments majeurs, mineurs et en traces présents dans les gneiss, lesquartz filoniens, l'or natif, les listvénites et les pyrites provenant de filons différents. Il est possible de différencier les pyrites aurifères des non aurifères par leur composition en éléments en traces. Quelques éléments, dont Sb, As, Ag, Cu, Hg, Pb, Bi, Te seraient susceptibles d'être accompagnateurs de l'or dans ce district, et leur utilisation en prospection systématique en sols est proposée pour l'avenir.

La synthèse des données géologiques, gîtologiques et géochimiques permet d'envisager pour l'or du district de Challant une origine par secteur métamorphique.

RIASSUNTO

Nella provincia aurifera del Monte Rosa, il distretto di Challant è un unità geologica copiando l'isola dei gneiss paleozoiche di Arcesa, circondata con la falda piemontese dei calcescisti con pietre verdi ; il distretto si sviluppa verso sud della granda faglia di Ranzola, limitando i gneiss a nord.

Ci sono filoni epigenetici tipici ; la loro età di formazione sarebbe compresa fra 50 e 30 Ma. Questi filoni, in numero dicento, appartengono sia al tipo quartzo e oro nativo, con pocchi solfuri (tipo Fenillaz con tenore media di oro di 12 g/t), sia al tipo quartzo e pirite(tipo Béchaz con tenore media di oro di 7 g/t). Le riserve probabile sono valutate 1 t, e le riserve possibile 5 t.

L'uso di diversi metodi dianalisi (di cui spettrografia di massa a scintilla), permette di compilare l'inventario degli elementi maggiori, minori e tracce presenti negli gneiss, quartzi filoniani, oro nativo, listveniti, e pirite da diversi filoni. La composizione in elementi-tracce delle pirite aurifere è diversa dalla quella delle pirite sterile. Qualcuni elementi, tra cui Sb, As, Ag, Cu, Hg, Pb, Bi, Te, potrebbero essere indicatori del' oro di Challant ; il loro uso nella prospezione sistematica negli suoli è proposito per il futuro.

Gli dati della geologia, dello studio dei giacimenti e della geochemica permettono di considerare per l'oro dei distretto di Challant, un origine metamorfica.

Abstract

In the auriferous Monte Rosa Province, the Challant district appears as a geological unit and is situated near the Arcesa island. These rocks are paleozoic gneiss surrounded by the Piemonte ophiolite nappe. The district extends South of Ranzola major fault which is the North limit of gneiss.

They are typical epigenetic lodes : it may be assumed that their period of deposition fell between 50 and 30 My. It is possible to range the hundred of deposits in two types :

. quartz, native gold and low sulfides (mean gold grade 12 g/t),
. quartz and pyrite (mean gold grade 7g/t).

We may assume that the gold stores equal at least 1 t, and possibly even 5 t.

Various analytical methods have been used such as Spark Source Mass Spectrometry ; we have studied all elements (major, minor and trace) in gneiss, quartz, native gold, listvenites and pyrites coming from differents deposits. Auriferous pyrites are easily distinguished from non auriferous pyrites on the basis of trace elements. In this district, some trace elements such as Sb, As, Ag, Cu, Hg, Bi, Te may be gold indicators and their use in systematic soil prospection is proposed.

From geological, ore deposit and geochemical data, a secretion metamorphic origin for gold of the Challant district is discussed.

Table des matières

Avant-Propos 1

Introduction 2

Chapitre 1 - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Les minéralisations aurifères des Alpes occidentales italiennes 5
1.1.1. Situation et gîtologie 5
1.1.2. Place dans la typologie des gisements d'or 5

1.2. Géochimie et métallogénie de l'or 6
1.2.1. Données cristallochimiques 6
1.2.2. Abondance de l'or dans les roches 7
1.2.3. Minéraux d'or et minéraux associés dans ses gisements 8
L'or natif 8
Les minéraux associés à l'or 9
1.2.4. Eléments associés à l'or dans ses gisements 10
Groupe I A : H, Li, Na, K, Rb, Cs 10
Groupe I B : Cu, Ag 10
Groupe II A : Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra 10
Groupe II B : Zn, Cd, Hg 11
Groupe III A : B, Al, Ga, In, Il 11
Groupe III B : Sc, Y,TR, Th, U 11
Groupe IV A : C, Si, Ge, Sn, Pb 11
Groupe IV B : Ti, Zr, Hf 11
Groupe V A : N, P, As, Sb, Bi 11
Groupe V B : V, Nb, Ta 12
Groupe VI A : S, Se, Te 12
Groupe VI B : Cr, Mo, W 12
Groupe VII A : F , Cl, Br, I 12
Groupe VII B : Mn, Re 12
Groupe VIII : Fe, Co, Ni, platinoïdes 12
1.2.5. Processus d'altération des épontes liés aux gîtes aurifères épigénétiques 13
1.2.5.1. Altération des épontes associée aux veines quartzo-aurifères dans des roches extrusive et intrusive basiques (type Yellowknife) 13
1.2.5.2. Listvénitisation 15
1.2.6. Origines de l'or et de ses éléments associés 17
1.2.6.1. Origine abyssale 17
1.2.6.2. La différenciation magmatique 17
1.2.6.3. Sécrétion 18
1.2.7. Théorie de la sécrétion métamorphique 18
1.2.7.1. Mécanismes de migration et de concentration de l'or. 18
1.2.7.2. Un modèle de sécrétion métamorphique de l'or : le district de Yellowknife (Canada) 19
1.2.8. Synthèse partielle 20

1.3. Conclusions 20

Univ. J. Fourier - O.S.U.G. MAISON DES GEOSCIENCES DOCUMENTATION B.P. 53 GRENOBLE CEDEX F. 38041 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58 Mail : ptaloun@ujf-grenoble.fr 30 AOUT 2002

CHAPITRE 2 - CONTEXTES GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE

2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE 23

2.1.1. Carte géologique et cartographie 23
2.1.2. Pétrographie 24
2.1.2.1. Rappels bibliographiques 24
2.1.2.2. Description des principaux types de roches 25
2.1.2.2.1. Les gneiss oeillés 25
2.1.2.2.2. Les roches du complexe "gneiss minuti" 26
2.1.2.2.3. Les roches du Trias 27
2.1.2.2.4. Les Schistes Lustrés à Ophiolites 28
2.1.2.2.5. La minette de Crête di Naie 28
2.1.2.2.6. Les listvénites 30
2.1.2.3. Géochimie des principaux types pétrographiques 31
2.1.3. Les métamorphismes 32

2.2. CONTEXTE TECTONIQUE 32

2.2.1. Foliation - Schistosité 33
2.2.2. Plis 33
2.2.3. Fracturation 33

CHAPITRE 3 - GITOLOGIE DES MINERALISATIONS DU DISTRICT DE CHALLANT

3.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX 36

3.1.1. Résumé des publications 36
3.1.2. Chronologie des travaux 36
3.1.3. Teneurs d'exploitation 37

3.2. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES STRUCTURES MINÉRALISÉES. 38

3.2.1. Nature, âge 38
3.2.2. Géométrie et morphologie 38
3.2.3. Minéralisations 39
3.2.3.1. Filons à or natif (type Fenillaz) 39
3.2.3.2. Filons à pyrite aurifère (type Béchaz) 40
3.2.4. Teneurs, tonnages 41

3.3. DESCRIPTION DES GÎTES ET INDICES AURIFÈRES 41

3.3.1. Les mines du secteur Ciamusera 42
3.3.1.1. Filon Fenillaz (Au) 42
3.3.1.2. Filon Speranza (Au) 44
3.3.1.3. Filons Innominati (Au) 45
3.3.1.4. Filon Gaebianche (Au) 46
3.3.2. Les mines du secteur Testa di Comagna 47
3.3.2.1. Filon Comba Toppa (Au, Cu) 47
3.3.2.2. Filon Cheverin (Pb, Ag) 49
3.3.2.3. Filons Testa di Comagna (Au) 49
3.3.2.4. Col de Joux (Au) 50
3.3.3. Les mines du secteur d'Arbaz 51
3.3.3.1. Mines de Béchaz (Au) 51
3.3.3.2. Filon Bouchaille (Au) 53
3.3.3.3. Indice Via Béchaz (Cu, Au ?) 54
3.3.3.4. Indice Crestelle (Au, Cu ?) 55
3.3.3.5. Indice Trivera (Cu) 56

3.3.4. Les mines et indices du secteur Challant-Saint-Anselme 56
3.3.4.1. Filon Crête di Naie (Cu, Au) 56
3.3.4.2. Filons Goia di Pauline (Au) 57
3.3.4.3. Mine de Bochey (Au) 58
3.3.4.4. Le filon Orbeillaz (Au, Cu) 59
3.3.4.5. Amas Bec de l'Aigle (Au ?) 60
3.3.5. Les mines du secteur Challant-Saint-Victor 62
3.3.5.1. Mine de Sache (Fe, W, Au ?) 62
3.3.5.2. Indices de Villa (Au) 63

3.4. CONCLUSIONS 64

CHAPITRE 4 - LES TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE ET D'ANALYSES CHIMIQUES

4.1. TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE 67

4.1.1. Echantillonnage aléatoire 67
4.1.2. Echantillonnage systématique 67

4.2. TECHNIQUES D'ANALYSES

4.2.1. Techniques utilisées 68
4.2.2. La spectrométrie de masse à étincelles 68
4.2.2.1. Appareillage 69
4.2.2.2. Préparation des échantillons 70
4.2.2.3. Analyse qualitative 71
4.2.2.4. Analyse quantitative 72
4.2.2.5. Conclusions 73

CHAPITRE 5 - RESULTATS ANALYTIQUES ET INTERPRETATIONS 74

5.1. TYPES D'ÉCHANTILLONS ANALYSÉS 75

5.1.1. Localisation des échantillons analysés par SME 75

5.2. DOSAGES SPÉCIFIQUES DE L'OR 76

5.2.1. Filon Béchaz n° 3 76
5.2.2. Filon Orbeillaz 77
5.2.3. Conclusion partielle 77

5.3. GÉOCHIMIE DES ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES 77

5.3.1. Altération des épontes 77
5.3.1.1. Filon Orbeillaz 78
5.3.1.2. Filon Fenillaz 79
5.3.2. Listvénitisation 79
5.3.3. Conclusion partielle 80

5.4. INVENTAIRE DES ÉLÉMENTS EN TRACES DANS LES ROCHES DU DISTRICT DE CHALLANT 80

5.5. RÉSUMÉ ET INTERPRÉTATIONS PARTIELLES DES RÉSULTATS D'ANALYSES DES ÉLÉMENTS EN TRACES 88

5.5.1. Les gneiss, encaissant des filons 89
5.5.2. Le quartz 89
5.5.3. Les listvénites 89
5.5.4. L'or natif 90
5.5.5. Les pyrites 91
5.5.5.1. Filon Fenillaz 91
5.5.5.2. Filon Béchaz n°3 91
5.5.5.3. Filon Sache 92
5.5.5.4. Comparaison des compositions des trois types de pyrite 92
5.5.6. Résumé des résultats d'analyses des éléments en traces 93

5.6. CONCLUSIONS SUR LA GÉOCHIMIE DU DISTRICT DE CHALLANT..... 93

CHAPITRE 6 - HYPOTHESES GENETIQUES

6.1. CHRONOLOGIE GÉOLOGIQUE 97

6.2. ORIGINES DES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES FILONS AURIFÈRES ET LEURS MÉCANISMES DE MIGRATION 98

6.2.1. Origine de l'or 98
6.2.2. Origines du quartz 98
6.2.3. Origine de la pyrite 99

6.3. MODÈLE MÉTALLOGÉNIQUE PROPOSÉ 100

CONCLUSIONS 101

BIBLIOGRAPHIE..... 104

AVANT - PROPOS

Ce travail s'inscrit dans un programme d'inventaire des richesses du sous-sol de la vallée d'Aoste* et concerne plus particulièrement les gîtes aurifères de la basse vallée d'Ayas (fig. 1 et 2). Certains de ces gîtes connus et exploités au siècle dernier n'avaient fait l'objet d'aucune étude systématique.

Pour aborder les problèmes de l'extension de ces minéralisations, leurs perspectives d'avenir ainsi que leur origine, nous avons travaillé dans deux grandes directions.

Tout d'abord sur le terrain, plusieurs campagnes de prospections géologiques et minières conduisent à la cartographie détaillée de cette région. Puis, parallèlement, la nécessité de dresser l'inventaire géochimique m'a amenée à acquérir la connaissance des différentes méthodes analytiques et leur domaine d'application ; en particulier, dans le cadre du laboratoire de Chimie Analytique (S.E.A.P.C., Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble), j'ai pu réaliser les dosages d'éléments traces par spectrométrie de masse à étincelles.

* Convention entre le Gouvernement du Val d'Aoste et l'Institut Dolomieu.

INTRODUCTION

L'or, métal natif rarement visible à l'oeil nu, est présent dans deux principaux types de gisements :

. type volcano-sédimentaire préorogénique,

. type plutono-volcanique postorogénique.

Les mines économiquement les plus importantes dérivent des premiers et sont de type détritique (placers).

Une faible proportion de l'or mondial est extraite des gisements épigénétiques; ils semblent s'être surtout formés par des processus de sécrétion métamorphique, les roches mères de l'or étant l'encaissant volcanique et/ou sédimentaire.

Nos objectifs sont :

- dresser l'inventaire des mines et indices du secteur de Challant,
- estimer les réserves en or des mines existantes et des indices non prospectés,
- effectuer un bilan géochimique des différentes roches et minerais,
- dégager un ou des éléments accompagnateurs de la minéralisation aurifère, éventuellement utilisables comme guides de prospection,
- contribuer à la compréhension de l'origine et de la mise en place des minéralisations aurifères de ce district.

Pour répondre à ces objectifs, nous avons entrepris des études géologiques et minières de terrain et des études géochimiques au laboratoire.

Nous avons procédé dans une première phase à une bibliographie systématique des archives existantes sur ce secteur, obtenues soit à l'Istituto di Geologia di Torino, soit à l'Ufficio Minerario di Torino, soit à l'Institut Dolomieu.

Ces documents, ainsi que l'expérience minière innée de Mr Bitossi, artisan chercheur d'or, nous ont été d'une aide précieuse pour retrouver les anciennes galeries abandonnées.

Une première année a été nécessaire pour mener à bien la cartographie géologique, les levés topographiques et géologiques des mines et les relevés de fracturation.

Sur le plan géochimique, plusieurs méthodes d'analyses complémentaires ont été utilisées dont la fluorescence X pour l'étude des processus d'altérations hydrothermales et la spectrométrie de masse à étincelles pour les éléments en traces.

Cette dernière méthode nous permet par son caractère panoramique de dresser l'inventaire géochimique du district. Un échantillonnage adapté nous a conduit à la connaissance des différents types de roches et à l'identification de leurs éléments caractéristiques.

Enfin, des dosages spécifiques de l'or ont été effectués dans des laboratoires spécialisés (B.R.G.M. et Société Barringer Magenta), et nous ont amené à poser le problème de la nature de l'or dans les sulfures.

Toutes ces analyses d'éléments en traces (environ 5 000 résultats) concernent des roches de type différent , mais le nombre d'échantillons par type est insuffisant pour une exploitation statistique. Seul le cas des pyrites permet un traitement mathématique des résultats car nous disposons de trois sites et de cinquante échantillons.

Après l'exposé détaillé des observations concernant ces différents points, nous proposerons une synthèse des données pétrographiques structurales et géochimiques et une interprétation de l'origine et de la mise en place des minéralisations aurifères.

CHAPITRE 1

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. LES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES DES ALPES OCCIDENTALES ITALIENNES

1.2. GÉOCHIMIE ET MÉTALLOGÉNIE DE L'OR

1.3. CONCLUSIONS

" Je me demande souvent comment vous vous étiez représenté la chasse à l'or. Je suis sûr que vous pensiez que l'on avait qu'à se baisser pour le ramasser comme du gravier, le mettre en sac et s'en aller. Si c'était aussi simple, l'or n'aurait évidemment pas plus de valeur que le gravier ".

B. Traven, Le trésor de la Sierra Madre.

Cette étude a été facilitée par la parution récente de deux monographies sur l'or venant combler le manque d'informations synthétiques sur la métallogénie de cet élément : il s'agit de l'essai de Bache sur la typologie des gisements mondiaux d'or paru en 1980, et de l'ouvrage de Boyle "Geochemistry of gold and its deposits " , édité en 1979; ce dernier auteur résume les travaux les plus récents existant sur le sujet et, à la lumière de ses vingt cinq années d'expérience, développe les différentes théories sur l'origine des dépôts d'or ainsi que les méthodes de prospection de ces gîtes. Aussi notre chapitre sur la géochimie de l'or s'inspire-t-il largement de cet ouvrage.

1.1. LES MINÉRALISATIONS AURIFÈRES DES ALPES OCCIDENTALES ITALIENNES

Les récents travaux sur ce sujet (Castaldo et al. 1975, Omenetto et al. 1976) sont très synthétiques et se basent sur les recherches plus anciennes de Hüttenlocher (1933), Stella (1943), Cévalès (1961) ; ils n'apportent pas beaucoup d'éléments nouveaux.

A notre connaissance, la seule étude détaillée, récente mais non publiée, est celle de W.Baumann (Université de Zurich, 1979) sur les mines de Cani.

1.1.1. SITUATION ET GITOLOGIE

D'après la figure 2 , les gîtes aurifères des Alpes Occidentales sont surtout liés aux roches paléozoïques des massifs cristallins internes (Mont Rose, écaille d'Arcesa, Grand Paradis, zone Sezia-Lanzo et nappe du Grand-Saint-Bernard) ; elles s'alignent selon un axe NE-SW qui correspond à la limite entre le socle cristallin et sa couverture piémontaise.

Le tableau 1 résume les principaux caractères de quelques-uns de ces gisements ; ils se regroupent en deux types différents, filons discordants ou amas stratiformes. Les filons sont encaissés dans des gneiss oeillés compétents, alors que les amas le sont dans des schistes, micaschistes et gneiss minuti. La paragenèse est assez homogène avec la présence quasi permanente du quartz, la faible proportion de sidérite et d'ankérite et la prépondérance de la pyrite et l'arsénopyrite sur les autres sulfures (blende, galène, pyrrhotite, cuivres gris). L'or est sous forme d'inclusions fines dans la pyrite et l'arsénopyrite, sauf à Fenillaz et à Val Toppa où il est natif respectivement dans le quartz et dans la galène.

Les teneurs moyennes sont assez semblables, mais ne rendent pas compte de l'importance relative de chaque mine : en effet, la production totale de tous ces gîtes pendant un siècle d'exploitation (de 1840 à 1940) atteindrait selon Stella (1943), 500 000 t de minerai d'où 30 t d'or ont été extraites. En fait, la plus grande partie de cet or provient des mines de l'Ossola (Pestarena, Val Toppa, Agare, Cani , Val Quarazza), les autres mines ayant eu une production plus modeste.

L'âge tertiaire des filons du district de Challant est assez évident, car on retrouve le même type de filons encaissés à la fois dans les gneiss paléozoïques et les ophiolites mésozoïques ; au contraire l'âge hercynien des minéralisations stratoïdes nous parait beaucoup plus hypothétique, voire improbable, car il existe deux amas stratiformes encaissés dans des schistes amphiboliques mésozoïques (filon Buson, près de la mine de Cani, et filon Lavarezzo, près des gîtes d'Antrona, in Stella 1943). Or, selon Omenetto et Brigo (1976), la mobilisation métamorphique de l'or est soupçonnée dans les deux types de gisements mais de façon plus évidente dans les filons discordants encaissés dans les gneiss oeillés ; selon ces mêmes auteurs, ces filons représenteraient " le produit de la mobilisation de minéralisations anciennes (hercyniennes ?), exprimé actuellement par les amas stratiformes". Or nous verrons, dans le paragraphe suivant, qu'une concentration primaire de cet élément n'est pas nécessaire pour expliquer l'existence de minéralisations plus jeunes ; selon Boyle (1979), des dépôts aurifères peuvent se former par des processus de secrétion, à partir de roches à teneur en Au très faible (quelques 10^{-3} µg/g).

En ce qui concerne le district de Challant, nous n'avons pas trouvé de traces de minéralisations anciennes, et nous émettrons une hypothèse différente de celle d'Omenetto et Brigo (1976) quant à l'origine de l'or ; à la suite de Stella (1943), après avoir constaté l'unité gîtologique de ces minéralisations aurifères, nous envisagerons un cycle de minéralisations hydrothermales, post-orogéniques, tertiaires, englobant à la fois les gisements stratiformes et discordants ; ces derniers peuvent être légèrement antérieurs aux gisements stratiformes.

1.1.2. PLACE DANS LA TYPOLOGIE DES GISEMENTS D'OR

Deux auteurs ont proposé récemment une classification des dépôts d'or mondiaux : il s'agit de Boyle (1979) et Bache (1980). Boyle les classe selon la nature de la roche encaissante, alors que Bache associe le contexte géostructural, la nature de l'encaissant et l'association minéralogique dans un but plus génétique. Ainsi a-t-il individualisé 3 grands groupes :

. les gisements de type volcano-sédimentaire pré-orogénique,
. les gisements de type plutono-volcanique post-orogénique,
. les gisements détritiques (tab. 2).

Les minéralisations aurifères des Alpes occidentales s'apparentent au type 6 C des gisements filoniens centrés sur une intrusion, à or et argent dominants, bien que leur relation avec des roches intrusives ne soit pas exprimée.

1.2. GÉOCHIMIE ET MÉTALLOGÉNIE DE L'OR

La plupart des données de ce chapitre proviennent de la monographie de Boyle (1979).

1.2.1. DONNEES CRISTALLOCHIMIQUES

Au, numéro atomique 79 ; masse atomique 196, 967; densité 19,3. L'or naturel n'a qu'un seul isotope $^{197}_{79}Au$.

L'or fait partie du groupe IB du système périodique avec Ag et Cu (tab. 6). Sa configuration électronique est Xe 5 d^{10} 6 s^{1}.

Les états d'oxydation de l'or sont : Au^{0} état natif, Au^{+} or aureux, et Au^{3+} or aurique (fig. 3).

L'or natif est le plus noble des métaux; il est chimiquement inactif, n'est pas attaqué par l'eau, par de nombreux acides, par l'oxygène ni par le soufre. Par contre, les halogènes et l'eau régale réagissent facilement avec lui.

Le rayon atomique de l'or est identique à celui de l'argent (1,44 Å) ce qui explique l'alliage continu de ces deux métaux.

La solubilité de l'or dans le mercure est faible : 0,13 atome/100 à 20°C; l'amalgamation du mercure est le résultat d'un mélange mécanique et de réactions de surface entre les deux éléments. L'or forme un alliage avec le mercure, la solubilité solide maximale de Hg dans Au étant environ 35 atomes/100.

Dans ses composés aureux et auriques, l'or présente un caractère covalent à cause des forts potentiels d'ionisation de ses deux états d'oxydation. L'or monovalent est caractérisé par de nombreux complexes stables en solution aqueuse, tels que $(Au\ Cl_2)^-$, $(Au\ (CN_2))^-$, $(Au\ (S_2O_3))^-$.

La plupart des composés auriques sont de puissants oxydants (fig. 3). L'or a une affinité marquée pour Te et Bi et moindre pour Sb, ce qui s'explique par la configuration électronique stable des diverses combinaisons Au-Te, etc. et par l'électronégativité des atomes donneurs des complexes.

1.2.2. ABONDANCE DE L'OR DANS LES ROCHES

Les données sont résumées dans la tableau n° 3 ; ces teneurs moyennes ont été établies sur plusieurs milliers de résultats pour chaque type principal de roches (5 400 pour les roches métamorphiques, 14 440 pour les roches ignées, 5 760 pour les roches sédimentaires). La teneur moyenne en or de la croûte terrestre est de 0,005 µg/g et celle en argent 0,05 µg/g ; le rapport Au/Ag est donc égal à 0,1 (Boyle 1979).

La variation autour de la teneur moyenne en or dans les roches ignées est faible. Les roches basiques ont des teneurs moyennes en or plus élevées que les autres roches ignées. Les roches métamorphiques ont une teneur semblable à celle de leur équivalent igné dont elles dérivent.

Quant à la distribution de l'or dans les roches, de nombreux auteurs dont Gottfried et al. (1972), Boyle (1979), observent dans les roches ignées une concentration plus forte dans la pyrite, la magnétite et les silicates mafiques que dans les minéraux felsiques : selon Gottfried et al. (1972), " l'apparente affinité de l'or pour les minéraux à cristallisation précoce est compatible avec la tendance générale à la diminution progressive de l'or, des roches mafiques vers les roches siliceuses ".

Dans les roches métamorphiques, l'or semble être concentré dans le même type de minéraux que dans les roches ignées, c'est-à-dire pyrite, magnétite, biotite, amphibole, pyroxène.

Trois thèses dominent au sujet de la nature de l'or dans des roches ignées

. à l'état natif ou d'électrum
. atomes neutres
. substitution atomique ou ionique dans la maille des minéraux.

Selon Boyle (1979), ces trois vues sont correctes et dépendent du type de roche et de minéral.

Au sujet de l'abondance de l'or dans les roches des provinces aurifères ou non, Boyle (1979) considère qu'il n'existe pas de différence universelle entre les batholites associés aux dépôts d'or et ceux qui sont stériles ; Gottfried et al. (1972) aboutissent au même résultat après l'étude de plusieurs régions aurifères ou dépourvues de minéralisations, aux USA.

1.2.3. MINERAUX D'OR ET MINERAUX ASSOCIES A L'OR DANS SES GISEMENTS

Le tableau n° 5 énumère les différents minéraux d'or dont les plus communs sont l'or natif et les tellurides.

L'or natif cristallise sous le système cubique à face centrée dont la maille a_0 est égale à 4,0786 Å (cas de l'or synthétique très pur (4N)).

Il existe une grande variété de formes de cristallisation : groupes parallèles, dendrites, arborescences ou formes massives (pépites).

La finesse de l'or désigne sa pureté et se définit comme la proportion d'or pur dans l'échantillon en partie pour mille.

L'or natif contient généralement quelques °/₀ d'Ag, Cu, Fe et quelques µg/g de nombreux éléments traces tels que:Li, Na, Ba, Hg, Fe, Sn, Pb, Zr, As, Sb, Se, Te, Cr, Mo, W, Mn, Co, Ni, Rd, Pd, Pt, U, Th, TR.

En fait, la composition de l'or natif varie beaucoup dans le même dépôt, et aussi selon le type de gisement : l'or natif des zones oxydées et des placers contient moins d'Ag et d'éléments mineurs que l'or des dépôts primaires. Ces éléments mineurs peuvent se concentrer soit sous la forme de fines inclusions de gangue, de sulfures, de tellures, ou de séléniures, soit sous la forme de constituants de la maille ; dans ce dernier cas, il s'agit de préférence des éléments suivants : Ag, Cu, Fe, Ni, Hg, As, Sb, Bi, Te, Pt.

Plusieurs auteurs suggèrent l'utilisation de la composition en éléments en traces de l'or pour la prospection minière : ainsi, Antweiler et Sutton (1970) analysèrent 67 échantillons d'or natif provenant de différents gîtes américains. Parmi les 24 éléments détectés, Ag, Cu, Fe, Ti sont les plus fréquents ; Pb, Bi, Pd, V, Ni, Co ont été identifiés le plus souvent dans l'or filonien, alors que Ti, Zr, La, Y et Cr ont été rencontrés surtout dans l'or alluvionnaire.

Plus récemment, Antweiler et Campbell (1976) ont tenté d'établir une relation entre la composition en éléments traces de l'or natif et le type de gisement, ce qu'ils nomment "signature" de l'or (tab.4). Ils suggèrent l'utilisation de cette signature non seulement pour la prospection de métaux au clarke faible tels Sn, W, Mo, Pt, mais aussi pour la prévision de la productivité potentielle d'un filon en fonction de sa position zonale déterminée grâce à la teneur en argent et cuivre de son or natif (exemple du district Central City, Colorado).

D'après le tableau 4 , on constate que dans les filons hydrothermaux, la proportion d'or est plus forte dans les dépôts "chauds" à l'inverse du rapport Au/Cu.

Les variétés d'or natif contiennent des pourcentages d'autres métaux : or argentifère (Ag = 5 à 15 %), électrum (Ag $\geqslant$ 20 %), or cuprifère, or platinifère, amalgame, etc (tab. 5).

Certains auteurs (Petrovskaia et al., 1971) signalent la présence d'inclusions gazeuses dans l'or natif : ces inclusions sont composées de 90 % CO_2 et 10 % N_2, la pression du mélange variant entre 5 et 20 bars; ils les expliquent par l'adhérence de bulles de CO_2 à la surface de grains d'or hydrophobes en cours de croissance. D'autre part, les inclusions gazeuses dans le quartz du même dépôt hydrothermal ont une composition chimique semblable.

Les minéraux associés à l'or sont très nombreux et nous nous limiterons à la description des deux plus importants, le quartz et la pyrite.

Le quartz est le minéral le plus commun dans tous les types de dépôts où toutes les variétés de ce minéral se rencontrent en cristaux, massives , calcédonieuses et amorphes. Dans les dépôts du Tertiaire, le quartz a tendance à se présenter sous la forme de cristaux automorphes plus fréquemment que dans les dépôts anciens.

En général, le quartz filonien est blanc ou laiteux ; si le quartz laiteux est grossièrement cristallisé avec un éclat gras, c'est souvent un signe de faible teneur en or. Le quartz peut être aussi gris ou noir (présence de graphite).

Au microscope, le quartz aurifère est souvent caractérisé par une grande abondance d'inclusions fluides d'origines primaire et secondaire ; Machaïras (1970) constate dans plusieurs quartz aurifères de Guyanne, du Canada (région de Timmins) et du Vénézuela (région Tommi), "une liaison fréquente entre la concentration de l'or et celle des inclusions fluides diphasées (Co_2+H_2O) : plus la concentration des inclusions fluides est grande, plus la teneur en or est élevée". De plus il observe la présence de fines pellicules d'or dans quelques-unes de ces inclusions.

Il n'existe pas de méthode satisfaisante permettant de faire la distinction entre le quartz aurifère et le quartz stérile, sauf les méthodes d'essai chimique. Cependant, on peut parfois déterminer si le quartz est aurifère ou non grâce à un examen microscopique : une cataclase plus large, des phénomènes de déformation ou des recristallisations sont des signes favorables.

La pyrite est le deuxième minéral par ordre d'abondance après le quartz.

L'or est présent dans la pyrite sous trois formes :

- submicroscopique (peut-être dans la maille du minéral),
- petites inclusions, gouttelettes, masses ramifiées réparties au hasard,
- masses irrégulières dans les fractures, fissures ou en péllicules sur les faces des cristaux.

Souvent l'or visible à l'oeil ou au microscope dans la pyrite représente une faible proportion de la quantité totale de l'or dans le minerai ; le reste est sous forme "invisible" ou submicroscopique.

Les auteurs modernes ne sont pas d'accord sur la nature de cet or : les uns pensent que l'or invisible est présent sous la forme de combinaison chimique dans la pyrite ou autres sulfures ; les autres sous la forme de particules très fines ($<$ 0,1 µ), peut être à l'état colloidal. Selon Korobushkin (1969) et Boyle (1979), la première supposition serait la plus probable : en effet, les recherches de ces auteurs suggèrent fortement l'existence d'une *solution solide de l'or* dans la maille de la pyrite précoce ou pyrite de haute température : ce phénomène peut s'expliquer par la similitude des rayons ioniques (en site octaédral) de Fe^{2+} (1,23 Å), de Au (1,40 Å) et de As (1,40 Å), ainsi que par la forte affinité de Au pour S.

A des températures plus basses, la maille de la pyrite se déforme à cause de la présence de ces éléments étrangers avec augmentation de l'énergie libre dans le cristal : pour réduire cette énergie au minimum, Ag et Au migrent vers des sites au potentiel chimique plus bas tels les fractures ou limites de grain où ils cristallisent à l'état natif.

Ainsi, l'or "invisible" se rencontre-t-il plus souvent dans les pyrites peu fracturées et l'or en inclusions visibles, dans les pyrites déformées.

Quant à la composition en éléments traces des pyrites aurifères, peu d'auteurs s'y sont intéressés. Auger (1941) étudia les pyrites de quelques gîtes aurifères canadiens et en conclut : "la nature de la roche encaissante n'a pas d'effet apparent sur la distribution des éléments en traces dans les pyrites ; la plupart des éléments en traces, sauf Au, font partie de la maille de la pyrite; les gîtes filoniens ont des teneurs en éléments mineurs plus erratiques que les dépôts à sulfures massifs".

Boyle (1979) ne trouve pas de règle générale dans la distribution des éléments mineurs des pyrites de Yellowknife. Selon cet auteur, "les données des éléments en traces indiquent seulement le degré de contamination de la pyrite par d'autres minerais", car il est difficile d'obtenir une pyrite pure, sans inclusions d'autres sulfures.

Cependant il indique quelques tendances : les fortes teneurs en As et Sb des pyrites sont souvent l'indication d'un enrichissement en or dans les dépôts aurifères ; ceci en raison de la probabilité de migration de l'or endogène comme complexes Au_As_S ou Au_Sb_S.

1.2.4. ELEMENTS ASSOCIES A L'OR DANS SES GISEMENTS.

Les éléments communément associés à l'or sont surtout chalcophiles et incluent : S, Se, Te, As, Sb, Bi, Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, Mo, W, Fe, Pt, Pd, Co et Ni (tab. 6).

Parmi ces éléments, Cu, Ag, Zn sont les plus fréquents ; Pb et Hg sont abondants dans les dépôts d'âge Tertiaire; Au, Sb, Se et Te sont des composants invariables dans les gîtes épigénétiques de tous âges et types ; Co et Ni sont peu abondants dans les dépôts épigénétiques. Nous donnons ci-dessous un rapide aperçu des éléments présents dans les dépôts hydrothermaux épigénétiques.

. *Groupe I A: H, Li, Na, K, Rb, Cs*

Selon Boyle, le rapport K_2O/Na_2O peut être utilisé dans des prospections détaillées de dépôts aurifères épigénétiques avec altération, car ils augmentent quand on se rapproche de la minéralisation.

Rb et Cs suivent le potassium dans les zones séricitisées.

. *Groupe I B: Cu, Ag*

Ce sont des associés constants de l'or dans tous les types de dépôts (voir paragraphe 1.2.3.1.).

. *Groupe II A: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra*

Ca, Ba et Sr sont concentrés dans les zones d'altération (feldspath K, séricite, carbonates) associées aux gîtes aurifères.

. *Groupe II B: Zn, Cd, Hg*

Zn et Hg sont des compagnons universels de l'or. Cd suit Zn dans la blende . Hg est présent surtout dans les filons épithermaux du Tertiaire, en faible quantité dans le minerai d'or (souvent< 1µg/g) sous la forme de cinabre, tétraédrite et tennantite mercurielles, ou en traces dans les sulfures ; l'or natif peut en contenir dans des proportions très variables (de 1 µg/g à 1 %).

. *Groupe II A: B, Al, Ga, In, Tl*

In et Tl sont présents sous forme de traces (µg/g) dans les dépôts réels en sulfures polymétalliques : la pyrite des gîtes de Yellowknife contient jusqu'à 10 µg/g de In, et moins de 1 µg/g de Tl (Boyle 1961).

. *Groupe III B: Sc, Y, TR, Th, U*

Il existe très peu de références sur les terres rares dans les dépôts d'or. Elles se concentrent dans les calcites jeunes des filons de quartz , ou bien dans les zones d'altération d'épontes.

U n'est pas un associé fréquent de l'or dans les dépôts hydrothermaux. A la Gardette (Isère-France), le filon de quartz aurifère contient un peu de brannérite ; U et Th sont des éléments rares dans les dépôts aurifères du Canada. Cependant, U est utilisé, surtout par les soviétiques, pour la prospection des gîtes aurifères encaissés dans des roches intrusives ou volcaniques basiques : en effet, dans ces gîtes aux zones d'altération souvent enrichies en potassium, le métasomatisme potassique peut lessiver les éléments radioactifs des roches (U, Th, Ra) et créer ainsi une zone d'anomalie négative pour ces éléments, détectable par des méthodes de prospection appropriées telle la spectrométrie à rayons X à haute sensibilisation. Ainsi, Savosin et al. (1977) remarquent dans des gîtes aurifères filoniens de l'Ouzbékistan, des corrélations négatives entre les teneurs en Au et U, Th, K, et positives entre Au et $\frac{U+Th}{K}$ (fig.4 et tab. 7).

. *Groupe IV A: C, Si, Ge, Sn, Pb*

C est présent dans tous les gîtes d'or sous la forme de graphite, matières charbonneuses et carbonates. Dans les ceintures aurifères précambriennes , le quartz noir et gris, à cause des inclusions de carbone, est une indication de fortes teneurs en or, ce qui n'est plus vrai dans les dépôts plus jeunes.

Si est toujours présent dans les dépôts aurifères. Statistiquement, une gangue quartzeuse favorise l'or, alors que l'argent se rencontre plutôt dans des veines à gangue carbonatée.

Ge : sa teneur dans les dépôts à or et quartz est inférieure au µg/g ; dans les dépôts polymétalliques, elle peut atteindre 100 µg/g.

Sn est associé à l'or à l'état de traces dans les sulfures.

Pb est un associé universel de l'or dans tous ses dépôts; les gîtes à quartz et or en contiennent moins que les dépôts polymétalliques.

. *Groupe IV B: Ti, Zr, Hf*

Ces éléments sont rares dans les dépôts aurifères.

. *Groupe V A: N, P, As, Sb, Bi*

As : presque tous les dépôts aurifères sont riches en cet élément, sous la forme d'arsénopyrite et tétraédrite- tennantite, ou bien dans la pyrite (de 300 à 500 µg/g As dans les pyrites de gîtes aurifères canadiens).

Sb est souvent présent dans les dépôts aurifères sous la forme de stibnite, tétraédrite-tennantite, jamesonite, etc.,ou bien dans la pyrite et l'arsénopyrite. La teneur en Sb de quelques pyrites de gîtes aurifères canadiens varie entre 2 et 500 µg/g (Boyle 1979).

Bi est présent dans quelques dépôts hypogènes en faibles quantités. Dans les gisements aurifères de Yellowknife, Boyle a trouvé moins de 10 µg/g de Bi dans la pyrite.

. *Groupe V B: V, Nb, Ta*

Il n'y aurait pas de corrélation entre V et Au. Nb et Ta n'ont pas été trouvés dans les dépôts aurifères.

. *Groupe VI A : S, Se, Te*

S est fréquemment associé à Au dans les sulfures.

Se se rencontre sous la forme de sélénides indépendants , particulièrement dans les dépôts aurifères de basse température (Vlassov 1968),dont le minerai en contient de 10 à 40 µg/g.

Te est un associé constant de l'or dans tous ses dépôts, sous forme de tellurides ou bien dans la galène , la bismuthinite, les cuivres gris. Dans les dépôts à or et quartz, la teneur en Te varie considérablement (de 5 à 5 000 µg/g) ; Vlassov (1968) en trouve de 1 à 65 µg/g dans la pyrite et 1 à 240 µg/g dans l'arsénopyrite de la mine de Kirovskoe (URSS).

. *Groupe VI B: Cr, Mo, W*

La majeure partie du Cr présent dans les dépôts de quartz et or semble hérité de la roche hôte, et se trouve dans la chlorite, la biotite, la séricite, la pyrite. La mariposite et la fuchsite se développent dans les zones d'altération des dépôts quartzo-aurifères ou polymétalliques (voir aussi paragraphe 1.2.3.3.).

Mo est présent en petites quantités dans les gîtes aurifères sous forme de molybdénite mais pas en association directe avec Au.

W est un associé universel de l'or dans ses dépôts hypogènes en partie à cause de leur solubilité semblable. Il se concentre surtout dans la scheelite. Dans les minerais d'or, les teneurs en W varient entre 5 à 5 000 µg/g,selon Boyle (1979).

. *Groupe VII A: F, Cl, Br, I*

Cl se trouve dans les inclusions fluides des quartz et carbonates des gîtes aurifères.

Br et I sont présents mais en très petites quantités.

. *Groupe VII B : Mn, Re*

Mn se concentre surtout dans l'ankérite.

Re est un élément très rare (0,02 à 0,8 µg/g dans des pyrites de gîtes aurifères de l'URSS).

. *Groupe VIII: Fe, Co, Ni, platinoïdes (Ru, Rd, Pd, Os, Ir, Pt)*

Fe est un compagnon constant de l'or dans : pyrite, arsénopyrite, pyrrhotite, ankérite, sidérite, bornite, magnétite...

Ni et Co sont présents dans presque tous les dépôts d'or, sous la forme de traces dans la pyrite, pyrrhotite, magnétite, arsénopyrite, tennantite,Boyle trouve 46 µg/g Co et 5 µg/g Ni dans le minerai de quartz et pyrite d'un prospect de Yellowknife.

Quelques variétés à or natif (surtout alluvionnaire) contiennent des platinoïdes. Les éléments de cette famille semblent avoir une affinité pour les minéraux de Cu ; la pyrite en contient peu (très inférieurs au µg/g).

Les concentrations de Pt sont très rares dans les dépôts aurifères ; de même, dans les dépôts de Pt, on ne rencontre pas d'amas aurifères.

1.2.5. PROCESSUS D'ALTERATION DES EPONTES LIES AUX GITES AURIFERES EPIGENETIQUES

D'une manière générale, l'altération d'épontespeut être définie comme les changements chimiques et minéralogiques dans les roches encaissantes de dépôts épigénétiques par des solutions minéralisantes,telles que solutions aqueuses, gaz, mélanges. Les caractéristiques de cette altération dépendent surtout de la nature de la roche-hôte et de la nature des minéralisations.

Les études d'altération d'épontes procurent des données complémentaires sur la nature des solutions minéralisantes et sont utilisées pour la prospection du minerai.

Les principaux types d'altération des épontes sont :

. feldspathisation : développement de feldspaths secondaires tels que albite, microcline, adulaire,et donc apport de K, Na, Al ;
. silicification : formation de quartz, jaspe, calcédoine ;
. chloritisation : par altération hydratée de minéraux de Ca et Fe ;
. séricitisation : c'est le type le plus commun ; il comprend le développement de la séricite par hydratation des feldspaths ou préarrangement de K, Al, SiO_2. La fuchsite et la mariposite peuvent également se former dans les roches basiques sans apport de Cr ;
. carbonatisation : c'est un phénomène commun dans les roches intermédiaires ou basiques ; il comprend la formation de dolomite, ankérite, sidérite, avec apport de CO_2, départ de SiO_2 qui est transféré dans les veines où elle cristallise sous la forme de quartz Les roches basiques et ultrabasiques fortement carbonatisées,séricitisées et bréchifiées sont appelées listvénites par les géologues soviétiques (voir paragraphe suivant) ;
. pyritisation et arsénopyritisation sont des phénomènes très communs.

Dans le district de Challant, les amphibolites aux épontes des filons sont altérées (séricite, chlorite, carbonates).La description détaillée par Boyle (1961 et 1979) d'une altération semblable des roches de Yellowknife (Canada) servira de modèle et nous permettra de mieux comprendre ces phénomènes. D'autre part nous avons identifié des listvénites liées aux gisements du Val d'Ayas et étudierons plus en détail ce processus hydrothermal dans le paragraphe suivant.

1.2.5.1. Altération des épontes associée aux veines quartzo-aurifères dans des roches extrusives et intrusives basiques (type Yellowknife).

La ceinture de roches verte de Yellowknife (Territoires du NW, Canada) est composée de deux groupes de roches d'âge archéen : Division A (andésite, tufs , basaltes, conglomérats) et Division B (greywacke, argilite, quartzite, dacite...). Ces deux groupes de roches ont été affectées par un métamorphisme régional à faciès Schiste Vert ; puis elles ont été recoupées par plusieurs intrusions de granites et granodiorites d'âge archéen ou protérozoïque.

Ceci a provoqué la formation d'un métamorphisme de contact avec zonation des faciès : au contact faciès amphibolite, puis faciès intermédiaire d'amphibolite à épidote, et enfin faciès schiste vert.

Les dépôts sont des filons quartzeux et zones silicifiées dans des grandes zones de cisaillement et failles subsidiaires.Les principaux minéraux de ces veines sont le quartz, les carbonates, la pyrite, l'arsénopyrite , la pyrrhotite, la stibnite , les sulfosels, l'or et l'aurostibnite.

Dans les roches à faciès amphibolite, l'altération se développe sur 0,3 m de puissance et transforme l'encaissant en un schiste chloriteux.

Dans les roches à faciès amphibolite à épidote et à faciès schiste vert , Boyle décrit six phases d'altération successives :

- phase 1 - faible schistosité
- phase 2 - schiste chloriteux
- phase 3 - schiste à chlorite et carbonate, à forte foliation
- phase 4 - schiste à carbonate, chlorite, séricite, à forte foliation
- phase 5 - schiste à carbonate, séricite, à forte foliation
- phase 6 - apport de quartz et sulfures dans les zones minéralisées.

Ces différentes phases se développent dans la plupart des zones de cisaillement.

Les analyses chimiques des deux phases principales d'altération des amphibolites à épidote,effectuées par Boyle à partir d'échantillons composites,ont été pondérées,afin d'obtenir des variations à volume constant (tab. 8) ; puis cet auteur a dressé le bilan suivant des gains et pertes en éléments majeurs (fig. 5) dans les roches d'altération :

Gains : CO_2, H_2O, S, K_2O, Al_2O_3

Pertes:SiO_2, Na_2O, Fe_2O_3 + FeO + CaO + MgO + TiO_2 + MnO

Le rapport K_2O/ Na_2O s'inverse dans les schistes à carbonate et séricite ; la forte diminution de SiO_2 compensée par le gain en CO_2, H_2O et S suggère que ces composants gazeux ont déplacé la silice afin de maintenir l'équilibre.

Quant aux éléments en traces, Li tend à suivre Mg ; Rb et Cs suivent K et augmentent considérablement quand on s'approche des filons, de même que B, As, Sb,Au et Ag.

Les principaux agents responsables de l'altération ont été CO_2 et H_2O et d'une manière moins nette S et As.

Ces migrations d'éléments ont provoqué les transformations minérales suivantes :

. amphibole + CO_2 + H_2O ⟶ ankérite (ou chlorite) + Na + K

. plagioclase + CO_2 + H_2O ⟶ albite + ankérite

. épidote ⟶ chlorite + Ca + CO_2 ⟶ ankérite + SiO_2 + Al_2O_3

S et As diffus dans les zones d'altération se sont liés à Fe libéré par l'altération des amphiboles, chlorites et épidotes pour former la pyrite et l'arsénopyrite ; en section polie, ces sulfures contiennent parfois des noyaux de magnétite ou d'ilménite. De même, avec l'apport de CO_2, H_2O et S la silice libérée a migré vers les zones d'extension pour former les lentilles de quartz.

La forte augmentation du rapport K_2O/Na_2O et les diminutions des rapports SiO_2/CO_2 dans le sens roches vertes-veines aurifères, sont directement utilisables dans la prospection de zones minéralisées.

1.2.5.2. Listvénitisation

L'étude des listvénites a un intérêt pratique très important car des gisements de Hg, Au, Ni, etc, existent dans de telles roches : les gisements de mercure du district de New Almaden (Californie), parmi les plus productifs des USA, sont encaissés dans ces roches (Bailey et Everhart, 1964) ; de même de nombreux gisements aurifères d'URSS exploitent des listvénites productives (Goncharenko, 1970). Cependant, le terme listvénitisation est seulement utilisé par les auteurs soviétiques dans les districts aurifères de l'Oural, en particulier par Kashkai, de l'Institut de géologie de Bakou.

Le terme listvénite désigne des roches communes dans les formations basiques et ultrabasiques. La listvénitisation se produit le long de zones de failles,et les roches ainsi engendrées ont souvent une forme de filons ou de lentilles. Elle est provoquée par des solutions hydrothermales contenant surtout H_2O et CO_2, un peu de S et à haute température(400-500°) selon Capedri et Rossi (1974).

Kashkai (1964a) classe les listvénites selon différents critères sur le tableau suivant :

Critère	Dénomination
Roche d'origine	. ortholistvénite . paralistvénite . épilistvénite
Mode de formation	. pneumatolytique-métasomatique . hydrothermale . bimétasomatique
Composition minéralogique	. listvénite typique . listvénite à quartz . listvénite à carbonates . listvénite micacée . listvénite ferrugineuse . listvénite à silicates hydratés
Métallogénie	. listvénite à Ni . listvénite à Ni, Co . listvénite à Au . listvénite à As,Sb . listvénite à Hg . listvénite à sulfures

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr
30 AOUT 2003

Dans une autre publication (1964b), ce même auteur distingue cinq stades de zonalité métasomatique dans les roches listvénitisées :

- stade initial : roche à chlorite, actinolite, serpentine,
- stade intermédiaire : roche à carbonates, brucite, serpentine et roche à talc, carbonates,
- stade à listvénites (à mariposite ou à quartz et carbonates),
- stade final : filons de quartz, carbonates,
- stade postérieur avec apport de sulfures par des solutions hydrothermales plus jeunes.

Ces différents stades peuvent se téléscoper.

La composition chimique des roches ainsi formées est très variable mais en général il y a apport de K, Ca, Al, CO_2 et H_2O et départ de SiO_2 par rapport aux roches primaires. Nous avons regroupé dans le tableau 9 les quelques analyses d'éléments majeurs dans différentes listvénites.

Kashkai (1964b) a détecté de plus les éléments en traces suivants : Ni, Co, Au, Ag, Ga, Zr, Hg, As et Sb. Plus précisément, selon Kashkai et al. (1975), la teneur en nickel de listvénites du Petit Caucase varie de 300 à 10 000 µg/g et la teneur en cobalt de 10 à 1 000 µg/g ; les concentrations maximales en ces deux éléments se retrouvent dans les variétés de listvénites aposerpentinitiques. La plus grande partie du nickel et cobalt se concentre dans les minéraux carbonatés.

De plus, quelques données sur la teneur en mercure de listvénites du Petit Caucase sont rapportées dans le tableau suivant, d'après Kashkai et al. (1976).

Type de listvénites	Teneur Hg µg/g
L. à quartz + carbonates	11,5
L. à quartz	7,8
L. à quartz + chlorite	2,1
Brèche de listvénites	8,1

La forte teneur en mercure de ces listvénites est liée à des solutions postmagmatiques aux compositions caractéristiques Hg-As-Cu, Hg-As-Cu-Pb, Hg-Cu, Hg-As (Sb)... (Kashkai et al. 1976).

Comme nous l'avons déjà dit, certaines listvénites peuvent contenir des gisements de mercure et or. Dans leur description des mines de mercure de New Almaden (Californie), Bailey et Everhart (1964) montrent que le mercure sous forme de cinabre s'est mis en place par remplacement des minéraux des listvénites, d'abord le long de fines fractures d'extension (ou "hilos"), puis jusqu'à 30 m de ces fractures. Elles ont été été remplies par la suite par du quartz et de la dolomite. Quant à la genèse de la minéralisation, ces auteurs envisagent la mise en solution de Hg et S dans des solutions hydratées alcalines et leur migration le long des fractures hilos.

En ce qui concerne l'or, Goncharenko (1970) décrit les listvénites aurifères de la région de Kuznetsk-Ala-Tau (URSS) ; là, l'or, la galène, la blende et la pyrite s'associent dans des filons de quartz encaissés dans des listvénites, ou bien l'or se concentre à l'intersection de filons quartzeux, dans des brèches. D'autre part, l'auteur met en évidence que l'augmentation de teneur en or dans les listvénites est accompagnée par

celle des teneurs en Zn, Ag et Bi. Dans les échantillons où la teneur en or est supérieure à 20 g/t, Zn et Ag sont toujours présents.

Nous avons insisté sur ces deux types de gisements dans les listvénites afin de montrer le rôle primordial de la fracturation dans la mise en place des minéralisations dans ce type de roches. Nous pensons que les listvénites sont minéralisées non pas à cause d'une spécialisation géochimique mais parce qu'elles se situent dans des zones de faille où les fluides peuvent circuler facilement. L'étude géochimique des listvénites du Val d'Ayas nous conduira à la même supposition.

1.2.6. ORIGINES DE L'OR ET DE SES ELEMENTS ASSOCIES

Ce sujet a fait l'objet de longs débats parmi les spécialistes. Plusieurs possibilités ont été envisagées dont les plus importantes sont :

- origine abyssale,
- différenciation magmatique,
- sécrétion.

1.2.6.1. Origine abyssale

Plusieurs théories postulent que les constituants des minerais viennent directement du manteau sous la forme d'éléments diffus, en fusion ou en solutions aqueuses. Ainsi, la roche mère de l'or est-elle hors d'atteinte des techniques d'investigation modernes. Ces théories sont donc fortement spéculatives.

Cependant quelques faits corroborent cette hypothèse, tels l'association étroite entre les gîtes épigénétiques et les roches volcaniques, ou bien la présence commune de ces gîtes dans ou près de grands systèmes de failles. Dans l'exemple du district de Yellowknife, si l'origine de l'or était profonde, tous les systèmes de faille devraient être minéralisés en or, ce qui n'est pas le cas (Boyle 1961).

1.2.6.2. La différenciation magmatique

L'or proviendrait soit d'un magma enrichi en minéralisateurs issu de la différenciation d'un magma originel, soit de fluides hydrothermaux libérés d'un magma dans les phases finales de sa différenciation. Ces theories sont basées sur l'association étroite entre filons quartzo-aurifères et plutons, et sur l'idée fausse que le quartz est insoluble dans l'eau (en fait il est soluble dans l'eau chaude).

Boyle critique ces hypothèses de la manière suivante :

. beaucoup de gîtes aurifères épigénétiques se situent dans des zones où on n'observe pas de roches ignées synchrones.

. dans la plupart des districts aurifères, la proximité des roches ignées est due seulement à des facteurs structuraux et n'a pas de signification génétique.

. selon Gottfried et al. (1972), "au cours du processus de différenciation, la teneur en or reste relativement constante ou décroît, dans le cas de roches alcalines et calco-alcalines".

De plus, les éléments tels Cu, Zn, Fe, Ca et S, tous accompagnateurs de l'or, sont concentrés dans les roches basiques et non acides.

. il n'y aurait pas de relation particulière entre l'abondance de l'or dans les corps ignés et la présence de minéralisation aurifère (voir paragraphe 1.2.2.),

. dans le cas de filons discordants dans des roches granitiques, tout processus de différenciation avait cessé avant la formation de ces filons.

Finalement, Boyle met en doute la capacité de ces processus à fournir la quantité d'or nécessaire à la formation d'un gisement.

1.2.6.3. Sécrétion

Plusieurs théories sont basées sur la supposition que les roches régionales, encaissant les dépôts aurifères, représentent la source des constituants de ces dépôts.

De nombreuses conceptions existent, selon Boyle (1979), la plus importante est celle de la sécrétion métamorphique.

1.2.7. THEORIE DE LA SECRETION METAMORPHIQUE

1.2.7.1. Mécanismes de migration et de concentration de l'or

Cette théorie suppose que l'or , l'argent et les éléments de la gangue, initialement présents dans les roches, ont été mobilisés, puis concentrés dans des pièges tectoniques ou chimiques au cours du métamorphisme.

Le tableau suivant indique les capacités des différentes roches de fournir l'or (d'après Boyle 1979). Pratiquement tous les types

Type de roches	Quantité d'or par km ^{3} (en t)
ROCHES IGNEES :	
roches ultrabasiques	13,5
roches basiques	21,6
roches intermédiaires	14,1
roches acides	8,1
ROCHES SEDIMENTAIRES	
grès, conglomérats	78,9
marnes,argilites	11,7
calcaires	10,2

de roches sont des sources adéquates pour les concentrations aurifères. Il y a une corrélation entre la fréquence des dépôts aurifères encaissés dans les roches basiques et ces valeurs.

De nombreux auteurs,tels Moiseenko et al. (1972), Gavrilenko et al. (1974), Boyle (1979), accordent au métamorphisme une importance considérable dans la formation des gîtes aurifères. Sighinolfi et al. (1978) pensent qu'un métamorphisme de stade élevé a provoqué d'importantes remobilisations de l'or des roches de la vallée de Strona (Alpes italiennes), par

migration avec des fluides métamorphiques à haute température, sous la forme de chlorures . Ils expliquent ainsi la formation des gîtes aurifères hydrothermaux de cette vallée (n°17 et 18 sur fig. 2)

La capacité de migration de l'or et de l'argent au cours de la sécrétion est pratiquement identique à celle de la silice ; par rapport aux métaux, elle se situe entre Hg et Zn. Boyle ordonne les éléments selon leur capacité de migration, basée sur leurs propriétés thermodynamiques, de la manière suivante :

- gangue : Si > B > K > Na > Ca = Mn > Mg > Co > Fe = Ni > Al.
- gaz : C = S = Se > As > Sb > Te .
- métaux : Hg > Ag > Au > Zn > Cd > Cu > Pb > Mo = Bi = Sn = W .

La forte capacité de migration de l'or explique des recristallisations faciles de cet élément dans ses dépôts.

Au cours de sa migration, l'or est transporté dans des solutions dont les conditions de pH sont neutres à légèrement alcalines : Servard (1973) obtient une solubilité maximale de l'or (225 mg/kg) dans les conditions suivantes : m_{NaHS} = 0,15 m, pH $_{20°C}$ = 5,96, T = 309°C, P = 1 000 b (fig. 6 et 7). Il conclut que l'or est probablement transporté dans les solutions hydrothermales sous forme de thio-complexes ($Au(HS)_2^-$). De même, Weissberg (1970) met en évidence une moindre solubilité de Au dans des solutions plus alcalines.

Quant aux conditions de pression et de température de dépôt de l'or épigénétique, elles varient,selon Boyle,entre 500 et 150°C pour T et entre 300 et 2 bars pour P; la plus grande partie de l'or semble avoir été déposée dans l'intervalle 150 à 75°C.

1.2.7.2. Un modèle de sécrétion métamorphique : le district de Yellowknife (Canada)

D'après Boyle (1961,1979), l'origine des dépôts quartzo-aurifères de Yellowknife peut être résumée ainsi (fig. 8) :

. au Précambrien, dépôt d'épaisses séries de sédiments marins, puis mise en place de laves(=ceinture de roches vertes actuelle);

. grande phase orogénique avec plissements puis granitisation : cette phase est caractérisée par des gradients de température marqués autour des foyers de granitisation, conduisant à la zonation des faciès métamorphiques, à la mobilisation de H_2O, CO_2, S et quelques métaux,et à leur migration jusqu'en surface, perpendiculairement aux isogéothermes (fig. 8);

. formation d'un grand système de fractures cisaillantes à la fin de l'orogénèse et de la granitisation;

. changement radical de direction des vecteurs de migration : les zones cisaillantes absorbent les éléments mobiles (CO_2, H_2O, S, métaux). Vu la taille et la profondeur des zones de cisaillement, la dilatation a marqué de grands volumes de roches régionales;

. déplacement de l'équilibre chimique le long des zones cisaillées, conduisant à la chloritisation, la carbonatisation, la pyritisation etc., d'un énorme volume de roches volcaniques métamorphisées;

. libération de Si, K, Ca, Fe, Au, Ag, métaux à partir des roches altérées (voir paragraphe 1.2.3.3.1.);

. migration latérale et verticale de ces composés par diffusion à basse pression vers des zones de dilatation, àl'intersection des fractures;

. précipitation du quartz, des carbonates, de la pyrite aurifère et argentifère et de l'arsénopyrite dans ces sites à faible potentiel chimique. Formation des lentilles quartzeuses avec leur halo d'altération;

. générations tardives successives d'or natif , sulfosels, pyrite et quartz par exsolution des éléments des sulfures primaires.

1.2.8. SYNTHESE PARTIELLE

Dans les roches magmatiques, Au est relativement concentré dans les faciès basiques. Il entre préférentiellement dans les minéraux ferromagnésiens de cristallisation précoce : pyroxène, magnétite,biotite, voire pyrite.

D'autre part, au cours de la différenciation, vers 750°-850° C,l'or ne présentepas de concentration préférentielle entre les phases liquide et gazeuse (Khirukov et al. 1979). Cependant, une élévation de température et une forte concentration en Cl favorisent l'accumulation de l'or dans les fluides, car ces deux éléments ont une tendance marquée à former des complexes stables solubles dans l'eau (de même que le couple S et Au) ; cette stabilité des complexes d'or leur permet de voyager sur de grandes distances et de s'associer avec les générations tardives de sulfures (Pb, Ag, etc), (Moissenko et al.,1972 - Marakushev, 1977). Ainsi, ces phénomènes, gradient de température et activation du potentiel des fluides ou apport de fluides, sont-ils caractéristiques d'une transformation métamorphique plus ou moins liée à une intrusion (Boyle, 1979) ; de même, à une échelle plus restreinte, des altérations de roches basiques par réaction au contact de zones de circulation de fluides peuvent remobiliser l'or et provoquer son dépôt à l'état natif. En effet, grâce à la faible affinité des métaux nobles pour l'oxygène, l'or résiste bien à l'oxydation ; au cours de leur migration, les complexes de Au et Cl peuvent être destabilisés et l'or précipitera à l'état natif (altération type Yellowknife).

1.3. CONCLUSIONS

Les études théoriques sur la géochimie et sur la métallogénie de l'or ont des conséquences directes sur la prospection des gîtes aurifères : en effet pour la sélection des zones favorables, on s'orientera vers des roches ayant subi des déformations structurales et des gradients métamorphiques ; les zones présentant des altérations (carbonatisation, séricitisation, etc) seront étudiées en détails et analysées. Les éléments majeurs les plus utiles dans la prospection géochimique en roche sont : SiO_2, K, Na, CO_2, S, H_2O.

Les éléments indicateurs de l'or dans le cas de gîtes épigénétiques incluent : Si, S, Ag, As, Sb, Te, B, Bi, Hg, Mo, W, Cu, Zn, Pb, Cd, Tl, Ba, Sr, Mn, Se, F, Cl, U, Th.

Dans le cas d'étude géochimique en roches non altérées, les meilleurs indicateurs sont Cu, Ag, Zn, Hg, B, As, Sb, Bi, Te ; As est le meilleur indicateur ; Sb et Te,s'ils sont présents à des teneurs anomales (Sb-0,7 µg/g ; Te-0,05 µg/g), signalent la présence probable de minéralisation aurifère.

En ce qui concerne les halos primaires d'éléments en traces liés aux gîtes aurifères, chaque ceinture aurifère a ses caractères propres ; cependant, les indicateurs les plus satisfaisants sont Au, Ag, As, Sb, Hg. Dans le cas d'une prospection géochimique utilisant les sols, les meilleurs éléments indicateurs sont Au, Ag, Hg, Sb et As ; les teneurs normales des sols en ces éléments sont,d'après Boyle (1979) : Au $<$ 0,005 µg/g, Ag entre 0,1 et 0,5 µg/g, As 7 µg/g, Sb 0,7 µg/g, Hg 0,06 µg/g.

Les analyses de concentrés de métaux lourds obtenus à partir des sols sont les méthodes les plus efficaces pour mettre en évidence des halos de dispersion secondaire liés aux gîtes aurifères.

Nous appliquerons ces résultats directement à l'interprétation de nos données analytiques du district de Challant. En effet, cette compilation bibliographique éclaire quelques-uns des problèmes soulevés par les analyses : nature de l'or dans les sulfures, géochimie de l'altération des épontes, forte proportion de Hg dans l'or natif, etc. D'autre part, cette étude nous a permis de comparer les gisements peu connus de la région de Challant à d'autres gisements d'or géochimiquement mieux définis comme ceux de Yellowknife (Canada). La comparaison met en évidence de nombreux points communs comme la nature de la roche encaissante, des altérations hydrothermales , le type de minéralisations, le contrôle tectonique, etc...

C'est pourquoi nous prendrons comme modèle génétique et métallogénique celui proposé par Boyle (1979) pour les gisements de la région de Yellowknife,tout en tenant compte des imperfections et des points trop spéculatifs inhérents à toute théorie.

CHAPITRE 2

CONTEXTES GEOLOGIQUE ET TECTONIQUE

2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

2.2. CONTEXTE TECTONIQUE

" Il cherche une substance plus durable, un objet plus pur. Il le trouve dans le peuple des pierres ".

M. Yourcenar, discours du récipiendaire.

2.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La région étudiée est entièrement comprise dans les zones internes des Alpes occidentales et plus particulièrement dans le domaine pennique qui se subdivise ici en deux ensembles distincts :

- séries de roches mésozoïques constituées par la nappe des Schistes Lustrés à ophiolites.

- massifs cristallins internes représentés par la fenêtre ou écaille d'Arcesa.

La nappe des Schistes Lustrés entoure complètement le massif d'Arcesa qui est limité au N par un accident majeur de direction E-W, la faille de Ranzola. A l'E, la zone Sesia-Lanzo (domaine austro-alpin inférieur ou pennique supérieur, selon les auteurs) vient chevaucher la nappe des Schistes Lustrés (fig. 9).

Cette vallée a été très peu étudiée dans le détail : au départ je disposais seulement de la carte Monte Rosa n° 29 au 1/100 000 de Novarese et al. parue en 1902. Comme sur le plan minier une telle échelle est insuffisante, j'ai été amenée à lever une carte géologique plus détaillée limitée cependant aux zones métallogéniquement intéressantes.

2.1.1. CARTE GEOLOGIQUE ET CARTOGRAPHIE

Le secteur cartographié est compris entre Challant au S, Brusson au N, les torrents Graine et Evançon à l'E et l'éperon rocheux du Mont Ros à l'W. Les levers ont été effectués à 1/10 000 sur la base des cartes topographiques éditées par la région autonome du Val d'Aoste en 1965 au 1/ 5 000 , réduites deux fois. Certains secteurs plus compliqués, comme celui de Ciamusera, ont été levés au 1/5 000et ces cartes sont données dans le chapitre 3.

La topographie abrupte de cette vallée ne nous a pas facilité le travail : en effet, l'érosion glaciaire a profondément entaillé les gneiss d'Arcesa qui s'élèvent de part et d'autre du torrent sous la forme de deux imposantes falaises, de près de 1000 m de haut. De ce fait et notre intérêt étant axé sur la métallogénie,nous n'avons pas levé une carte pétrographique détaillée mais plutôt une carte géologique schématique; notre travail a donc consisté à établir une carte des affleurements, des contacts tectoniques et à tenter de comprendre l'agencement des différents ensembles structuraux entre eux (fig.10 en annexe).

Nous résumons ici les principales observations sur le contexte géologique de la vallée de Challant :

* les différents ensembles pétrographiques et structuraux sont :

- gneiss paléozoïques d'Arcesa
  - Complexe des gneiss amphiboliques ou minuti
  - Gneiss oeillés (Augengneiss de Bearth, 1952)
- marbres et dolomies du Trias,
- complexe des Schistes Lustrés mésozoïques à ophiolites (Zone Zermatt-Saas ?).

* le style tectonique régional est très complexe: les phases les plus importantes se traduisent par une phase chevauchante à grands accidents subhorizontaux correspondant au charriage de la nappe des Schistes Lustrés, et par plusieurs phases cassantes tardives responsables de la montée des gneiss d'Arcesa (faille de Ranzola) et de la fracturation avant minéralisation. Ainsi, tous les contacts entre les différents ensembles pétrographiques sont-ils tectoniques et parfois accompagnés de mélange tectonique tel le secteur de Fenillaz (fig.11et12) où des écailles de gneiss, marbres, calcschistes et serpentinites alternent sous la nappe des Schistes Lustrés.

* les trois ensembles pétrographiques n'ont pas la même épaisseur de part et d'autre de la vallée de l'Evançon : en rive droite, les gneiss minuti affleurent sous forme d'écailles inférieures à 10 m, tandis qu'en rive gauche ils forment une falaise de 350 m de haut. Ce phénomène pourrait être expliqué, à la suite de Dal Piaz (1966), par l'existence d'un écaillage d'âge paléozoïque supposé, en tout cas antérieur à la mise en place de la nappe des Schistes Lustrés. Le complexe des gneiss minuti de Challant constituerait donc une (ou plusieurs?) grande écaille tectonique d'âge paléozoïque.

Formations	Epaisseurs maximales en m Rive gauche		Rive droite	
Calcschistes	?		100	
Trias	25		50	
Complexe des gneiss				
amphiboliques	350	700	10	760
Orthogneiss oeillés	350		750	

2.1.2. PETROGRAPHIQUE

2.1.2.1. Rappels bibliographiques

* Les roches paléozoïques d'Arcesa sont semblables à celles des massifs du Mont Rose et du Grand Paradis où se retrouvent les deux types de gneiss, gneiss oeillés et gneiss minuti *.

Dal Piaz (1966) suggère, pour les roches du complexe des gneiss minuti d'Arcesa, une origine commune avec celles de la zone du Furgg affleurant sur les flancs S et NW du Mont Rose. Selon cet auteur, la zone du Furgg représente une unité chronologique et stratigraphique appartenant à la nappe du Mont Rose; cette unité constituerait " une relique de la couverture paléozoïque d'un socle cristallin originel qui, replissé, métamorphisé et injecté de roches sialiques, fut subdivisé en grandes écailles superposées au cours d'une phase antérieure à la blastèse alpine ".

Nous ne discuterons pas ces hypothèses de travail, mais par comparaison avec les roches du socle du Grand Paradis, nous constatons, avec Compagnoni et al.(1974), les faits suivants que rien ne contredit à Arcesa, malgré la presque complète transformation du contact primaire des deux types de gneiss : les gneiss oeillés sont les produits du métamorphisme alpin de granites porphyriques hercyniens. Ces granites hercyniens recoupent (intrusion plutonique) des roches déjà schisteuses, les gneiss minuti; ces gneiss minuti forment un complexe polymétamorphique d'âge précarbonifère supérieur à reliques de métamorphisme

---

* nom donné par Novarese, Franchi, Mattirolo, Stella, à des gneiss à texture finement litée, de grain fin à très fin et à débit en plaques.

moyen à fort d'âge hercynien ou plus ancien. Ces roches ont été affectées par la suite par le métamorphisme alpin.

* Les roches du Trias. Après le dépôt des Schistes Lustrés de la zone du Combin sur les roches du Trias, l'ensemble Trias + Schistes Lustrés s'est détaché de son soubassement au moment du charriage de la nappe. Le Trias s'intercale donc en écailles tectoniques avec les roches de la base de la zone du Combin (Dal Piaz 1965).

* Les Schistes Lustrés à ophiolites sont subdivisés par les auteurs italiens (Dal Piaz 1965) en deux unités d'origine différente qui sont la zone du Combin à affinité continentale et la zone de Zermatt-Saas à caractère océanique. Pétrographiquement, ces deux zones se distinguent par la plus grande abondance des ophiolites et la présente d'éclogites dans la zone Zermatt-Saas; cette paragenèse de haute pression - basse température témoignerait d'un processus de subduction; la zone du Combin ne serait pas impliquée dans ce processus.

La région en aval de Brusson n'a pas fait l'objet de publications géologiques, mais on peut supposer que les Schistes Lustrés locaux forment une série équivalente à la zone de Zermatt-Saas par la fréquence des prasinites et serpentinites. De plus, nous pouvons signaler un affleurement d'amphibolite à reliques de grenats et de pyroxènes sodiques (ancienne éclogite) sous la forme d'une lentille de 5 m pincée dans une faille affectant des prasinites du secteur de Béchaz.

2.1.2.2. Description des principaux types de roches

Nous n'insisterons pas sur la minéralogie ni sur la microscopie; quelques analyses par fluorescence X des types pétrographiques dominants seront données et brièvement interprétées.

2.1.2.2.1. Les gneiss oeillés

Ils forment les parois escarpées dominant la vallée de l'Evançon. Leurs affleurements sont massifs, compacts, à diaclases bien marquées. A cause de la topographie, seul le sommet et la base de cette série sont abordables mais les faciès sont assez homogènes.

Il s'agit d'orthogneiss oeillés, gneiss granitoïdes fortement laminés avec quelques rares lentilles de pegmatites à tourmaline. Leur couleur est gris clair et leur structure à porphyroclastes d'albite de 1 à 15 cm de long.

Au microscope : la texture est protomylonitique à mylonitique oeillée. Des cristaux de quartz et d'albite plus ou moins recristallisée forment des lits et des yeux orientés dans une pâte cryptocristalline d'orthose, microcline, muscovite, quartz, séricite, biotite verte, albite, apatite, zircon. La biotite est rare par rapport à la muscovite.

2.1.2.2.2. Les roches du complexe des gneiss minuti

Elles forment en rive gauche une falaise sombre au dessus des orthogneiss oeillés. Le contact entre ces deux ensembles de roches paléozoïques est très net et se remarque par une flexure de la pente. Il peut se suivre tout le long de la falaise orientale. Il est incliné vers l'E de la même façon que la schistosité générale des gneiss (N160-40°NE). A son niveau les roches sont mylonitisées sur 3m d'épaisseur (fig.13); les gneiss oeillés y montrent un grain plus fin tandis que les gneiss amphiboliques sont microplissés (fig.14). Ce contact qui était à l'origine très probablement intrusif, se présente, après avoir été repris et transformé au cours des phases et tectoniques ultérieures, en accordance apparente.

La pétrographie de cette zone est complexe : on y distingue plusieurs sortes de roches :

. paragneiss et orthogneiss métamorphiques divers,
. amphibolites en boudins,
. marbres et dolomies (rares),
. quartzites (rares).

Toutes ces roches ont un âge probable précarbonifère par comparaison avec celles des massifs du Mont Rose et du Grand Paradis.

Les para-et orthogneiss :

Ils forment la plus grosse partie de la zone. Ce sont des gneiss à phengite, gneiss à amphiboles, micaschistes gneissiques, micaschistes à grenat , schistes carbonatés, amphibolites à grenat . Le grain de ces roches est très variable; les faciès les plus basiques ont un grain submicroscopique.

Au microscope : les textures sont oeillée, ocellaire, lépidoblastique, porphyroblastique, granonématoblastique. Les minéraux essentiels sont: chlorite, muscovite, phengite, quartz, amphiboles Ca et Al, albite alpine, microcline, épidotes. Les minéraux mineurs sont : biotite verte, grenat, allanite, zircon, tourmaline. Les opaques sont très abondants dans les gneiss juxtaposés aux filons de quartz et pyrite.

Les gneiss à texture oeillée de ce complexe ressemblent aux orthogneiss sous-jacents, au moins macroscopiquement. Ils affleurent surtout au sommet de la falaise orientale, au Sud de la terminaison du filon Gaebianche. Là il s'agit d'une énorme masse de plus de 400 m de long intercalée dans des gneiss amphiboliques.

Au microscope : des gneiss montrent une texture granoblastique, pas du tout cataclastique, à recristallisations alpines d'albite, chlorite, biotite verte, contrairement aux orthogneiss qui ont toujours une structure mylonitique .

Ces gneiss minuti à texture oeillée peuvent être considérés comme les produits métamorphiques d'apophyses émanant de l'intrusion granitique hercynienne.

Les amphibolites en " boudins ":

Ce sont des roches de couleur vert foncé, compactes, massives, affleurant dans les paragneiss sous la forme de lentilles ou de "boudins" de 0,2 à 3 m d'extension. Les bordures sont nettes et soulignées d'oxydes de fer. Le grain est submicroscopique. Les minéraux de ces roches sont les mêmes que ceux des paragneiss mais contiennent plus d'épidotes et de grenats. Ces roches affleurent largement au niveau 1 du filon Fenillaz.

Les marbres et dolomies prétriasiques :

Ils affleurent rarement et ne doivent pas être confondus avec les roches triasiques. Nous les avons rencontrés en deux endroits seulement : au milieu de la galerie 1 du filon Fenillaz où des filonnets décimétriques de dolomie sont replissés dans des amphibolites (fig.15). Le deuxième affleurement est situé à 1450 m d'altitude sur l'ancien sentier muletier de la mine de Gaebianche.

L'âge prétriasique de celui-ci est hypothétique alors que celui de la dolomie de Fenillaz est probable. En effet, ce deuxième affleurement consiste en deux bancs de marbres roux intercalés dans des micaschistes très altérés, de 10 m d'extension et de 20 cm de puissance (fig. 16). Leur composition minéralogique est simple : dolomite et ankérite presque exclusivement. Ces caractères se rapprochent de ceux des marbres triasiques et seule une étude géochimique des traces et une étude minéralogique poussée permettraient d'être plus affirmatif quant à leur âge prétriasique.

Les quartzites :

Elles n'ont été rencontrées qu'en un seul endroit sous le niveau 7 du filon Fenillaz. Là, un niveau de quartzite grise et translucide de 0,8m de puissance et 20 m d'extension affleure dans les gneiss et présente la même schistosité qu'eux. Cependant nous ne pouvons affirmer qu'il s'agit de filons de quartz parallèles à la foliation ou bien de niveaux de quartzites d'origine sédimentaire.

Toutes les roches du complexe des gneiss minuti sont représentées sur notre carte géologique par un seul figuré, avec cependant une surcharge pour distinguer les gneiss à texture oeillée (fig.10).

2.1.2.2.3. Les roches du Trias

Ces roches se rencontrent toujours sous la forme d'écailles tectoniques de dimensions variables (de 1 à 100 m d'extension). Elles sont emballées dans le mélange tectonique de base de la nappe des Schistes Lustrés, en association avec des écailles de gneiss minuti. Deux types pétrographiques dominent : les dolomies et les marbres gris.

Au fond des galeries du filon Fenillaz, on observe des intercalations répétées de ces deux types (fig.31 carte en annexe). Les dolomies constituent des niveaux jaunâtres tendres et sablonneux; leur minéral essentiel est la dolomite. Les marbres gris forment par contre des bancs très durs gris foncé à blancs à cassure d'aspect saccharoïde. Leurs minéraux principaux sont les dolomite , calcite, quartz et les accessoires sont la muscovite et la trémolite.

2.1.2.2.4. Les Schistes Lustrés à Ophiolites

Cet ensemble d'âge mésozoïque se subdivise en deux groupes de roches d'origines différentes :

- les Schistes Lustrés (s.str.) ou roches sédimentaires métamorphisées.
- les roches vertes ou ophiolites.

Dans la région de Challant, les ophiolites constituent le plus gros volume de roches alors que les paraschistes affleurent peu.

Les Schistes Lustrés :

Ils sont représentés ici par des calcschistes qui se rencontrent surtout à la Testa di Comagna sous la forme d'une dalle "stratigraphique" pentée vers le SW. Ces roches ont une patine brun-roux, une cassure jaunâtre. Elles affleurent sous la forme de petits bancs stratifiés de 0,3 m de puissance. Leur texture est granoblastique à schisteuse. Les minéraux essentiels sont : calcite, muscovite, phengite, chlorite, épidotes, quartz. Les minéraux accessoires sont : grenat, trémolite, actinote, ankérite, dolomite.

Les ophiolites de la région de Challant sont composées des types suivants : serpentinites, prasinites, amphibolites.

Les prasinites et amphibolites, qui sont les plus fréquentes, forment des falaises sombres et abruptes, tandis que les serpentinites ont une distribution hétérogène.

Les serpentinites :

Ce sont des roches de couleur vert pâle à vert presque noir, à inclusions de magnétite. Leur structure est soit massive, soit schisteuse, soit finement plissée. Les minéraux essentiels sont : serpentine (antigorite), magnétite, talc, chlorite, amiante.

Les prasinites :

Elles sont caractérisées par l'abondance de l'albite porphyroblastique. Il existe tous les faciès de passage entre ces roches et les amphibolites, sans oublier les ovardites (roches à porphyroblastes d'albite et chlorite). L'albite confère aux prasinites une texture ocellaire (ocelles de 0,5 à 5mm); elle est très fraîche car de cristallisation alpine. Les autres minéraux essentiels sont la chlorite, l'épidote, la calcite, l'actinote.

Les amphibolites :

Elles ont un grain beaucoup plus fin, submicroscopique et une texture granoblastique et sont constituées principalement de hornblende, actinote, épidote, chlorite; le quartz et les feldspaths sont très peu abondants.

2.1.2.2.5. La minette de Crête di Naie

Un filon de lamprophyre de type minette est visible à l'entrée et dans les galeries du filon Crête di Naie au-dessus du hameau de Mae (voir aussi chapitre 3.3.4.1.).A l'extérieur son affleurement est masqué par la végétation. Ce filon est situé dans les zones de fractures accompagnant le contact des orthogneiss oeillés et des ophiolites.

Le toit de ce filon s'associe dans une faille N80 à des brèches d'altération typiques de la région, les listvénites minéralisées en galène, cuivres gris et or. Au mur affleurent des serpentinites fortement laminées (fig.54 chap.3). Ce filon mesure au moins 60 m en direction, au moins 25 m en pendage et environ 1m de puissance. La minette présente une texture microgrenue et est composée en grande partie de biotite verte en voie de séricitisation, de carbonate de Mg, de quartz, de feldspath K et de rares amphiboles.

Ce filon de lamprophyre est certainement postérieur au processus de listvénitisation des serpentinites et fait partie des manifestations tectoniques tardives, postérieures à l'orogenèse alpine, tout comme les minéralisations aurifères de la région .

D'autres filons de lamprophyre ont été décrits par Dal Piaz (1979) au Nord de Brusson (col Pallasina) et dans les gneiss de la zone Sesia-Lanzo. Il les interprète comme les produits de l'activité volcanique postérieure à la collision des nappes. Hunziker (1974) date ces filons postmétamorphiques d'environ 20-30 millions d'années.

La minette de Crête di Naie est plus externe que celles citées par Dal Piaz et nous la comparerons, grâce à la géochimie des éléments en traces, avec les lamprophyres de la zone Sesia. Nous avons analysé les éléments majeurs, mineurs et en traces (technique de la spectrométrie de masse à étincelles) d'un échantillon provenant de la galerie inférieure (tab.10 et 11).

Au niveau des majeurs, notre minette contient plus de CO_2 et de Mg que les autres. On pourrait penser que ces carbonates puissent provenir d'une contamination par les listvénites encaissantes, mais on ne retrouve pas les éléments en traces caractéristiques de ces brèches (qui sont les éléments alcalins tels que Rb, Cs, Na - voir chapitre 5) dans la minette. En fait, il faut admettre une plus forte teneur en Mg et CO_2 dans le magma d'origine. Les autres éléments majeurs sont dans les mêmes proportions que dans la minette MEC 242 de Dal Piaz.

Pour les éléments en traces, Ni, Co, Cr, Cu, V sont à des teneurs semblables dans les trois échantillons. De même, les profils de lanthanides sont comparables malgré une teneur en Terres Rares plus faible à Crête di Naie (fig.17); ils sont caractérisés par un très fort fractionnement avec perte des lanthanides lourdes. De plus, on observe ici aussi une corrélation marquée entre TiO_2, P_2O_5, Nb, Zr (fig.18).

La teneur en U de l'échantillon Crête di Naie (5 µg/g) est moins forte que celle du lamprophyre de la zone Sesia (33 µg/g) mais représente tout de même une anomalie en U car, dans la listvénite juxtaposée, U est inférieur à 0,1 µg/g et, dans les gneiss minuti, il est de l'ordre de 1 µg/g (voir aussi chapitre 5).

Seuls quelques éléments en traces (Li, Zn, Rb) montrent des teneurs différentes entre les échantillons Crête di Naie et ceux décrits par Dal Piaz; mais nous comparons ici des teneurs obtenues par deux méthodes différentes (absorption atomique et spectrométrie de masse à étincelles).

Ces observations nous font penser que la minette de Crête di Naie fait partie de la même lignée filonienne que les lamprophyres de la zone Sesia-Lanzo; elle aurait donc un âge analogue (20 à 30 Ma). De plus, comme elle recoupe des roches aurifères, sa mise en place serait postérieure à la minéralisation aurifère des listvénites.

2.1.2.2.6. Les listvénites

Généralités : ce sont des roches provenant de l'altération hydrothermale des ophiolites (voir aussi chapitre 1). Malgré l'abondance des ophiolites dans le Val d'Aoste, les listvénites ne semblent pas se rencontrer partout : en effet, elles sont seulement connues dans la vallée d'Ayas depuis Challant-Saint-Victor jusqu'en amont de Saint-Jacques, soit un secteur de 25 km de long. Par contre, de telles roches n'ont pas été signalées dans les nombreux massifs ophiolitiques du Sud du Val d'Aoste (communication orale, J.L. GARCIAZ, 1979). Dans le Val d'Ayas nous en avons rencontré en plusieurs endroits répertoriés sur la carte géologique à 1/10 000 (fig. 10).

La listvénitisation se caractérise par un remplacement progressif des minéraux serpentineux par des carbonates de magnésium. Ici, tous les faciès de passage existent entre une serpentinite ou une prasinite en voir de carbonatisation, la listvénite s.str., et le stockwerk de quartz fuchsite.

Au point de vue macroscopique, ces roches se repèrent grâce à leur patine brun rouille et par leur teinte vert soutenu en cassure due à la fuschite. Leur structure est bréchoïde, avec recristallisations postérieures de quartz et/ou carbonates, sous la forme de filonnets plus ou moins minéralisés en pyrite, galène, cuivre gris, or. Le stade extrême semble être la formation d'une brèche de quartz à fuchsite (exemple de la carrière de Sizan).

Leur composition minéralogique est assez simple : la magnésite prédomine sur la dolomite et l'ankérite. Les proportions de quartz, de muscovite chromifère (fuchsite) et d'épidotes (zoïsite, pistachite) varient fortement.

Au microscope : les carbonates en microcristaux se substituent intimement avec l'antigorite et forment aussi avec le quartz des filonnets à grain grossier recoupant les structures préexistantes. Les chromospinelles n'ont pas été observées.

Le fait le plus important est leur association permanente avec des zones de fractures de direction précise N 120 et N 170.

Description des principaux affleurements de listvénites

* *Lac Bleu :* cet affleurement est décrit par Dal Piaz (1978) comme étant une brèche minéralisée en blende et galène remplissant une fracture E-W.

* *Col Ciamusera :* les listvénites se situent dans la zone de mélange tectonique près du sentier conduisant à la mine de Fenillaz. Il s'agit d'une petite falaise de 2m de haut et de 200 m de long. Au toit les serpentinites sont progressivement carbonatées, au mur elles sont bréchifiées et mylonitisées. Les listvénites se sont formées au niveau d'une fracture N 130. La géochimie de la listvénitisation de ces roches est étudiée dans le chapitre 5.

* *Filon Fenillaz :* elles apparaissent à différents niveaux des galerie de la mine (chapitre 3.3.1.1 et fig.31) dans des fractures de direction N 120 et N 65 de sens dextre qui décalent le filon aurifère. Elles s'y associent sous la forme de copeaux tectoniques avec des écailles de marbres triasiques.

* *Col de Joux :* elles sont situées dans la zone de fractures N 170 liées au contact chevauchant des ophiolites sur les gneiss paléozoïques. Elles affleurent sous la forme d'une bande mince de brèches de 100 m de long dans les serpentinites.

* *Filon Orbeillaz :* elles se rencontrent aux épontes et en enclaves décimétriques dans la gangue quartzeuse du filon.

* *Filon Crête di Naie :* (voir chapitre 3.3.4.1.). Il s'agit d'un amas quartzifié et minéralisé en galène, cuivres gris et or, limité au mur par un filon de minette (faille N 90) d'1 m d'épaisseur, puis par des serpentinites. Au toit, l'encaissant est caché sous les moraines et éboulis.

* *Sizan-Isolaz :* on y exploitait la brèche verte de Sizan en carrière comme pierre d'ornement. Il s'agit d'un stockwerk de quartz et fuchsite minéralisé en pyrite (fig. 19), dont les relations avec l'encaissant sont masquées par le recouvrement quaternaire. Les listvénites affleurent aussi dans le lit du torrent Evançon, sous la forme d'un amas de 500 m de long limité au S par une faille N 130 le mettant en contact avec des amphibolites mésozoïques.

2.1.2.3. Géochimie des principaux types pétrographiques

Seulement quelques échantillons de chaque type de roche ont été analysés par Fluorescence X. Ils correspondent à des prélèvements ponctuels, forcément non représentatifs des différents ensembles. Cependant ils constituent les premiers résultats de géochimie sur les roches régionales et leur interprétation sera limitée par l'absence de données de référence (tab.12).

Gneiss oeillés :

Les résultats témoignent de l'homogénéité des faciès de cet ensemble. Ils sont caractérisés par leur richesse en silice exprimée sous la forme de quartz

Gneiss amphiboliques :

L'hétérogénéité des faciès des roches de cet ensemble se reflète dans nos résultats. Des données supplémentaires sont apportées par l'étude des altérations d'épontes au chapitre 5.

Roches du Trias :

On trouve à la fois de la dolomite et de la calcite.

Serpentinites :

L'échantillon LB2 provient de l'affleurement de listvénite du Lac Bleu en amont de Saint Jacques. Des résultats complémentaires sont donnés dans le chapitre 5 sur la géochimie des altérations hydrothermales. Les serpentinites de la région de Challant ont une composition comparable à celles du S du Val d'Aoste, (Dousset et Tollardo, à paraître 1981).

Amphibolites :

Par comparaison avec le même type de roche paléozoïque (Fen 6-2), elles sont moins siliceuses et contiennent plus de CO_2 et de Sr.

Listvénites :

Elles sont caractérisées par une très forte variation de SiO_2 due à leur nature de brèches plus ou moins silicifiées. Mg prédomine sur Ca, ce qui correspond à la fréquence de la magnésite par rapport à la calcite.

On constate également des teneurs plus élevées en Na_2O et K_2O ce qui se retrouvera au niveau des éléments en traces dans la forte proportion d'éléments alcalins (voir aussi chapitre 5).

2.1.3. LES METAMORPHISMES

Les roches de la nappe du Mont Rose ont été affectées par un métamorphisme hercynien, comme en témoignent les paragenèses de haute température (HT) des paragneiss à reliques de biotite, grenat et sillimanite. Puis elles ont été recoupées en discordance par des granitoïdes intrusifs au Carbonifère (310 Ma, Hunziker 1974). Cependant, dans les roches de l'écaille d'Arcesa, ces faits sont hypothétiques car nous n'avons pas trouvé de reliques d'un métamorphisme de HT.

A ce métamorphisme supposé, s'est surimposé l'événement alpin caractérisé par deux épisodes successifs (Dal Piaz et al. 1975):

* *Episode éoalpin* (80-110 Ma) avec apparition d'éclogites et schistes à glaucophane (faciès de HP, BT). Cet épisode aurait eu lieu avant l'empilement des nappes et concerne surtout les ophiolites.

* *Episode lépontin* (36-38 Ma) à faciès Schistes Verts. Il est interprété comme dû au réajustement géothermal postérieur à l'empilement des nappes ou bien à un flux de chaleur d'origine profonde.

Cet épisode affecte les roches de la partie occidentale de la nappe du Mont Rose ainsi que celles de la nappe des Schistes Lustrés à ophiolites. Cependant, les deux zones de cette nappe ont eu une évolution tectonométamorphique différente, car seule la zone Zermatt-Saas a été impliquée dans l'épisode éoalpin.

2.2. CONTEXTE TECTONIQUE

Le style tectonique régional est celui de nappes de charriage et de plis couchés rétrocharriés kilométriques. Les nappes sont accompagnées de cisaillement subhorizontaux et d'écaillages provoqués par le rabotage basal avec création de zones de mélange tectonique. La fracturation postérieure à la mise en place des nappes est un phénomène important puisqu'elle a contribué à l'apparition de la faille de Ranzola et contrôlé la mise en place des minéralisations aurifères

2.2.1. FOLIATION - SCHISTOSITES

Nous appellerons foliation S1 le litage minéralogique résultant de l'alternance de lits de cristaux clairs et de lits sombres tant dans les gneiss paléozoïques que dans les marbres et calcschistes mésozoïques. Dans chaque secteur, les roches de tous âges montrent la même S1 car il y a eu réorientations et parallélisation des foliations primaires au cours de la tectonique alpine.

La direction principale de S1 est N 150 à 180, le pendage variant selon la rive : en rive gauche S1 pend vers l'E (50°) alors qu'en rive droite elle pend vers l'W (fig.10 carte géol.). Ainsi, dans les gneiss S1 tourne et décrit une structure en dôme.

Dans le secteur de Ciamusera, on observe une schistosité secondaire S2 qui reprend S1 : dans les gneiss, S2 est créée par l'alignement des axes de plis P 2 (fig.20); dans les serpentinites il y a formation de kinks.

2.2.2. PLIS

Les roches de la région ont été affectées par plusieurs phases de plissements (surtout les gneiss paléozoïques), mais seules les phases les plus récentes sont observables. Il est très important de remarquer que les minéralisations du district de Challant ont été contrôlées par la fracturation tardive de roches compétentes, contrairement à tous les autres gisements miniers du Val d'Aoste où la concentration des éléments métalliques a été contrôlée par des phases de plissement (Pocachard 1980).

Dans le secteur de Ciamusera, deux phases sont mises en évidence dans les gneiss amphiboliques :

. Plis P1, isoclinaux, centimétriques à décimétriques, à plan axial confondu avec S_1 et à axe subhorizontal.

. Plis P2, ondulations de faible amplitude reprenant les plis P_1, à plan axial subvertical (S_2) et à axe N 60-20° NE (fig.20).

2.2.3. FRACTURATION

Nous ne nous étendrons pas sur les fractures de cisaillement subhorizontales qui mettent en contact des roches de nature et âge différents (plans de chevauchement). Nous insisterons par contre sur les fractures subverticales à cause de leur rôle primordial dans la mise en place des filons quartzo-aurifères; en effet toutes les structures minéralisées de la région de Challant correspondent à des remplissages de fentes d'extension, décamétriques à kilométriques dans des roches compétentes telles que gneiss, amphibolites, prasinites.

Sur le tableau suivant sont reportés , secteur par secteur, les caractères principaux des fractures minéralisées, regroupées en fonction de l'homogénéité de leurs caractères propres (type de minéralisation et direction de filon) (tab.).

Les secteurs Ciamusera et Béchaz représentent à eux seuls la plus grande partie des filons minéralisés, les six autres secteurs étant de dimensions bien plus modestes (voir chapitre 3). Trois directions de fractures minéralisées ressortent : N 60, N 120, N 160. Selon le secteur, l'une ou l'autre direction est privilégiée (tab.13). La direction N 60 est la plus riche en or et sulfures; la direction N 120 est fréquemment associée à des listvénites, tandis que la direction N 160 est rare sauf dans le filon Orbeillaz.

L'interprétation des photographies aériennes corrobore et complète ces données de terrain: sur la carte (fig.21), les traits correspondent aussi bien à des fractures minéralisées qu'à des failles stériles. Les différentes directions ont été regroupées par classe de 20 en 20°. Il ressort de la rosace des pourcentages de direction que les directions de fractures les plus fréquentes sont les N 110 (18,5 %), puis les N 70 et N 90 (à égalité: 14 %).

La faille de Ranzola représente un autre type de fracture verticale de direction E-W, de 50 km d'extension, apparemment non minéralisée. Elle correspond sur le terrain aux Cols de Ranzola, de la Croix et de Joux et se poursuit dans la vallée de la Doire Baltée; elle est bien visible sur les photographies par satellite. Elle décale à l'E les gneiss de la zone Sesia et met en contact les roches paléozoïques d'Arcesa avec les calcschistes mésozoïques (fig.11). Les auteurs italiens (Gosso et al., 1979) l'interprètent comme une faille normale subverticale impliquée directement dans la montée des gneiss.

Nous verrons dans le chapitre suivant qu'elle a fonctionné postérieurement à la minéralisation aurifère et qu'elle pourrait avoir joué un rôle primordial dans la mise en place de l'or.

CHAPITRE 3

GITOLOGIE DES MINERALISATIONS DU DISTRICT DE CHALLANT

3.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX

3.2. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES STRUCTURES MINÉRALISÉES

3.3. DESCRIPTION DES GÎTES ET INDICES AURIFÈRES

3.4. CONCLUSIONS

3.4. CONCLUSIONS

" En deça de la Serre d'Ivrée on trouve la vallée de la Doire Baltée qui charie aussi de l'or, depuis le Mont-Jouet jusqu'à son confluent dans le Pô. En descendant cette vallée, on est porté à considérer les montagnes de Challant qui ont fait le sujet des recherches des importantes mines d'or, dont je fus le mobile principal : il ne sera pas hors de propos que j'en donne ici l'histoire en peu de mots. En 1740 un Paysan en creusant sous un genevrier trouva un morceau de métal qu'il prit pour de l'airain à cause qu'il était spongieux et rempli de terre rouge : ce morceau qui pesoit plusieurs marcs fut suivi de quelques autres morceaux plus petits : on en fit la découverte au-dessus de la Paroisse d'Emarèze à l'entrée d'une forêt de pins qui s'étend jusqu'au sommet de la montagne d'Arbe : cet or fut pesé à Verrez où l'on en porta en différens tems plus de 40 marcs, sa qualité passoit le titre de 22 K."

N.de Robilant (1784)
(1 marc = 246 gr.)

3.1. HISTORIQUE DES TRAVAUX

Les recherches minières dans la vallée de l'Evançon ont une histoire très longue qui se solde par un passé florissant de 1850 à 1910, puis par une forte réduction des activités après 1910 et qui se prolonge cependant jusqu'à nos jours d'une façon artisanale.

3.1.1. RESUME DES PUBLICATIONS

Selon certains auteurs, les premiers travaux remonteraient au temps des Salasses qui vivaient dans le Val d'Aoste bien avant l'époque romaine.

Déjà, en 1784, le chevalier N. de Robilant parle de travaux miniers par abatage par le feu datant du XVIIe siècle. Il signale également la découverte, en 1740, d'une pépite d'or d'une dizaine de kilogrammes dans des moraines près d'Emarèse (cf. extrait p.35) et fait conduire lui-même des travaux sur différents sites de la région pour le compte du royaume Sarde. Par la suite, Jervis (1873) et Baretti (1893) font un inventaire des ressources minières et minérales du Val d'Aoste et des Alpes italiennes et recensent les permis de recherche et les concessions pour Au, Cu, S, ainsi que les indices de la région de Challant.

C'est seulement à partir de 1900 que l'exploitation de l'or devient plus organisée grâce à des compagnies minières telles que l'Evancon Gold Mining Company (anglaise), le Consorzio agrario della provincia di Novara, la Société des carrières de San Vittore (Turin ?) ainsi que la société Rivetti (Milan). Plusieurs rapport font état des travaux et des résultats de ces sociétés : Schmidt (1900), Colomba (1907), Hotz (1910), Roccatti (1925), Calvino (1954). Les observations de Hotz sont indéniablement les plus précieuses, surtout quant aux teneurs d'exploitation et à sa carte géologique, tout à fait comparable à la nôtre.

Après cette mini-ruée sur l'or, paraissent plusieurs études de synthèse qui se recoupent : Burford (1933), Hüttenlocher (1934), Stella (1943). La monographie de Stella est la meilleure existant à ce jour sur la vallée de Challant car elle vient après l'exploitation intensive, au moment où les mines sont les mieux connues; de plus, l'auteur n'hésite pas à remettre en question les théories de concentration de l'or per descensum qui circulaient avant lui et à suggérer un apport de l'or per ascensum.

Plus récemment Omenetto et Brigo (1976) ont, à l'occasion de la parution de la carte minière d'Italie à 1/1 000 000, synthétisé les gisements aurifères des Alpes occidentales en reprenant les données antérieures.

3.1.2. CHRONOLOGIE DES TRAVAUX

Nous avons établi cette chronologie en synthétisant toutes les publications citées précédemment.

- ? - Exploitation de l'or alluvionnaire par les Salasses.
- 1607 - Travaux de recherche de l'or à Arbaz-Béchaz par abatage par le feu.
- 1740 - Découverte d'une pépite d'or et quartz de 10 kg à Emarèse.
- 1742 à 1752 - Sur filon Bochey, après découverte d'une pépite d'or de 150 g, un travers-bancs de 250 m de long est ouvert par N. de Robilant.
- 1755 à 1780 - Travaux de reconnaissance sur filons Bochey, Arbaz, Goia di Pauline par N. de Robilant pour Au et Cu.

. 1800 à 1850 - Travaux sur filons Villa (Au), abandonnés en 1875.
. 1820 à 1845 - Concession de la mine de pyrite de Chasses (=Sache) accordée à MM.Perron, Yvon, Colombot.
. 1867 - La concession Sache tombe. Fermeture de la mine.
. 1872 - Découverte du gisement d'amiante d'Emarèse, qui sera exploité jusqu'en 1940 par une société anglaise (Evançon Gold Mining Company ?).
. 1898 - Découverte de l'or de Fenillaz.
Concession (400 ha) + permis de recherche (1950 ha) à Arbaz accordés à l'Evancon Gold Mining Company.
Prospection effectuée par les ingénieurs De Castro et Schmidt.
. 1900 - Rapport de Schmidt : 420 000 t de minerai à 25-30 g/t Au dans les filons de Bouchaille, Béchaz n° 1 à 6 (estimation à vue).
. 1903 - Rapport de De Ferrari : 6 500 t de minerai à 13,05 g/t Au dans les filons Fenillaz-Speranza (teneurs réelles).
. 1901 à 1905 - Exploitation des filons Béchaz par la société anglaise (3 km de galeries); mais teneurs réelles plus basses que celles de Schmidt; car celui-ci a dû tenir compte des teneurs dans le chapeau de fer seulement.
Filon Comba Toppa - 1 galerie 120 m
Filon Bouchaille - 1 galerie 500 m
. 1904 à 1910 - Exploitation du filon Fenillaz par la société anglaise : 5 km de galeries, 1 téléphérique, 500 ouvriers - Extraction de 600 kg d'or.
Filon Gaebianche : 1 galerie de 70 m (2g/t Au dans quartz).
. 1911 - Arrêt des travaux de la société anglaise causé par une baisse des teneurs (le nombre d'ouvriers passe de 140 à 10).
. 1916 - Permis de recherche pour pyrite sur le filon Sache accordé au Consorzio Agrario della Provinzia di Novara.
. 1916 à 1927 - Travaux sur filon Sache : 1 km de galeries, station de lavage, voie ferrée pour transport du minerai.
. 1939 à 1945 - Concession de la mine d'amiante d'Emarèse accordée à la Société des carrières de San Vittore .
. 1935 à 1948 - Permis de recherche de l'or accordé à la Société Rivetti pour le secteur Fenillaz-Speranza-6500 t minerai à 4,5 g/t Au.
. 1948-1953 - Exploitation artisanale de l'or de Béchaz (MM.Bitossi et Severin).
. 1976 à 1982 - Permis de recherches pour l'or accordé à M. Bitossi (Challant) sur filons Béchaz, Comba Toppa et Speranza.
Filon Speranza 60 m galerie - peu d'or.
Travaux de reconnaissance sur filon Comba Toppa en cours.
. 1980 - Estimation de la teneur moyenne des filons Béchaz 3 et Orbeillaz par A. Richard.

3.1.3. TENEURS D'EXPLOITATION

Nous résumons ici toutes les données que nous avons pu récolter soit dans la bibliographie, soit à l'Ufficio Minerario de Turin grâce à l'amabilité de M. Micheletti. Pour faciliter la lecture nous avons regroupé les données sous forme de tableaux synthétiques (tab.14,15 ,16).

Les résultats donnés par Schmidt sont certainement trop forts par rapport à la réalité car il s'agit d'échantillons provenant des chapeaux de fer, donc non représentatifs des filons (tab.14).

Les résultats rapportés par Hotz (tab.15) correspondent à la plus grosse activité minière de la vallée tandis que ceux du tab. 16 sont donnés par la

société Rivetti et doivent provenir d'essais sur le minerai de Speranza et non pas Fenillaz,car d'après les plans de mines c'est le filon Speranza qui était exploité à cette époque.

3.2. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES STRUCTURES MINÉRALISÉES

3.2.1. NATURE - AGE

Ce sont des *filons hydrothermaux épigénétiques strictement contrôlés par la fracturation.*

Le contact entre filon et roche encaissante est très net car les épontes sont des plans de faille (fig.22 et 23) . La minéralisation s'est mise en place dans des diaclases des roches les plus compétentes, telles que les gneiss oeillés, les gneiss amphiboliques et les amphibolites mésozoïques, jamais dans les serpentinites.

Les filons s'orientent selon trois directions de fractures privilégiées qui à l'échelle du kilomètre carré constituent des systèmes parallèles dont le meilleur exemple est le secteur de Béchaz; parfois le réseau de filons est si dense qu'il constitue un véritable stockwerk,ce qui est le cas des affleurements des listvénites. Les trois principales directions de fractures sont d'après le tableau synthétique (tab.13 et fig.24): N 60, N 120 et N 160.

La direction N 60, commune aux secteurs Fenillaz et Béchaz, est la plus fréquente et aussi la plus minéralisée en or (teneur moyenne 10 g/t). On peut estimer la quantité d'or extraite des filons N 60 aux 2/3 environ de la production totale de ce district. Les listvénites se sont presque toujours formées dans les fractures N 120, tandis que les filons de la troisième direction sont peu nombreux (Orbeillaz); les teneurs moyennes de ces deux directions de filons sont de l'ordre de 1g/t.

Ces filons sont peu fracturés, jamais plissés; on observe seulement des décalages des panneaux minéralisés par failles normales dont le rejet est inférieur ou égal à 10 m (exemple : filon Fenillaz , fig.32). D'autre part ils affleurent en discordance tant dans les gneiss paléozoïques que dans les ophiolites secondaires. Ils peuvent donc être considérés comme contemporains des dernières phases tectoniques alpines et être datés du début du Tertiaire.

Sur le plan de la métallogénie du Val d'Aoste, le district filonien de Challant constitue une exception car toutes les autres minéralisations sont considérées comme étant des filons couches syngénétiques datant du Jurassique ou du Crétacé, comme les gisements de Cu (Kieslager) d'Ollomont, Petit Monde, Saint-Marcel et Hérin.

3.2.2. GEOMETRIE ET MORPHOLOGIE

Nous avons différencié 5 secteurs qui correspondent au total à une centaine de filons de dimensions très variables : le filon le plus gros (f.Gaebianche) mesure 1500 m de longueur, au moins 100 m en pendage et 1m de puissance moyenne. Dans les petites dimensions, les filons du groupe Villa n'excèdent pas 10 m en direction et pendage et 5 à 10 cm en puissance.

Au sein du même gisement, on observe parfois une succession de panneaux séparés par des zones d'interruption (serrées), comme dans le filon Bouchaille.

Le filon type a, grossièrement, une forme de parallélépipède; ses extrémités se ramifient ou bien se biseautent ; les filons Fenillaz, Comba Toppa et Béchaz (6) se poursuivent sans déviation après avoir recoupé le contact anormal des gneiss et des marbres triasiques, puis diminuent progressivement de puissance et se ramifient en plusieurs filonnets jusqu'à disparaître à moins de 5m du contact. Pour le filon Fenillaz, la subdivision en filonnet s'accompagne d'une silicification des plans de foliation des marbres encaissants (fig. 25).

La texture de la gangue est massive ou bréchique avec de fréquentes enclaves de roches encaissantes, sous la forme de blocs décimétriques allongés parallèlement aux épontes; ces enclaves sont profondément altérées, tout comme les épontes, uniquement quand l'encaissant est constitué de gneiss amphiboliques, d'amphibolites ou de prasinites; dans ce cas, les épontes sont transformées en roches à séricite, quartz, oxydes de fer de couleur sombre constrastant avec le vert sombre des roches fraîches. L'auréole s'interrompt vite dans l'encaissant, à moins de 3m de l'éponte.

Ce phénomène s'observe bien dans le gisement d'Orbeillaz (Au-Cu) où le toit du filon est constitué d'une séquence filon-éponte altérée - roche fraîche qui se répète plusieurs fois. La géochimie de l'altération des épontes sera détaillée dans le chapitre 5.

3.2.3. MINERALISATIONS

Elles sont caractérisées par une grande homogénéité à l'échelle du district. En effet, le quartz est le composant principal de la gangue tandis que les sulfures sont essentiellement représentés par la pyrite. Quant à l'or, on le rencontre soit à l'état natif, soit en micro-inclusions dans la pyrite.

Ces deux types de gisements de l'or sont géographiquement facilement séparables : les filons à or natif (type Fenillaz) sont situés sur la rive gauche, tandis que les filons à pyrite aurifère (type Béchaz) se rencontrent seulement sur la rive droite. En réalité cette séparation est à nuancer car la pyrite du filon Fenillaz peut contenir un peu d'or natif et quelques paillettes d'or natif sont mêlées à la pyrite de Béchaz.

3.2.3.1. Filons à or natif (type Fenillaz)

La gangue :

Elle est presque exclusivement constituée par du quartz; quand l'encaissant du filon est constitué par les marbres triasiques, la gangue est un mélange de quartz et de calcite. Le quartz se présente sous la forme de quartz blanc très compact ou fracturé ou bien en cristaux pouvant mesurer jusqu'à 25 cm de haut et tapissant des druses au sein de la masse filonienne.

Les sulfures :

Ils sont surtout représentés par de la pyrite cubique ou massive en poches décimétriques. La galène, les cuivres gris, la chalcopyrite sont rares. Le mispickel n'a pas été observé. Quand la gangue est du quartz laiteux, la proportion de pyrite y est faible alors que dans ces druses, les cristaux sont encroûtés par les oxydes de fer (limonite) et par l'argile.

L'or :

Il n'a pas été vu en place mais nous avons disposé des échantillons de la collection de M. Bitossi; il s'agit de paillettes et de dendrites plurimillimétriques en mouchetures dans du quartz laiteux, non associées à la pyrite (fig. 26).

Or, d'après les anciens auteurs tels que Hotz et Stella, l'or natif se rencontrait au cours de l'exploitation en association avec les produits d'altération de la pyrite (limonite, ocres) dans les druses ou les fractures du quartz. Ces zones étaient les plus riches en or avec des teneurs exceptionnelles : ainsi dans le filon Fenillaz 462 kg de quartz ont fourni 40 kg d'or !

Cette discordance des observations peut s'expliquer ainsi : à l'heure actuelle, l'or natif visible dans le filon Fenillaz représente les miettes laissées par les anciens mineurs après l'extraction des plus grosses masses de minerai.

Quant à la répartition de l'or dans le filon, on constate une concentration plus forte de l'or une dizaine de mètres avant le contact roches paléozoïques et triasiques (fig.33); mais globalement elle reste assez aléatoire.

3.2.3.2. Filons à pyrite aurifère (type Béchaz)

La gangue :

Elle est de même nature que celle des filons à or natif, c'est-à-dire essentiellement du quartz. La calcite est présente dans une minorité de filons (surtout filon Comba-Toppa). Ici aussi, le quartz se présente sous deux formes : massif et laiteux ou cristaux de quartz tapissant des druses aux dimensions parfois exceptionnelles telle celle découverte par M. Bitossi dans le filon n°3 Béchaz : là, les pointes de quartz de 20-30 cm de haut et 5 cm de diamètre, à macle du Dauphiné fréquente, se regroupaient sur une plaque de plusieurs m^2, avec quelques gros cubes de pyrite et étaient recouvertes d'un encroûtement de limonite (fig.27). Parfois, la pyrite elle-même est si abondante qu'elle constitue le minerai principal, comme c'est le cas du filon Sache mais là, elle n'est pas aurifère.

Les sulfures :

Ils sont du même type que dans les filons à or natif, la différence essentielle consistant en l'abondance de la pyrite mêlée au quartz de la gangue. Dans les filons Béchaz, la pyrite constitue de véritables colonnes minéralisées alternant avec des zones de quartz presque stérile. Dans ces colonnes, pyrite et quartz sont en proportions égales et la pyrite y est massive, grenue et friable (fig. 28).

Les autres sulfures présents sont par ordre décroissant d'importance : galène, cuivres gris (panabase), chalcopyrite, pyrrhotite et blende (rare).

la galène représente parfois le minerai essentiel comme dans le filon Cheverin. Les cuivres gris sont plus abondants dans les filons Crête di Naie, Bochey et Orbeillaz.

L'or :

Il est le plus souvent en inclusions dans la pyrite, invisibles à l'oeil nu. Une étude par microscopie électronique a montré que ces inclusions ont des dimensions de l'ordre de la dizaine de µ et sont constituées par de l'or natif très pur (90 % Au, 10 % Ag+Hg). Elles sont réparties dans la masse de la pyrite. Parfois aussi, l'or est visible à l'oeil nu, en paillettes dans le quartz (Béchaz, Bochey, Orbeillaz). Mais c'est la pyrite aurifère qui constitue le minerai dans ce type de filons.

3.2.4. TENEURS, TONNAGES

Les teneurs d'exploitation sont résumées dans le tableau17 qui synthétise les données de bibliographie et des archives de l'Ufficio Minerario de Turin. La plupart des chiffres sont des teneurs moyennes; d'autres correspondent à un tonnage extrait insuffisant pour être fiables mais donnent un ordre de grandeur. Nous avons effectué de notre côté des estimations de teneurs sur les filons Béchaz n° 3 et Orbeillaz qui sont en accord avec les données historiques (voir chapitre 5).

Il ressort de ce tableau que le filon Fenillaz est le plus riche (15g/t). Les autres filons ont une teneur de l'ordre de 5 à 10 g/t Au.

Grâce à la connaissance des teneurs d'exploitation et à l'importance des travaux miniers, nous avons calculé le tonnage théorique extrait ainsi que les réserves probables et possibles dans différents filons. Ces données sont rassemblées dans le tableau 18 ; seul le filon Fenillaz est bien connu, tous les autres filons n'ont pas été reconnus dans leur totalité et en particulier le filon Gaebianche, semblable à celui de Fenillaz par son cadre pétrographique et tectonique, mais sans or natif visible en affleurement (réserves possibles 5 000 kg Au).

Le tonnage d'or extrait depuis le début de l'exploitation minière de ce district est estimé à 1 200 kg.

3.3. DESCRIPTION DES GÎTES ET INDICES AURIFÈRES

Nous avons choisi de regrouper les filons par secteurs géographiques car cette subdivision respecte la différenciation en deux types de filons du district : les filons du type Fenillaz sont situés sur la rive orientale de l'Evançon, au nord du district alors que le type Béchaz se concentre en rive occidentale.

Cinq secteurs miniers ont été distingués : il s'agit, du N au S, des secteurs Ciamusera, Testa di Comagna, Arbaz, Challant-Saint-Anselme et Challant-Saint-Victor (fig. 29).

Nos recherches et levés ont été facilités par l'existence d'anciens plans de mines pour les secteurs Ciamusera et Arbaz, disponibles à l'Ufficio Minerario di Torino. Tous les autres levés ont été effectués par nous-même au cours des campagnes de terrain 1978 et 1979.

Les coordonnées X et Y correspondent au quadrillage UTM des cartes de l'Institut géographique militaire au 1/25 000.

3.3.1. LES MINES DU SECTEUR CIAMUSERA

Ce secteur comprend 4 filons qui sont : Fenillaz, Speranza, Innominati et Gaebianche. Ils sont tous encaissés dans les gneiss paléozoïques et définissent le type "Fenillaz" à quartz et or natif. Leurs dimension et richesse sont les plus importantes du district (fig.30 et 36).

3.3.1.1. Filon Fenillaz (Au)

Feuille Gressoney X = 402,5 - Y = 5067,2 à 5 067,8 - Z = 1500 à 1730 m

Accès :

Malgré sa position en sommet de falaise, son accès est facile si on suit le sentier se dirigeant vers le SW à partir du hameau de la Croix.

Travaux :

Ce filon a été en grande partie exploité par 7 niveaux de galeries communiquant entre eux par de nombreux puits et dépilages. Les galeries ont été numérotées au fur et à mesure de l'exploitation et totalisent 2500 m de long (fig.31 en annexe et fig.35). Le minerai était évacué par les descenderies jusqu'à la galerie la plus basse (n°7), puis convoyé par wagonnets vers la plate-forme extérieure et descendu dans la vallée par un téléphérique aujourd'hui démonté. De nos jours, cette mine est encore en bon état et n'est pas dangereuse à visiter; cependant les entrées 2 et 6 sont éboulées et l'accès extérieur des galeries 4 et 5 est périlleux, mais dans la mine on passe d'un niveau à l'autre grâce aux dépilages peu pentus (45° en moyenne).

Géométrie :

C'est un filon de direction variant entre N 60 et N 90, penté 40 à 60° NW, sa direction moyenne est N 65, 45 NW (fig. 24). Son extension horizontale est de 400 m et de 300 m en pendage. Sa puissance varie de 0,3 à 1,5 m avec une moyenne de 0,8 m. Il est encaissé dans les gneiss minuti aux faciès variés : amphibolites, gneiss oeillés, gneiss amphiboliques, etc. Il se ferme par biseautage ou ramifications quelques mètres après avoir passé le contact de ces roches avec les marbres triasiques. Sous l'entrée n°1, il se scinde en 3 filons parallèles qui se rejoignent avant la galerie 2. Ce phénomène de dédoublement se retrouve au fond de la galerie 2.

Les galeries recoupent de fréquentes écailles tectoniques de marbres triasiques intercalées dans les gneiss; on peut supposer que les marbres affleurant au milieu des galeries 1,4,5 et 6 et au bout de la galerie 7 font partie de la même écaille qui aurait la forme d'une colonne de 100 m de haut sur 20 m d'épaisseur, pentée de 50° vers l'E (fig.33). Ces lentilles sont limitées par des failles N 120 et N 160 qui décalent le filon avec un rejet oblique de l'ordre de 10 mètres (niveau 4) et qui sont jalonnées par des masses métriques de listvénites apparemment non liées à des serpentinites. Les failles N 120 et N 160 ont dû jouer au moins deux fois, d'abord pour la mise en place des lentilles

triasiques dans les gneiss, puis postérieurement à celle du filon en le décalant par un mouvement de faille normale de sens dextre. Les listvénites, dont la formation est plus ancienne que les filons, pourraient bien ici avoir été reprises sous la forme de brèches de faille dans ces fractures décalant le filon (fig.32) Cette hypothèse est en partie confirmée par les analyses de l'or contenu dans les listvénites de Fenillaz et du district : ces roches étant faiblement aurifères (0,5 à 2 g/t Au), l'or pourrait provenir de la contamination des fractures N 120 par les fractures N 70 plus riches (12g/t).

Ces observations sur les relations entre les différentes directions de fractures du secteur Fenillaz ont été en partie confirmées par J.Pocachard (1980) après la prospection par magnétométrie du sommet de la falaise de Fenillaz : cet auteur met en évidence 3 directions d'anomalies magnétiques : N 70 en prolongement du filon, N 125 recoupant la N 70, et N 180 interprétée comme due à des lentilles de serpentinites à 15 m de profondeur provoquant l'interruption de la fracture N 70.

Extension :

Les limites de cette fracture minéralisée sont connues : le filon affleure en surface dans la falaise ainsi qu'à son sommet où il se ferme au contact du Trias sur les gneiss: de même il s'amenuise au fond des galeries à ce même contact. En aval pendage, un petit travers-bancs a retrouvé le filon à 1 525m dans la face N de la falaise; là, le filon, moins penté que la topographie, s'arrête brusquement dans le vallon contre la faille de Ranzola. Ainsi peut-on supposer qu'au cours de la montée des gneiss d'Arcesa au niveau de cette faille, le filon Fenillaz déjà formé a été sectionné.

Minéralisations :

La gangue est représentée surtout par un quartz laiteux et massif (avec quelques druses tapissées de beaux cristaux (jusqu'à 10 cm de long) encroûtés par des oxydes de fer. Ces cristaux montrent des phénomènes de régénération et d'accroissements incomplets (Colomba 1907). Lorsque le filon est encaissé dans les marbres, de la calcite se mélange au quartz; les autres composants mineurs sont l'ankérite et l'argile.

Aux épontes, les gneiss encaissants sont mylonitisés, séricitisés, quartzifiés, pyriteux sur quelques centimètres d'épaisseur; cette altération semble moins poussée que dans le cas des filons encaissés dans les ophiolites.

La minéralisation consiste en or natif, en mouchetures ou dendrites dans le quartz. L'or est cristallisé à l'extrémité des dendrites sous la forme d'octaèdres millimétriques (Colomba 1907). Après extraction du quartz, les paillettes mesurent entre 0,2 et 2 cm. Les sulfures sont présents mais peu abondants; il s'agit surtout de pyrite en cubes disséminés ou en poches décimétriques. Elle est plus abondante dans la partie supérieure du filon, du niveau 4 (1 620m) jusqu'à un puits supérieur (1 716m). Les cubes de pyrite sont presque toujours fortement oxydés alors que la pyrite massive a un aspect frais. Les autres sulfures (galène, cuivres gris, chalcopyrite) sont assez rares et se rencontrent dans le haut du filon avec la pyrite massive et leurs oxydes (malachite, azurite).

Les plus gros amas aurifères exploités sont reportés sur la fig.33 grâce aux plans de l'Evançon Gold Mining Company (1906) et à Hotz (1910). Leur répartition est aléatoire, mais on constate une certaine concentration des points

vers le fond des galeries, quelques mètres avant la fermeture de la fracture dans des roches moins compétentes; ceci peut s'expliquer par un simple phénomène de dépôt dans les zones en extension de cette fracture.

Cette concentration de l'or en fond de galerie explique pourquoi ce riche filon a été découvert tardivement vers 1890 alors que les autres sont connus, dans le même district, depuis le début du XVIIe siècle. Nous rapportons également, au sujet de la répartition de l'or, les affirmations de M.Bitossi que nous n'avons pu vérifier : l'or natif se rencontrerait souvent dans des petites fractures obliques par rapport au filon lui-même.

Perspectives :

La teneur d'exploitation moyenne de l'or de Fenillaz était de 14g/t. Le filon a été presque complètement exploité, ses extrémités sont connues. Il reste cependant quelques panneaux dans la partie inférieure du filon entre 1 525 m et 1 620 m. Leur volume peut être calculé : galerie 4, 2 400 m^3; galerie 5, 1 080 m^3; galerie 6, 5 760 m^3; galerie 7, 5 520 m^3. Soit un total de 14 760 m^3 équivalant à 40 000 t de tout venant. Il est difficile d'estimer la teneur en or de ces panneaux, mais nous pensons qu'elle est plus basse que celle connue dans le reste du filon: elle pourrait être comprise entre 5 et 10 g/t ce qui correspond à 200 ou 400 kg d'or à récupérer.

D'autre part, quant à la poursuite du filon au N de la faille de Ranzola, nous n'avons aucune idée de l'épaisseur de Schistes Lustrés recouvrant le filon; de plus, il est probable que cette faille a eu une composante verticale et décrochante, mais à l'heure actuelle nous ne pouvons pas en apprécier le rejet.

3.3.1.2. Filon Speranza(Au)

Feuille Gressoney 1/25 000 - X = 402,5 - Y = 5 067,5
Z = 1 620 m à 1 720 m

Accès :

Il est le même que celui du filon Fenillaz car ces deux filons sont parallèles et distants de 100 m environ. De plus ils sont du même type, mis à part l'épaisseur et la teneur en or.

Travaux :

Ce filon a été partiellement exploité entre 1906 et 1950 par 4 galeries de traçage (niveaux 1 623, 1 648, 1 665 et 1 675 m), un travers-bancs de 85 m de long le reliant au filon Fenillaz et des dépilages communiquant entre chaque niveau (fig.35). Les galeries totalisent 560 m de long (fig.34). Cette mine est encore en très bon état; cependant le niveau 1 665 m n'est plus accessible car remblayé, ainsi que l'extrémité du niveau 1 648 m.

Géométrie, extension :

La direction de ce filon varie entre N 70 et N 110 (moyenne N 75) et son pendage est de 45° NW(fig.31 et 24). En direction il mesure au moins 130 m et en pendage au moins 80 m; son épaisseur varie entre 0,05 et 1 m,

la moyenne étant 0,3 m.

Comme pour le filon de Fenillaz, des failles N 120 et N 160 délimitent des lentilles triasiques et décalent le filon par un mouvement dextre (fig.31).

L'extension de ce filon n'est pas connue : au fond des quatre galeries de traçage et sous le niveau le plus bas, il se prolonge parallèlement au filon Fenillaz sans le rejoindre. Si on prolonge vers le S le contact gneiss-marbres sur la fig.35,la fracture pourrait se prolonger sur 80 m en direction.

Minéralisations :

Elles sont du même type que celles du filon Fenillaz : quartz, or natif, sulfures peu abondants représentés par la pyrite.
On constate sur les anciens relevés le même phénomène de concentration d'or loin de l'entrée des galeries (fig.34).

Perspectives :

La teneur d'exploitation de l'or était de 5g/t d'après les chiffres de la société Rivetti. Ce chiffre nous semble un peu bas si nous le comparons avec le filon Fenillaz de même type. L'existence de ce prolongement en aval pendage et en direction rend certaine la présence de minerai aurifère dans le filon Speranza mais l'épaisseur et surtout la teneur sont trop faibles pour envisager des travaux de reconnaissance coûteux.

3.3.1.3. Filons Innominati (Au)

Feuille Gressoney : X = 402,5 - Y = 5 067,3
Z = 1 580 à 1 720 m.

Accès :

On prend au départ le sentier de la mine de Fenillaz,mais arrivé au sommet de la falaise il faut suivre cette crête en direction du S , puis descendre dans le deuxième vallon abrupt orienté E-W. L'endroit est très escarpé.

Travaux :

Ils consistent en une seule petite galerie de traçage de 10 m de profondeur,située à 1 600 m d'altitude.

Géométrie :

Trois filons, dont un stérile, affleurent au fond du vallon dans des amphibolites à grain très fin. Les filons minéralisés ont une direction N80 et un pendage compris entre 40 et 60° NW. Leurs dimensions ne sont pas totalement mesurables car la partie basse est inaccessible (falaise),mais ils mesurent au moins 20 m en direction et 50 m en aval pendage; leur épaisseur est comprise entre 0,5 et 1 m.

Le filon stérile est transversal par rapport aux précédents et de direction N 175 - 70 ° W. Il est recoupé et décalé par les filons minéralisés qui s'anastomosent au sommet du vallon à 1 630 m (fig. 30).

Minéralisations :

La gangue des filons minéralisés est surtout constituée par du quartz blanc et laiteux et par un peu d'ankérite. Par contre le quartz du filon stérile n'a pas le même aspect : couleur grisâtre, éclat translucide, aspect vitrifié.

La minéralisation consiste en pyrite et chalcopyrite très abondantes dans la petite galerie, mêlées à une brèche de quartz et d'enclaves des amphibolites encaissantes.

Hotz (1910) signale que l'on n'a pas trouvé d'or natif dans ce filon mais, vu sa ressemblance avec les filons riches voisins, il devrait recéler des minéralisations.

Perspectives :

Il serait utile de savoir si ces filons sont aurifères ou non; c'est pourquoi nous proposons un échantillonnage systématique et le dosage de l'or dans les zones minéralisées ; la poursuite de la galerie existante pourrait être envisagée par la suite,au vu des résultats.

3.3.1.4. Filon Gaebianche (Au)

Feuille Gressoney X = 402,1 - Y = 5 067,5 - Z = 1 230 m
X = 402,9 - Y = 5 066,8 - Z = 1 545 m

Une grande partie du filon est inaccessible à cause de sa situation en milieu de falaise.

Accès :

Plusieurs sentiers permettent de le rejoindre (fig. 36) mais son approche est dangereuse (forte pente) : le sentier partant de Graine en direction du NW conduit aux rameaux supérieurs et à la galerie. Celui qui part du virage en épingle (1 329 m) de la route de Graine amène à la zone médiane du filon.

Travaux :

Bien que ce soit le plus gros filon du district, il n'a presque pas été exploité : une galerie de traçage de 65 m de long s'ouvre à 1 505 m d'altitude, ainsi qu'un puits de 20 m de profondeur (1 550 m altitude) et quelques grattages dans la partie la plus basse du filon (fig. 37).

Géométrie :

Sa direction varie entre N 90 et N 120 et son pendage est de 40° N ou NE; sa direction et son pendage moyens sont N 105, 40°N (fig. 24).

A l'affleurement, il mesure au moins 80 m en direction et 1 500 m au total d'aval en amont pendage. Son épaisseur varie de 0,5 à 2,5 m avec une moyenne de 1,2 m.

30 AOUT 2003
Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

A sa base (1 230 m) il est encaissé dans les orthogneiss oeillés et constitué par un mélange bréchique de quartz et de gneiss sur 2 m d'épaisseur. Il se poursuit dans la paroi, recoupe le contact des deux sortes de gneiss paléozoïques en se divisant en deux (1 450 m) :là,il présente aussi un aspect bréchique à enclaves de gneiss minuti altérés à patine rouille dans le quartz massif. Dans la partie sommitale, chaque branche se subdivise encore en deux,ce qui donne quatre rameaux qui s'interrompent au contact entre les gneiss et les serpentinites (fig.36 carte 1/5 000).

La fermeture du rameau le plus haut s'accompagne d'une intense mylonitisation au mur de l'amphibolite encaissante, sur 0,50 m d'épaisseur et la gangue quartzeuse est remplacée par une brèche à patine rousse à éléments de quartz et fuchsite,c'est-à-dire une listvénite.

Le rameau le plus bas,où s'ouvre la galerie,se prolonge jusqu'au sommet de la falaise sans diminuer d'épaisseur mais son prolongement est caché par le recouvrement quaternaire.

Minéralisations :

La gangue est constituée essentiellement par du quartz laiteux,massif. Les inclusions d'amphibolites altérées sont fréquentes. Dans sa partie sommitale, en amont de la galerie, le quartz est très fracturé et fortement coloré en rouge par les oxydes de fer.

L'or n'a pas été vu mais, d'après Stella, la société anglaise en a trouvé 2 g/t dans le minerai provenant de la galerie. La pyrite est présente sous la forme de cubes disséminés dans le quartz en faible proportion,de même que la malachite et l'azurite.

En surface,ce filon est donc faiblement minéralisé.

Perspectives :

Le seul chiffre de teneur en or est,d'après la société anglaise,de 2 g/t. Cette teneur est en accord avec celle des filons de même direction (N 100) (fig.24). Cependant,vu le tonnage de minerai disponible et les ressemblances avec le type Fenillaz, nous pensons qu'il serait utile de poursuivre la galerie existante en direction sur 50 à 80 m environ. En effet, une concentration de l'or en profondeur (100 m) a été constatée dans les filons riches du type Fenillaz.

3.3.2. LES MINES DU SECTEUR TESTA DI COMAGNA

Ce secteur comprend 4 filons ou groupes de filons : Comba Toppa, Cheverin, Testa di Comagna et Col de Joux. Ils sont de dimensions plus modestes que ceux du secteur Ciamusera et n'ont été que partiellement exploités. Ils appartiennent au type Béchaz, à quartz et pyrite aurifère (fig.38).

3.3.2.1. Filon Comba Toppa (Au-Cu)

Feuille Challant : X = 401,4 - X = 5 066,4 -
Z = 1 800 à 1 900 m.

Accès :

Au premier virage en épingle au dessus d'Arbaz, on prend la direction de Bechaz grâce à une route forestière ; après 1/4 d'heure de marche, il faut bifurquer en direction du Nord en suivant la route très raide. Au bout de 3/4d'heure de marche, un ravin abrupt coupe le chemin après un grand replat herbeux. L'entrée des travaux miniers se situe dans ce ravin au niveau d'un mur de soutènement qui barre le fond du talweg.

Travaux :

Une galerie de traçage de 100m s'ouvre à 1 830 m d'altitude sur le flanc sud d'un profond ravin entaillé dans les gneiss (fig.39). Vers le milieu de la galerie, un puits de 30 m suit le filon en aval pendage. Ces travaux effectués par la société anglaise sont encore en très bon état. Ce filon fait l'objet d'un permis de recherches accordé à M.Bitossi jusqu'en 1982.

Géométrie :

La direction du filon varie entre N 45 et N 60, son pendage étant de 70° NW. Il est encaissé dans les orthogneiss oeillés paléozoïques. Au bout de la galerie le filon est épais de 1 m. En aval pendage,le filon est rendu inaccessible par la pente du ravin. En amont pendage, on peut le suivre jusqu'au contact tectonique des marbres triasiques sur les gneiss à 1 900 m d'altitude. Comme le filon Fenillaz, le filon Comba Toppa coupe le contact puis s'épuise dans le Trias en se ramifiant en filonnets de moins de 2 m d'extension. Ses dimensions sont donc d'au moins 100 m en direction, 100 m en pendage ; l'épaisseur varie de 0,4 à 1,5 m, la moyenne étant de 1 m.

Minéralisations :

La gangue est constituée en parties égales par du quartz et de la calcite; le quartz se présente sous la forme de masses d'un blanc laiteux et de cristaux décimétriques ; la calcite rose à brune a cristallisé entre les cristaux de quartz et leur semble postérieure.

Les sulfures sont représentés par la pyrite et par un peu de chalcopyrite. La pyrite constitue environ le 1/3 de la masse filonienne et de dispose en amas plus ou moins parallèles aux épontes. Près du puits, elle est fortement oxydée en limonite de même qu'en surface, vers le haut du filon.

Nous ne disposons d'aucune donnée bibliographique quant à la teneur en or du minerai. Mais,d'après M. Bitossi, les anglais l'exploitaient à environ 10 g/t. Au cours de l'été 1980, M. Bitossi a effectué plusieurs essais supérieurs à 100 kg de tout venant dont l'analyse a donné 7g/t.

Perspectives :

Ce filon bien minéralisé en pyrite n'a été que partiellement exploité. 28 000 t de minerai sont disponibles mais la teneur en or reste à préciser. Nous proposons donc un échantillonnage systématique tous les 7 m et des analyses précises afin de mieux connaître la teneur en or.

3.3.2.2. Filon Cheverin (Pb, Ag)

Feuille Challant X = 401,5 - Y = 5 065,8 - Z = 1 720 m

Accès :

Le départ est le même que pour le filon Comba Toppa, mais à 1 730 m un sentier se détache de la piste forestière, en direction NE; la mine se trouve au fond d'un petit ravin, sous une falaise de serpentinites.

Travaux :

Ce filon a été partiellement exploité par 2 galeries de traçage (25m de long à 1 710m d'altitude et 45 m à 1 725 m d'altitude) (fig.40) et par des dépilages où sont visibles d'anciennes traces d'abatage à la main. Avant d'arriver à la galerie supérieure, on peut voir, dans les ruines d'une maison, un ancien moulin à minerai en pierre.

Géométrie :

Le filon a une direction N 70 et un pendage 75° NW. Il est encaissé dans les orthogneiss oeillés près de leur contact avec les calcschistes. Près de l'entrée des galeries, les gneiss minuti affleurent sous la forme d'écailles métriques intercalées dans les orthogneiss.

En aval pendage, le filon se poursuit dans les gneiss mais est inacessible; en amont, il est caché par des éboulis mais il doit être interrompu rapidement par les calcschistes et serpentinites sus-jacents . En bout de galerie, le filon montre la même épaisseur et doit se prolonger. Ses dimensions sont donc d'au moins 50 m en direction et en pendage aval et sa puissance est de l'ordre du mètre.

Minéralisations :

La gangue du filon est constituée par du quartz massif et laiteux. La minéralisation est représentée, d'après les échantillons de la décharge par : galène, pyrite, chalcopyrite, malachite, azurite, limonite. La galène représente le minerai. Nous ne disposons d'aucune donnée sur la teneur de ce minerai en Pb et Ag, ni sur le tonnage extrait.

Perspectives :

C'est le seul filon exploité pour la galène. Nous ne savons pas si la pyrite est aurifère et ses dimensions sont modestes. C'est pourquoi nous le citons seulement pour mémoire.

3.3.2.3. Filons Testa di Comagna (Au)

Feuille Challant X = 401,4 - Y = 5 066,5 Z = 1 900 m

Accès :

Il est le même que pour le filon Comba Toppa, mais il faut laisser le ravin à droite et continuer direction plein Nord.

Travaux :

Plusieurs travers-bancs, dépilages et tranchées ont été creusés dans des temps anciens, mais aujourd'hui ils sont tous éboulés et inaccessibles.

Géométrie :

C'est un réseau de 5 filons parallèles de direction N 35 et de pendage 30 à 50 W. Ils sont encaissés dans les orthogneiss oeillés ; cependant le filon le plus important se prolonge jusqu'au contact avec les marbres triasiques où il se ferme.

Le plus gros filon a pour dimensions 300 m en direction, au moins 100 m en pendage et une épaisseur moyenne de l'ordre du mètre. En aval pendage, son affleurement en falaise le rend inaccessible.

Minéralisations :

Dans une gangue de quartz massif, blanc, la pyrite se présente en amas peu abondants mais nous ne savons pas si elle est aurifère. Ces filons mériteraient un échantillonnage systématique et l'analyse des prélèvements pour l'or.

3.3.2.4. Col de Joux (Au)

Feuille Gressoney : X = 400,6 - Y = 5 067,6 - Z = 1 530 à 1 780 m.

Accès :

A partir de la route qui de Brusson amène au Col de Joux, on monte dans le versant raide en direction du Sud ; les filons affleurent au-dessus d'un éboulis et se suivent en direction assez haut dans la pente (fig.41).

Travaux :

Les filons ont seulement été grattés là où ils sont le mieux minéralisés, par 2 petites galeries à 1 540 et 1 690 m.

Géométrie :

C'est un filon qui se subdivise à partir de 1 650 m en 4 rameaux visibles jusqu'à 1 780 m puis inaccessibles. Leur direction est N 10 et leur pendage 75 W. Leur dimension globale est en direction supérieure à 10 m et en pendage de 250 m, alors que leur puissance varie de 0,2 à 1,2 m avec une moyenne de 0,6 m. Ils sont encaissés dans les orthogneiss oeillés. Près de la galerie basse, l'encaissant constitue une brèche avec le quartz.

Minéralisations :

La gangue est représentée par du quartz massif ou en cristaux. La pyrite est peu abondante sauf au niveau des deux grattages. Deux paillettes d'or natif ont été trouvées à proximité de la galerie basse dans un filonnet de quartz parallèle au filon principal.

Perspectives :

Aucune teneur en or n'est disponible dans la bibliographie; ces filons représentent un assez gros volume de tout venant (environ 4 000 t) faiblement minéralisé en sulfures; ils mériteraient un échantillonnage et le dosage de l'or du minerai afin d'en préciser la teneur.

3.3.3. LES MINES DU SECTEUR D'ARBAZ

Ce secteur est le plus important sur le plan minier, après celui de Ciamusera. Il comprend plusieurs groupes de filons de dimensions très variées et qui sont : les 13 filons de Bechaz, les filons Bouchaille, Crestelle, Via Béchaz et Trivera (fig.42). Ils définissent le type Béchaz à quartz et pyrite aurifère et certains ont été exploités également pour le cuivre. Plusieurs autres filons semblables mais plus modestes n'ont pas été répertoriés.

3.3.3.1. Mines de Béchaz (Au)

Feuille Challant X= 401,7 à 401,9 - Y = 5 065,1 à 5 065,3
Z = 1 480 à 1 620 m

Les gneiss oeillés sont injectés par une multitude de filons de quartz iso-orientés dont seuls les 13 les plus minéralisés ont été exploités et répertoriés ici (fig.10 et 43).

Accès :

Il faut prendre la route forestière qui débute dans le premier virage en épingle au dessus d'Arbaz et qui conduit directement aux filons les plus bas.

Travaux :

Les filons 1 à 6 ont été exploités par 4 travers-bancs de 100 à 150 m de long, par des galeries de traçage (100 à 200 m) et par des dépilages faisant la jonction entre ces galeries et la surface. Le minerai extrait de ces filons était acheminé par descenderie jusqu'au niveau du travers-bancs n°1 puis broyé dans les moulins proches de l'entrée de cette galerie. Les travers-bancs et galeries sur les filons 1 à 4 sont encore en très bon état, tandis que les galeries du filon n° 6 sont éboulées. Les filons 7 à 13 ont été grattés par des tranchées aujourd'hui obstruées ou par de courtes galeries (fig. 44 , 45 , 46 , 47 , 48 , 49).

Géométrie :

Les filons de Béchaz sont contrôlés par un intense système de fractures parallèles dont l'orientation moyenne est N 60 et le pendage de 65° NW (fig.24). Ils sont tous encaissés dans des orthogneiss oeillés ; cependant les filons n° 6 et 9 se poursuivent dans les gneiss amphiboliques peu épais ici, puis s'interrompent au niveau du contact tectonique des calcschistes.

Les dimensions de ces 13 filons ne sont pas homogènes ; le filon n°3 qui est le mieux reconnu fait 160 m en direction, au moins 80 m en pendage et son

épaisseur varie entre 0,3 et 1,2 m, la moyenne étant de 0,7 m. Les autres filons sont moins importants ; le plus petit est le filon n° 1 avec 30 m de long, mais la plupart sont de l'ordre de la centaine de mètres en direction (fig. 43) et de 0,5 m en puissance. Leur dimension en pendage est mal connue par suite de l'absence de travaux de reconnaissance en profondeur.

Fréquemment des éléments bréchiques de gneiss oeillés sont inclus dans la gangue, mais ils ne sont pas oxydés comme dans le cas des filons encaissés dans des amphibolites. De même on n'observe pas d'altération des épontes ce qui peut s'expliquer par la nature hyperacide et la faible teneur en Fe des gneiss. Au niveau du travers-bancs Béchaz, le filon n° 4 présente par endroit des épontes de nature différente : le plan de faille est remplacé par une intrication grossière entre le gneiss, le quartz et la pyrite, la limite entre le filon et sa caisse étant floue.

Minéralisations :

La gangue est constituée par du quartz principalement, parfois par de la calcite rosée (filon n° 4). Le quartz se présente sous une forme massive, de couleur blanc laiteux à rouge (oxydes de fer) ou bien sous la forme de cristaux formant des druses de taille exceptionnelle (fig.27) : plaque de plusieurs m , cristaux jusqu'à 30 cm de hauteur, à macle du Dauphiné fréquente, recouverts par d'épais encroûtements de limonite, ocre et argile.

Les sulfures sont représentés par : pyrite, chalcopyrite, galène, blende (rare). Nous n'avons pas observé d'arsénopyrite. La pyrite est de loin la plus fréquente et apparaît sous deux aspects : dans les parties stériles du filon, il s'agit de cubes millimétriques très disséminés dans le quartz, alors qu'elle représente le minerai aurifère dans les zones enrichies en pyrite massive, jusqu'à constituer des colonnes minéralisées de 80 m de longueur sur 60 m de pendage, comme dans le filon n° 3; là, la pyrite friable se concentre en amas pluridécimétriques plus ou moins parallèles aux épontes (fig.28).

En section polie, la pyrite automorphe de ces amas est souvent fissurée; ces microfissures sont remplies par du quartz, de la chalcopyrite ,de la galène et de l'hématite.

L'or natif a été observé en micro-inclusions (10µ) dans le quartz ou dans la masse de la pyrite. Ceci a été confirmé par une étude de la pyrite du filon n° 3 à la microsonde électronique Camebax du laboratoire du DMG-SEM.GSS. CEN Grenoble :
une inclusion d'or de 10 x 5 µ a été mise en évidence dans une section de pyrite provenant de la colonne du filon n° 3; elles est constituée uniquement par de l'or (90%) et de l'argent (10%) (fig.80). D'autre part, l'or natif visible à l'oeil nu n'est pas fréquent dans les zones minéralisées et, dans ce cas, il apparaît comme une mince pellicule recouvrant les faces des cristaux de pyrite.

L'or des filons Béchaz est donc de nature microscopique dans la pyrite.

La teneur en or de ces filons est d'après la bibliographie de 7g/t en moyenne, le quartz stérile en contient 1g/t . Dans le filon n° 3, des passées plus riches ont été découvertes, qui titraient 80g/t. Nous avons de notre côté essayé d'estimer les teneurs du minerai grâce à un échantillonnage systématique

par éclats dans le filon n° 3 et grâce à l'analyse des 12 prélèvements. Les résultats complets sont donnés dans le chapitre 5. Les valeurs obtenues varient entre 0,01 et 35 µg/g sur des échantillons provenant des zones respectivement stériles et riches du filon. Dans la colonne pyriteuse, les teneurs se resserrent entre 1 et 10 g/t, ce qui confirme les données précédentes.

Perspectives :

En aval pendage du filon n° 3, entre les niveaux 1 500 et 1 470 m, (fig.48), il reste à vue 350 t de minerai qui pourraient recéler 2,5 kg Au. Le filon n°4 se prolonge en amont pendage et 700 t de minerai équivalant à 5 kg Au seraient récupérables. Les filons 7 à 13 n'ont presque pas été touchés mais sont moins minéralisés que les autres; ils nécessiteraient cependant une reconnaissance plus approfondie.

3.3.3.2. Filon Bouchaille (Au)

Feuille Challant : X = 401,8 - Y = 5 064,8 - Z = 1 450 m
X = 402,3 - Y = 5 065,2 - Z = 1 170 m

Accès :

Pour atteindre la partie basse du filon, il faut prendre la petite route située à gauche en montant entre les kilomètres 11 et 12 de la route nationale 506. La galerie principale s'ouvre au-dessus d'un éboulis à 1 170 m d'altitude près d'une maison en ruines. On accède au sommet du filon par le même chemin que celui de la mine de Béchaz,mais on doit descendre sous les anciens bâtiments de la mine, sous un replat,en direction du SE. Les grattages sont difficiles d'accès car situés dansla falaise de gneiss (fig.42).

Travaux :

Le filon a été partiellement reconnu par une galerie de traçage de 560 m de long située à 1 168 m d'altitude, au niveau le plus bas connu.et par 2 grattages de 6 m (1 330 m) et 10 m (1 370 m) (fig.50).

Ces travaux, encore en très bon état, ont été entrepris par la compagnie anglaise. Comme le filon est très bien minéralisé au sommet, on pensait l'exploiter par un dépilage entre cette zone et la galerie basse,mais la faible minéralisation du filon à ce niveau a fait arrêter les travaux.

Géométrie :

Dans la partie basse, la direction du filon oscille entre N 60 et N 70, le pendage étant de 70° NW. Le lever de la galerie (fig.50) montre que le filon est constitué d'au moins deux passées quartzeuses alignées,séparées par une serrée des fractures qui s'amenuisent progressivement jusqu'à leur fermeture. L'encaissant est un gneiss à porphyroblastes d'orthose et à rares veines d'aplites. Au toit, une brèche mylonitique de 0,30 m de puissance souligne le plan de faille N 60. La masse du filon contient de nombreuses enclaves bréchiques de gneiss fortement altérés (séricite, chlorite) et quartzifiés.

Dans la zone supérieure (1 330 m), la direction du filon est N 65-80° NW, l'encaissant étant encore formé par les gneiss oeillés. Mais dans la galerie la

plus haute (1 370 m), la direction change (N 90-55°N) et là, le filon est encaissé dans les gneiss amphiboliques.

Plus haut, le filon se suit jusqu'à 1 450 m où il s'arrête brusquement au fond d'un vallon sous des moraines. Il est vraisemblable qu'il se prolonge encore sur quelques mètres,puis est interrompu par le contact tectonique des calcschistes tout proche (fig.42).

Les dimensions de ce filon sont donc de 500 m en direction et d'au moins 300 m en pendage; l'épaisseur varie entre 0,6 et 2 m avec une moyenne de 1,2 m.

Minéralisations :

La gangue est constituée par du quartz massif blanc ou rouge (oxydes de fer) et de la calcite jaunâtre (galerie basse). Le filon est très bien minéralisé tant que l'encaissant est représenté par les gneiss amphiboliques, soit sur 80 m en pendage amont où pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite et hématite s'associent et forment une zone d'oxydation (chapeau de fer). La pyrrhotite est très abondante au niveau 1 370 m. Par contre, dans la galerie basse, le quartz est peu minéralisé en sulfures, on y observe seulement quelques petits amas de pyrite.

Nous ne savons pas si la pyrrhotite est aurifère.La seule donnée disponible sur la teneur en or du filon Bouchaille est rapportée par Schmidt : 18 g/t sur 84 kg de minerai trié qui devait provenir de la zone d'oxydation du filon, donc ce chiffre est certainement trop fort. On peut cependant espérer une teneur en or plus basse,de l'ordre de 7g/t comme pour les filons Béchaz.

Perspectives :

Il faudrait vérifier la teneur en or du filon Bouchaille par les méthodes classiques d'échantillonnage systématique et d'analyse de l'or. Si ces teneurs sont bonnes (Au supérieur à 10g/t), on pourrait envisager de reconnaître les extensions des zones minéralisées par une galerie de traçage de 50 m de long environ.

3.3.3.3. Indice Via Béchaz (Cu, Au ?).

Feuille Challant : X = 401,3 - Y = 5 064,4 - Z = 1 440 m

Accès :

Prendre le sentier débouchant dans le dernier virage en épingle avant d'arriver à Arbaz. L'entrée de la galerie est située à moins de 100 m de la route.

Travaux :

Une galerie de 75 m de long et un puits de 30 m permettent la reconnaissance partielle de l'indice.

Géométrie :

La direction de ce filon varie en N 32 et N 40, son pendage entre 55-90° NW. Il est encaissé dans des amphibolites massives du groupe des ophiolites mésozoïques. Le filon s'amenuise vers le fond de la galerie,puis est coupé par une zone faillée (N10) associée à lentille de serpentinites (fig. 51). Au bout de la galerie, le filon ne réapparaît pas après cette faille. A l'extérieur, on ne peut pas en observer les prolongements car le terrain est recouvert de moraines et de prés.

Les dimensions de ce filon sont de 45 m en direction, au moins 30 m en pendage, l'épaisseur moyenne étant 0,3 m.

Minéralisations :

Dans une gangue de quartz massif et blanc, s'associent : cuivres gris, pyrite, chalcopyrite, malachite et azurite . Ce sont les cuivres gris qui prédominent. Nous ne savons pas si ces sulfures sont aurifères car les teneurs révélées par l'exploitation manquent.

Perspectives :

Ce filon a dû être exploité pour le cuivre vu la nature de la minéralisation. Nous le citerons seulement pour mémoire

3.3.3.4. Indice Crestelle (Au, Cu ?)

Feuille Challant : X = 401,6 - Y = 5 064,5 - Z = 1 500 à 1 540 m.

Accès :

A partir du dernier virage en épingle sous Arbaz, prendre le sentier supérieur en direction de Béchaz. Le filon se situe tout près du sentier et est signalé par une décharge de quartz blanc.

Travaux :

Ce filon a été seulement gratté par tranchées et par un puits de 10 m de profondeur.

Géométrie :

La direction varie de N 30 à N 50, le pendage entre 50 et 70° NW. Il est encaissé dans des amphibolites très sombres, à grenats rouges ,appartenant au groupe des ophiolites. Il se divise dans sa partie médiane en deux rameaux. Au niveau des épontes,on observe une forte altération des amphibolites,sur 1 m d'épaisseur,en roches à patine rouille à séricite, carbonate,oxydes de fer. Les dimensions approximatives de ce filon sont de 200m en direction et d'au moins 30 m en pendage, son épaisseur moyenne étant 1 m.

Minéralisations :

Dans une gangue de quartz très blanc et massif, pyrite, chalcopyrite, malachite et azurite s'associent. Nous n'avons pas observé d'or natif et aucune donnée bibliographique n'est disponible pour cet indice, mais on peut supposer que ce filon a été gratté pour le cuivre.

Perspectives :

Cet indice fait partie,avec l'indice suivant (Trivera), d'un groupe d'une dizaine de filons semblables minéralisés en Cu situés entre Arbaz et Béchaz. Ils n'ont pas été exploités et ne seront pas décrits en détail.

3.3.3.5. Indice Trivera (Cu)

Feuille Challant = X = 401,3 - Y = 5 065,05- Z = 1 670 m

Accès :

Prendre la route forestière qui conduit à la mine de Béchaz, mais après 10 mn de marche, il faut la quitter et se diriger vers le NW, vers la forêt. L'indice se situe au milieu de la forêt à 1 670 m d'altitude (fig.42).

Travaux :

Le filon a été gratté par un puits assez important mais actuellement noyé.

Géométrie :

Le filon affleure seulement au niveau de ce puits; ses prolongements sont cachés sous la couverture végétale. Près du puits, c'est un filon double de 2,5 m d'épaisseur totale et de direction N 60, 80° NW. Ses dimensions ne sont pas mesurables.

Minéralisations :

La gangue est constituée par du quartz semblable à celui des autres filons. La minéralisation est composée de chalcopyrite, pyrite, galène, malachite, hématite. Les mineurs locaux y ont extrait du cuivre,mais nous ne savons pas à quelle teneur.

3.3.4. LES MINES ET INDICES DU SECTEUR CHALLANT-SAINT-ANSELME

Avec le secteur Testa di Comagna, ce secteur a fait l'objet de travaux de recherches mais pas d'exploitation minière. Nous y avons regroupé 5 filons qui sont tous encaissés dans des ophiolites et qui sont du type "Béchaz" à quartz et pyrite aurifère. Il s'agit des filons : Crête di Naie, Goia di Pauline, Bochey, Orbeillaz et Bec de l'Aigle (fig.52 et 53).

3.3.4.1. Filon Crête di Naie (Cu, Au)

Feuille Challant = X = 402,2 - Y = 5 064,7 - Z = 1 180 m

Accès :

L'entrée des galeries se situe dans les 3ème et 4 ème virages en épingle de l'ancien sentier muletier conduisant à Béchaz et qui part de Torretaz,derrière la colonie de vacances proche de la route nationale 506.

Travaux :

Deux galeries de 100m de long, s'ouvrent à 1 180 et 1 200 m au milieu d'une forêt très dense. Elles sont encore en bon état mais elles sont pleines d'eau et les parements sont recouverts de boue ce qui ne facilite pas le levé géologique (fig.54).

Géométrie :

Il ne s'agit pas d'un filon de quartz mais d'un amas de listvénites minéralisées intercalé entre une lentille de serpentinite au toit et un filon de lamprophyre type minette au mur (chapitre 2.1.2.2.6.). Cet ensemble se situe dans la zone de fractures du contact tectonique chevauchant des Schistes Lustrés à ophiolites sur les gneiss primaires. Le contact avec la minette (mur) est net car c'est un plan de faille N 70 à N 90 penté de 80° vers NW. Au toit, le passage entre les listvénites et les serpentinites est progressif avec intercalation d'une roche litée, friable composée surtout de carbonates, séricite et chlorite.

On ne peut observer les listvénites qu'en galerie à cause de l'épaisse couverture quaternaire si bien que l'extension de la zone minéralisée est d'au moins 100 m en direction, 30 m en pendage, son épaisseur ne dépassant pas 10 m.

Minéralisations :

Dans une gangue à quartz, carbonates (calcite, ankérite) et fuchsite, la paragenèse est constituée par : cuivre gris (panabase), galène, pyrite, malachite, azurite. Le "filon" devait être exploité pour le cuivre car c'est la panabase qui est la plus abondante, mais ces listvénites contiennent aussi de l'or : en section polie, nous avons observé une paillette d'or natif (1 à 5 µ) dans un filon de quartz recoupant la gangue de listvénites. D'autre part, la listvénite a été analysée par spectrométrie de masse à étincelles et contient environ 1 g/t d'or (voir chapitre 5.4).

Ainsi, l'or présent dans ces brèches leur serait postérieur et contemporain d'une silicification des listvénites, liée à une zone de failles N 120.

Perspectives :

Une meilleure connaissance des teneurs en Au, Ag et Cu serait nécessaire et nous suggérons un échantillonnage systématique en galerie puis l'analyse des prélèvements.

3.3.4.2. Filons Goia di Pauline (Au)

Feuille Challant : X = 402,6 - Y = 5 064,3 - Z = 1 000 m

Accès :

A partir du hameau Mae, on prend le sentier conduisant à Moussanet; les filons se situent au niveau du torrent Evançon et affleurent sur chaque rive (fig. 52).

Travaux :

Les premiers grattages dateraient du temps des Salasses et ont été repris par de Robilant en 1780, puis vers 1950 par les mineurs du pays qui les ont partiellement dépilés.

Géométrie :

C'est un réseau de filons de deux directions conjuguées : la direction N 110, 70 ° NE correspond à 4 filons dont un puissant d'1 m et 3 plus minces (0,3 m), alors que la direction N 30, 70° NW est remplie de filonnets de moins d'1 cm d'épaisseur. Ces filons sont encaissés dans des amphibolites massives, sombres, du groupe des ophiolites mésozoïques, fortement altérées aux épontes. Les dimensions de ces filons ne sont pas faciles à estimer car ils se perdent rapidement dans les prés. En direction, le filon le plus gros se suit sur 80 m; en pendage les travaux atteignent 10 m.

Minéralisations :

La gangue des deux types de filons est constituée par du quartz et de la calcite; les sulfures sont la pyrite et la galène, plus abondants dans les trois filons moyens que dans le plus gros. M. Bitossi affirme que quelques paillettes d'or natif étaient visibles dans les filonnets, mais nous n'avons aucune idée de la teneur en or de ce groupe de filons.

3.3.4.3. Mine de Bochey (Au)

Feuille Challant : X = 401,1 - Y = 5 063,7 - Z = 1 230 à 1 330 m.

Accès :

A partir du virage en épingle (1 210 m) de la route de Challant à Arbaz, on se dirige par une route en terre jusqu'à un ruisseau. L'entrée des travaux se trouve à proximité de ce vallon.

Travaux :

Une galerie de traçage et un travers-bancs (250 m de long) reconnaissent la partie basse du filon ((1 230 m), mais une grande partie de ces travaux a été noyée et sert de réservoir d'eau à la commune de Challant. C'est pourquoi nous ne donnerons qu'un plan partiel des galeries (fig.55).

Géométrie :

Il s'agit plutôt d'un stockwerk que d'un filon; il est encaissé dans des amphibolites et des prasinites.

Dans sa partie la plus basse (1 230 m), c'est un filon métrique aux bords nets, de direction N 65, 80° NW. A 1 250 m, au-dessus d'un sentier, le mur est un plan de faille N 40, 50° NW où alternent des filonnets décimétriques et une brèche métrique de quartz, listvénites et roches encaissantes altérées. Au toit, des enclaves d'amphibolites font que le passage filon-encaissant est progressif. A 1 280 m, le stockwerk s'épaissit et constitue une brèche à alternances de quartz et d'amphibolites de 6 m de puissance et de direction N 45, 40° NW. Plus haut, l'amas s'épaissit encore (10m) puis disparaît sous un éboulis et des plantations.

Les extensions de cet amas sont de l'ordre de 250 m en direction et au moins 100 m en pendage (en aval pendage, il disparaît au fond du vallon sous des éboulis où il nous semble limité par une faille).

Minéralisations :

La gangue est constituée essentiellement par du quartz blanc massif ou fracturé, ainsi que par de la calcite jaunâtre, De fréquentes enclaves d'amphibolites plus ou moins altérées et des listvénites épaississent ce filon. La minéralisation est composée de chalcopyrite, cuivres gris, pyrite, fuchsite, malachite, azurite, et se concentre dans la partie basse du filon jusqu'à 1 300 m. Quant à l'or nous n'en avons pas vu,mais N. de Robilant y signale la découverte d'une pépite de 150 g d'or. Nous ne disposons pas de teneurs en or du filon Bochey mais nous pouvons supposer qu'elle était assez bonne.

Perspectives :

L'estimation de la teneur en or des zones minéralisées serait utile et nécessiterait un échantillonnage systématique tous les 10 m dans la section inférieure du filon,puis le dosage de ces prélèvements.

3.3.4.4. Le filon Orbeillaz (Au-Cu)

Feuille Challant : X = 400,1 - Y = 5 063,4 - Z = 1 380 à 1 490 m.

Accès :

Les galeries s'ouvrent au pied de la falaise de Mont Ros, au-dessus d'une route en terre qui du village d'Orbeillaz conduit au bassin de l'ENEL (fig. 53).

Travaux :

Quatre galeries de traçage reconnaissent le filon : dans la galerie n°1 (1 380 m - 20 m long) le filon est rapidement faillé. La galerie n° 2 (1 405m) suit le filon sur 160 m en direction et sur 30 m en pendage (puits). La galerie n° 3 (1 440 m) a 80 m de long, alors que la galerie n°4 (1 470m) s'allonge sur 70 m. Ces travaux sont encore en très bon état. Dans les galeries 2,3,4, sont visibles les traces assez fraîches d'un échantillonnage du filon par rainurage. Nous ne savons pas pour qui il a été fait ni quels en sont les résultats (fig. 56).

Géométrie :

Ce filon aux bords très francs a une direction comprise entre N 150 et N 160 et un pendage de 50° SW, en moyenne N 160, 50° SW (fig.24). Il est encaissé dans des prasinites et ovardites du groupe des ophiolites qui sont fortement altérées aux épontes sur 2 m de puissance. Il montre de fréquentes enclaves de prasinites altérées et de listvénites dans sa gangue.

Sous la galerie la plus basse, son prolongement en aval pendage doit être rapidement limité par la présence de serpentinites et de failles associées. Il affleure encore au-dessus de la galerie n°4,puis devient inaccessible dans la falaise. Ses dimensions sont donc d'au moins 180 m en direction, de plus de 140 m en pendage ; son épaisseur varie entre 0,3 et 1,5 m en moyenne 1 m.

Minéralisations :

La gangue est un quartz blanc massif ou friable, faiblement minéralisé en pyrite, chalcopyrite, cuivre gris, galène et or natif. Le filon Orbeillaz se rapproche plus du type Fenillaz par ses sulfures dissiminés dans le quartz. Notre estimation de la teneur en or après échantillonnage systématique montre des teneurs plus fortes dans les 2 galeries supérieures et une valeur moyenne de 1g/t (chapitre 5).

Perspectives :

La faible teneur en or ne permet pas à l'heure actuelle d'y envisager des travaux plus poussés.

3.3.4.5. Amas Bec de l'Aigle (Au ?)

Feuille Challant : X = 399,5 - Y = 5 062,1 - Z = 1 170 m

Accès :

Il se situe au sommet de la falaise dominant Challant-Saint-Victor; pour y accéder, il faut prendre le chemin qui débouche dans le virage en épingle de la route d'accès au filon d'Orbeillaz et le suivre en direction du SW jusqu'au bord de la falaise.

Travaux :

Cet amas a été exploité comme carrière de quartz.

Géométrie :

C'est un énorme amas subhorizontal de quartz injecté dans des amphibolites du groupe des ophiolites. Le bord supérieur de cet amas constitue le sommet de la falaise et ses relations avec l'encaissant n'y sont pas visibles. Par contre, la base est accessible et constitue une brèche à éléments anguleux d'amphibolites altérées en roches à oxydes de fer et séricite, de taille très variable (1cm à 1 m),ou bien à enclaves de listvénites (fig. 57). Le passage de l'amphibolite au quartz presque pur se fait progressivement par l'intermédiaire de cette brèche de plus en plus quartzeuse.

Cette falaise exposée au S se prolonge par une face W, ce qui nous permet d'observer les prolongations horizontales de cet amas : cette masse quartzeuse, à léger pendage vers le S,mesure 500 m en direction et pendage et au maximum 30 m en puissance. Dans la falaise W, elle est fracturée par une faille verticale,puis se prolonge vers le N en se ramifiant.

Minéralisations :

La quartz de la gangue ne diffère pas de celui des filons aurifères,sauf par son volume. A part quelques cristaux centimétriques de pyrite et cuivres gris, cet amas n'est presque pas minéralisé. Un essai par batée prélevée dans les éboulis au pied de la carrière n'a pas montré d'or visible.

Perspectives :

Cet amas devrait faire l'objet de quelques analyses de contrôle.

3.3.5. LES MINES DU SECTEUR CHALLANT-SAINT-VICTOR

Notre classification géographique des mines du district a amené à regrouper dans ce secteur deux indices très différents : la mine de pyrite de Sache (ou Chasses) et le groupe d'indices d'or Villa. Ces derniers sont en tous points semblables aux indices encaissés dans les ophiolites déjà décrits, tandis que le filon Sache se différencie par le volume et la nature de ses minéralisations (fig.58).

3.3.5.1. Mine de Sache (Fe, W, Au ?)

Feuille Challant : X = 399,8 - Y = 5 060,1 - Z = 530 à 670 m

Accès :

L'entrée du travers-bancs inférieur se situe au pied de la cascade d'Isollaz mais elle est inaccessible en saison de vives eaux. Les travaux supérieurs s'ouvrent sur les deux rives du torrent Evançon à 635 m en amont de la cascade.

Travaux :

Ce filon a été bien exploité par 3 niveaux de galeries de traçage situés à 541, 563, 635 m d'altitude, un travers-bancs qui retrouve le filon après 203 m et des dépilages joignant tous ces niveaux. Les premiers grattages remonteraient au temps des Romains et ont été repris plusieurs fois en cours de l'histoire de la mine, si bien qu'actuellement les niveaux inférieurs sont inaccessibles et le travers-bancs éboulé. Seule la galerie romaine (635 m) peut être visitée, mais nous avons dû renoncer à l'exploration à partir du haut, à cause de l'instabilité des blocs jonchant les niveaux inférieurs.(fig.59 et 60).

Géométrie :

La seule galerie visitable est en partie murée, ce qui limite les observations. Le filon a une direction N 115 et un pendage de 70° NE. Il se situe dans une zone de failles verticales de même direction, de 30 m de large environ, qui correspond dans la topographie à un vallon. Cette topographie molle contrastant avec les falaises d'amphibolites massives et très dures qui l'encadrent est due à la présence de chloritoschistes friables (fig.59).

Au niveau de l'entrée de la galerie romaine, le filon est double : l'encaissant est au toit une amphibolite massive, au mur un chloritoschiste. En galerie, les rameaux se rejoignent et forment un filon épais de 2 m, fortement minéralisé en pyrite qui peut occuper la quasi-totalité du filon. En rive gauche, une brèche de quartz, calcite, ankérite, amphibolite, peu sulfurée, a été grattée par une galerie de 20 m environ (galleriozzo).

La nature différente de la minéralisation de cette brèche nous amène à penser qu'elle ne représente pas le prolongement du filon Sache en rive gauche. Or, d'après Roccati (1925), ce filon se poursuivait sur cette rive; le plan de la mine nous indique que le filon était visible au niveau du puits n°2, qui est aujourd'hui introuvable.

Les dimensions du filon Sache sont, d'après les plans de la société minière, de 130 m en direction, 150 m en pendage aval ; son épaisseur varie de 0,3 à 3 m avec une moyenne de 2 m.

Minéralisations :

Dans une gangue de quartz blanc à orange rouille (limonite), elle est essentiellement composée de pyrite massive et blanche en proportion égale avec le quartz; les autres sulfures sont la galène, la chalcopyrite et la bornite. De la scheelite est également présente sous forme d'amas jaunâtres finement mêlés au quartz dans une brèche de quartz, pyrite, et chloritoschistes au mur du filon.

Lenzi (1926) signale que 20 kg de ce tungstate ont été retirés du niveau 586 m. Une prospection de la galerie romaine à la lampe à rayons ultraviolets nous a permis d'en localiser en un seul endroit (fig.59), le reste du filon ne réagissant pas. La scheelite est donc un composé mineur de la minéralisation. Nous en avons étudié la composition en éléments en traces, en comparaison avec d'autres scheelites provenant de gîtes alpins de nature différente. De ce travail qui a fait l'objet de deux publications (Richard et al. 1980, 1981), il résulte que la scheelite de Sache, d'origine hydrothermale supposée, ressemble par sa composition en éléments en traces (y compris les lanthanides) aux scheelites de Traversella (pyrométasomatique), Val Toppa (hydrothermal) et diffère de celle de Mittersill (volcano-sédimentaire ?).

Quant à l'or, Stella (1943) rapporte des teneurs comprises entre 8 et 22 g/t de pyrite, ce qui fait 4 à 11 g/t de tout venant. Ces chiffres ne s'accordent pas avec les nôtres : en effet, aucune des 15 pyrites de cette mine, analysées par spectrométrie de masse, n'a une teneur en or supérieure à la limite de détection (0,1 µg/g). Or cette méthode ne peut être incriminée car les analyses d'or des pyrites de Béchaz effectuées par spectrométrie sont confirmées par des dosages spécifiques de cet élément. Nous pensons plutôt qu'il s'agit là d'un problème d'échantillonnage car les prélèvements n'ont pu être effectués qu'au sommet du filon; les teneurs en or rapportées par Stella correspondraient aux zones inférieures du filon. Le doute pourrait être levé par l'analyse de pyrites des haldes inférieures.

3.3.5.2. Indices de Villa (Au)

Feuille Chatillon X = 398,7 - Y = 5 060,2 - Z = 830 m

Accès :

Le groupe de filons est situé au-dessus d'un ancien canal proche de la route conduisant au lac de Villa, après les dernières maisons du village.

Travaux :

Déjà, en 1943, Stella (1943) les disait introuvables car abandonnés depuis 25 ans mais signalait l'existence de levés de détails dont nous n'avons pas trouvé de traces. Sur le terrain par contre, une petite galerie, un dépilage et quelques grattages ont été retrouvés (fig.58 et 61).

Géométrie :

D'après Stella, il s'agit d'un groupe d'une douzaine de petits filons. Nous en avons dénombré 7 qui sont orientés selon deux directions conjuguées : N 135, 60° SW et N 40, 65 ° NW.

Ils sont encaissés dans des amphibolites à grenat et épidote, massives, du groupe des ophiolites mésozoïques, et créent une altération de ces roches, du même type que celle déjà décrite.

Les dimensions visibles de ces filons sont d'au moins 20 m en pendage, 10 m en direction et leur épaisseur varie de 1 à 30 cm avec une moyenne autour de 8 cm. Par rapport aux autres filons du district, ce sont donc de petites fractures minéralisées.

Minéralisations :

La gangue est constituée par du quartz massif ou en druses et de la calcite jaunâtre. De la sidérite et de la fuchsite sont visibles dans des blocs de la décharge. Les minéralisations principales sont la pyrite aurifère et la galène argentifère. Chalcopyrite, tétraédrite, malachite, azurite sont également présentes. De l'or natif est signalé par Stella (1943) dans le quartz et la limonite à des teneurs comprises entre 6 et 14 g/t (Ag 200 g/t).

Perspectives :

Vu le faible tonnage de minerai disponible dans cette zone, nous n'avons pas cherché à vérifier ces teneurs.

3.4. Conclusions

De l'ensemble de toutes ces observations, nous tirons les principaux caractères de la gîtologie des minéralisations du district de Challant :

- ce district est un champ filonien de 100 km^2 où affleurent une centaine de filons;
- les filons sont de type épithermal , épigénétiques, strictement contrôlés par la fracturation et datent probablement du début du Tertiaire;
- il y a 3 directions principales de filons (N 60, N 120, N 160); la direction N 60 est la plus importante quant au nombre de filons et surtout quant à la richesse en or
- leurs dimensions sont variables : en direction de 1 500 à 10 m, en pendage de 300 m à 10 m et en puissance de 2 à 0,05 m.
- deux types de minéralisations sont à distinguer : le type Fenillaz à quartz et or natif et le type Béchaz à quartz et pyrite aurifère;
- la teneur moyenne de l'or dans le type Fenillaz est de 12 g/t alors que dans le type Béchaz elle est de 8g/t;
- les filons les plus riches sont situés au Nord du district et la teneur en or décroît progressivement lorsqu'on s'éloigne de la faille de Ranzola en direction du Sud (fig. 62).

- quel rôle a-t-elle joué dans l'alimentation en or du district ? Nous ne pouvons pas conclure, mais elle a certainement dû favoriser la circulation de solutions hydrothermales;
- la quantité totale d'or extrait au cours des temps est au minimum égale à 1,2 t;
- les réserves probables sont estimées à 1 t et les réserves possibles à 5 t. Elles concernent surtout les filons Fenillaz, Gaebianche, Comba Toppa et Bouchaille.

CHAPITRE 4

LES TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE ET D'ANALYSES CHIMIQUES

4.1. TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE

4.2. TECHNIQUES D'ANALYSES

" L'idée n'est pas au ciel de l'abstraction ; mais plutôt elle monte des terres et des travaux ".

Alain

En guise d'introduction,nous citerons Shaw (1964) : "tous les géologues du monde prennent des échantillons; quelques-uns disent qu'ils ont pris des échantillons représentatifs mais un nombre limité d'entre eux seulement indiquent de quoi les échantillons sont représentatifs. Un échantillon ne représente une roche que d'une manière imparfaite."

4.1. TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE

Deux procédés d'échantillonnage ont été utilisés :

- échantillonnage aléatoire ou ponctuel,
- échantillonnage systématique.

4.1.1. ECHANTILLONNAGE ALEATOIRE

Ce procédé a été utilisé pour les échantillons à analyser par la méthode du spectromètre de masse.

Par exemple, dans le cas des gneiss encaissants des filons, sept échantillons ponctuels ont été pris dans chacun des sept niveaux de galeries de la mine de Fenillaz. En ce qui concerne les pyrites, nous avons multiplié les prélèvements sur chaque site (environ 20 par mine),et échantillonné selon les trois axes vertical, horizontal et transversal des filons ; cependant nous avons été limités à deux axes sur le site de Sache par l'inaccessibilité des travaux inférieurs.

4.1.2. ECHANTILLONNAGE SYSTEMATIQUE

Nous avons utilisé ce procédé dans deux cas : l'étude des phénomènes d'altération hydrothermale et l'estimation des teneurs en or de filons. Les phénomènes d'altération hydrothermale à étudier étaient : la listvénitisation et les altérations d'épontes, deux processus contrôlés par la fracturation. Nous avons donc opté pour des échantillonnages perpendiculaires aux failles, à maille élastique et proportionnés à l'extension de ces processus. Dans le cas de la listvénitisation, trois profils parallèles ont été tracés, longs de 200 m et représentant 30 échantillons au total (voir chapitre 5). Quant aux altérations d'épontes, phénomènes de faible amplitude (1m), nous nous sommes contentés de prélever des échantillons sur des profils de 30 m de long.

Pour l'estimation des teneurs en or des filons Béchaz et Orbeillaz, nous avons choisi la technique du piquetage par éclats. Les points d'échantillonnage ont été déterminés non pas selon l'abondance de la minéralisation,mais par intervalles réguliers de 10 m à Béchaz,et de 15 m à Orbeillaz. Le piquetage a été fait sur toute l'épaisseur des filons, selon un axe perpendiculaire à leur direction et sur environ 10 à 20 cm de largeur. Quand l'échantillon était trop volumineux, il a été quarté sur place avant l'ensachage de manière à peser 500 à 1 000 g. Nous verrons plus loin que, malgré ces précautions, les réponses des analyses chimiques à cet échantillonnage sont très variables sur

le même prélèvement, ce qui est expliqué par l'effet du grain dû à la nature de l'or lui-même (voir chapitre 5.2).

4.2. TECHNIQUES D'ANALYSES

Les techniques d'analyses des éléments en traces traditionnelles sont les spectrométries d'émission et d'absorption atomique. Dans le cas particulier de l'or, la méthode analytique employée dépend du type de matériau géologique à analyser et du niveau de teneur en cet élément : ordre de 10^{-3} µg/g pour les roches, ordre du ug/g pour les minerais. Les techniques traditionnelles d'analyses d'or sont la coupellation, la spectrométrie d'absorption atomique, la spectrométrie de masse à étincelles et l'activation neutronique; ces techniques peuvent être précédées d'une pré-concentration de l'or par extraction par solvant, par échange d'ions ou par composés mercuriels ou plus simplement par batée.

4.2.1. TECHNIQUES UTILISEES

Pour les analyses des éléments majeurs, nous avons eu recours à la fluorescence X dans les laboratoires de l'Institut Dolomieu et de la Société Barringer, pour les éléments en traces à la SME (C.E.N. Grenoble), et pour les dosages d'or, à la spectrographie d'absorption atomique par l'intermédiaire des laboratoires du B.R.G.M. et de la Société Barringer (Canada).

Les analyses effectuées par moi-même par le spectromètre de masse à étincelles représentent la plus grande partie des résultats. Cette méthode a été choisie par ses disponibilités matérielle et géographique ainsi que par sa bonne adaptation à la région étudiée. Le chapitre suivant nous en expliquera les raisons.

4.2.2. LA SPECTROMETRIE DE MASSE A ETINCELLES (SME)

L'appareil utilisé est un spectromètre de marque MS 702 - AEI.

Les principes physiques et l'appareillage ont déjà été décrits en détail par Le Suavé et Voisset (1974 et 1976). Nous nous bornerons donc ici à une description sommaire.

4.2.2.1. Appareillage

Le spectromètre de masse à étincelles se compose de 3 parties (fig.63) : la source à étincelles, l'ensemble analyseur (optique de Mattauch-Herzog) et le détecteur. Le tout est sous vide secondaire (10^{-7}, 10^{-8} t).

Entre deux électrodes constituées par l'échantillon à analyser, on applique une haute tension (10-60 kV) à haute fréquence (600kH). Les ions produits par la décharge sont accélérés et transmis vers le système analyseur à travers la fente-source. L'optique Mattauch-Herzog réalise la double focalisation en vitesse et direction.

Son plan image permet d'enregistrer simultanément tout le spectre de la masse 7 à la masse 250 sur une plaque photosensible. Chaque spectre est composé de 15 expositions (en nCb), d'intensité décroissante de 3 en 3 (exposition 300-100-30 ... 0,0001 (fig.64).

4.2.2.2. Préparation des échantillons

La quantité d'échantillon ionisée est très faible : chaque électrode contient environ 100 mg de poudre de roche, et l'ionisation ne concerne qu'une partie de ces 100 mg. C'est pourquoi il faut apporter un soin particulier au choix de l'échantillon puis à la préparation des poudres.

Choix de l'échantillon :

Dans le cas des roches totales (gneiss et listvénites), une fois l'échantillon prélevé, nous avons essayé de l'homogénéiser le mieux possible à chaque étape du broyage. Mais pour les cristaux purs tels que les pyrites ou les quartz, la quantité d'échantillon est plus faible au départ et seule la multiplication des analyses permet d'effacer les défauts de l'échantillonnage ponctuel.

Fabrication des poudres :

Le tableau n° 19 résume les différents stades de la préparation. Les roches n'étant pas conductrices, leurs poudres sont mélangées avec un liant conducteur tel que du graphite pur à 99,999%. Cette pureté a été vérifiée par analyse au spectromètre de masse.

Graphite "RWS"			
Element	Teneur*	Element	Teneur*
B	⩽ 0,2	Cr	0,5
Na	1,5	Mn	0,1
Mg	8	Fe	9
Al	4,5	Ni	0,2
Si	6	Co	2
P	1	W	2,5
S	3		
Cl	3		
K	4		
Ca	2		

Graphite "Carbone-Lorraine"	
Element	Teneur*
B	0,1
Na	1 à 6
Al	0,6
Si	1
S	<10
Cl	1,5
K	1,5

* Teneur en µg/g graphite

Presque tous les échantillons ont été pastillés avec du graphite "RWS" dont la teneur en W sera gênante. Seules les pyrites sont pastillées avec du graphite "Carbone-Lorraine" dont la très grande pureté nous permettra d'obtenir les teneurs en W de ces sulfures.

La pollution due à la pulvérisette en agate elle-même a été estimée : le même cristal de quartz a été analysé par activation neutronique (laboratoire du SEA - SLCAC , C.E.N. Grenoble), sous la forme de poudre ainsi que par étincelage direct du cristal.

	Fe	Cr	Mo
Poudre	35	1,7	≤0,7
Cristal	12	2	0,2

Résultats en µg/g.

D'après ce tableau, la pulvérisette apporte une légère pollution en Fe qui sera cependant négligeable, vu la fréquence de cet élément dans nos échantillons.

Par contre les valeurs en Cr et Mo sont du même ordre de grandeur .

Homogénéité des poudres :

Elle est contrôlée sur les spectres : en effet, si l'étincelage se fait sur un grain étranger ou sur une inclusion dans le minérai, il y a création d'une bouffée d'ions représentative de cette anomalie.

Cela se traduit sur le spectre par l'apparition soit de teneurs très différentes dans les éléments, soit par la présence de nouveaux éléments. Dans le cas des quartz, deux sortes d'inclusions (bulles ?) ont été ainsi mises en évidence (inclusions de NaCl, KCl ou hydrocarbures). De même pour les pyrites de Béchaz où la nature de ces hétérogénéités nous renseignera sur la nature de l'or dans ces pyrites.

4.2.2.3. Analyse qualitative

Plusieurs types d'ions sont produits au cours de l'étincelage :

. ions monochargés (ex. W^+ 186)
. ions polychargés qui apparaissent aux masses m/2, m/3, ..., m/n.
. ions polyatomiques (ex. 2 C^+ à la masse 2 x 12 = 24).
. ions de transfert qui sont à des teneurs faibles (ordre du µg/g).
. ions d'associations qui se produisent entre les éléments de la matrice et les éléments les plus courants tels, que C, H, O. (ex. FeC, FeS, SC dans le cas des pyrites).

L'analyse partielle d'un spectre de scheelite (tab. 20) permet de mieux comprendre le dépouillement qualitatif des spectres.

L'analyse qualitative est régie par quelques règles simples mais rigoureuses :

. respect du motif isotopique.
. présence d'ions polychargés à niveau de masse adéquat. Ces ions sont pratiquement séparables des ions monochargés grâce au phénomène de défaut de masse, ou grâce à la différence entre masse théorique et réelle de l'isotope.
. séparation de raies de masses très voisines.

On doit vérifier si le pouvoir de résolution permet ou non la séparation des raies (tab. 20).

4.2.2.4. Analyse quantitative

C'est une méthode comparative qui comprend les étapes suivantes : le noircissement de chaque raie (ou densité optique DO) est mesuré sur un photomètre. Ce noircissement n'est pas directement proportionnel aux ions produits car on doit tenir compte de la réponse de l'émulsion photographique.

A l'aide d'une courbe de calibrage construite pour chaque plaque photographique, les densités optiques sont transformées en intensités vraies (ou I.V.) elles-mêmes fonction de la quantité d'ions déposés sur la plaque. Par comparaison avec les valeurs des expositions de la matrice qui donneraient la même intensité vraie, la teneur des impuretés est déterminée grâce à la formule :

$$T = 10^6 \times \frac{Em}{Ei} \times \frac{Am}{Ai}$$

Em : Exposition de la matrice donnant 40 IV
Ei : Exposition de l'impureté donnant 40 IV
$\frac{Am}{Ai}$: Abondance isotopique des raies choisies.

L'unité est le µg/g atomique.

L'élément de référence est choisi selon le type d'échantillon; on lui attribue arbitrairement une teneur de 10^6 µg/g atomiques. Les teneurs des autres éléments seront dosées par comparaison à cet élément. C'est pourquoi, un soin particulier sera apporté à la détermination du eM.

Pour donner des teneurs en µg/g , il faut transformer le µg/g atomiques en µg/g poids, en dosant l'élément de référence par fluorescence X par exemple. Ainsi tous les résultats d'analyse des roches de Challant sont-ils donnés en µg/g.

Pour certains éléments tels que les alcalins ou alcalino-terreux qui s'ionisent très facilement, les teneurs obtenues sont toujours supérieures aux teneurs vraies dans un rapport 3 à 10 (voir analyse du géostandard W_1). Mais pour les autres éléments, l'ordre de grandeur est respecté.

Dans le but de nous caler par rapport aux données standards, nous avons analysé des roches standards telles que le diabase W_1, le granite MAN et le basalte BEN. Le tableau suivant permet la comparaison entre nos données et celles de Flanagan (1976) dans le cas de la diabase W_1 ; pour les autres roches se reporter à l'article de Govindaraju (1980). L'accord avec les teneurs de Flanagan est bonne, surtout pour les métaux de transition ce qui est important dans le cas d'échantillons de minerais. Par contre, les alcalins Li, Rb ne sont pas dans le même ordre de grandeur. Pour les Terres Rares, un seul prélèvement est cité car les niveaux de teneurs sont différents dans les trois prélèvements mais l'allure des profils de lanthanides est conservée dans les trois cas.

Element	Richard	Flanagan	Element	Richard	Flanagan
Li	160	14,5	La	10	10
S	80	125	Ce	22	23
Cl	70	200	Pr	4	3,5
Cr	150	115	Nd	22	15
Mn	1270	1280	Sm	5,5	3,5
Co	35	45	Eu	1	1
Ni	55	75	Gd	$\leqslant 4$	4
Cu	105	110	Tb	$<0,6$	0,7
Zn	100	85	Dy	5	4
As	4	2	Ho	1	$<0,03$
Rb	135	20	Er	2,5	2,5
Sr	260	190	Tm	$\leqslant 0,2$	0,3
Ba	230	160	Yb	$<1,2$	2
Pb	3	8	Lu	$<0,2$	0,35

Li à Pb = moyenne de 3 prélèvements. La à Lu = 1 prélèvement.
Teneurs en µg/g.

Analyses comparées du diabase W1 d'après Flanagan (1976) et Richard in Govindaraju (1980)

4.2.2.5. - Conclusions

La méthodologie décrite précédemment permet de déterminer de façon semi-quantitative tous les éléments prévisibles ou non de Li à U. Seules les teneurs en alcalins seront corrigées afin de tenir compte de leur trop forte sensibilité connue.

Cependant, la faible quantité d'échantillon utilisée et les bas niveaux de teneur recherchés imposent des contraintes lors de la préparation des échantillons, rendant cette phase longue et délicate ; dans le cas des pyrites, un tri correct a nécessité 3 jours par échantillon.

Dans cette étude de première approche de la géochimie de la région de Challant, la connaissance de tous les éléments présents, leur identification et leur niveau de teneur sont les buts recherchés ; ceci justifie la technique utilisée. Des dosages précis complémentaires ont été faits par ailleurs pour les teneurs en or.

Dans le cas de recherches métallogéniques dans des régions où la géochimie est peu étudiée, il est avantageux d'utiliser la spectrométrie de masse à étincelles ; en effet, l'analyse de petites séries d'échantillons permet d'inventorier les éléments en traces et leur niveau de teneur dans les différents matériaux présents et de définir les quelques éléments indicateurs utilisables dans une prospection systématique.

CHAPITRE 5

RESULTATS ANALYTIQUES ET INTERPRETATIONS

5.1. TYPES D'ÉCHANTILLONS ANALYSÉS

5.2. DOSAGES SPÉCIFIQUES DE L'OR

5.3. GÉOCHIMIE DES ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES

5.4. INVENTAIRE DES ÉLÉMENTS EN TRACES DANS LES ROCHES

5.5. RÉSUMÉ ET INTERPRÉTATIONS PARTIELLES DES RÉSULTATS D'ANALYSES DES ÉLÉMENTS EN TRACES

5.6. CONCLUSIONS SUR LA GÉOCHIMIE DU DISTRICT DE CHALLANT

" Les avis des pessimistes ne parvenaient point à ébranler sa certitude de faire tomber des racines de la mousse trois cent mille dollars de poussière d'or :

- mais il n'y a pas d'or dans ce pays-ci, lui disait-on
- l'or est là où tu le trouves, mon fils ".

J.London, Histoires du pays de l'or

Au départ, nous ne disposions d'aucune donnée géochimique concernant les richesses du sous-sol du Val d'Aoste.

C'est pourquoi, parallèlement à des dosages spécifiques de l'or, nous dresserons l'inventaire des éléments présents dans les principaux types de roches du district de Challant, et nous donnerons l'ordre de grandeur de leur teneur. Ce travail de longue haleine a été accompli grâce à l'utilisation de plusieurs méthodes d'analyses complémentaires couvrant toute la gamme des teneurs.

De plus, l'interprétation synthétique de l'ensemble des données gîtologiques et analytiques nous conduit à soupçonner certains éléments d'être indicateurs de l'or.

5.1. TYPES D'ÉCHANTILLONS ANALYSÉS

Les éléments majeurs, mineurs et en traces de chaque groupe de matériaux géologiques ont été analysés par différentes méthodes (voir chapitre 4). Ces matériaux sont : les roches encaissant les filons, la gangue du filon, le minerai (pyrites et or) ainsi que les roches d'altération, telles les épontes et les listvénites.

Ces échantillonnages ont été effectués sur les sites des filons les mieux définis sur le plan minier : filons Fenillaz, Béchaz n°3, Sache, Orbeillaz. Parmi eux, le filon Fenillaz a été choisi comme modèle par son importance minière, sa presque complète exploitation et donc sa gîtologie la mieux connue; ainsi s'agit-il du site où le plus grand nombre d'échantillons ont été analysés.

Le tableau suivant récapitule le nombre et le type d'analyses :

Type de matériau	Lieu de prélèvement	Nombre et type des analyses éléments		
		majeurs	mineurs	traces
Roches encaissant les filons:				
gneiss "minuti"	f.Fenillaz	23	7	7
prasinites	f.Orbeillaz	22	-	-
Roches d'altérations:				
altérations d'épontes	f.Fenillaz	20	-	-
	f.Orbeillaz	15	-	-
listvénites	f.Fenillaz	20	-	-
	Val d'Ayas	-	6	6
Quartz filonien	f.Fenillaz, Gaebianche et Val Toppa	-	6	6
Pyrites	f.Fenillaz	-	20	20
	f.Béchaz	-	17	17
	f.Sache	-	15	15
Or Natif	f.Fenillaz, Speranza, Béchaz et la Gardette (Isère)	1	5	5
Minerai aurifère	f.Béchaz n°3 et Orbeil.	-	50 (Au seulement)	
Scheelites	Alpes occidentales	-	5	5

Au total une centaine d'échantillons ont été analysés pour leurs éléments majeurs et une autre centaine pour leurs éléments mineurs et en traces.

Ainsi l'interprétation globale de la géochimie des minéralisations aurifères du district de Challant repose-t-elle sur plus de 5 000 résultats analytiques dont la plus grande partie (2/3 environ) sont des analyses d'éléments en traces effectuées par spectrométrie de masse à étincelles (S.M.E.)

5.1.1. LOCALISATION DES ECHANTILLONS ANALYSES PAR S.M.E.

Dans notre numérotation, les lettres indiquent le nom abrégé du filon et les chiffres, la position de l'échantillon dans le filon.

Les gneiss amphiboliques proviennent de la mine de Fenillaz (fig.65), les échantillons Fen 1.1., Fen 3.3. et Fen 5.4. ont un faciès de gneiss oeillé et les échantillons Fen 2.3, Fen 4.5, Fen 6.2. et Fen 7.1 ont un faciès d'amphibolites à grain fin

Le quartz : les mêmes échantillons ont été analysés sous la forme de cristaux automorphes et de poudre. Le n° CT4 provient de la galerie du filon Comba Toppa; le n° Gae2b a été prélevé dans la partie médiane du filon Gaebianche, à 1 470 m d'altitude,et le n° Fen 1.4. dans la galerie 1 du filon Fenillaz.

L'or natif provient de la collection de Mr.Bitossi.

Les listvénites : le n° LB1 a été prélevé sur l'affleurement du Lac Bleu (paragraphe 2.1.2.2.6.), le n° Bru 23 provient de la petite falaise de Ciamusera, le n° CdN2 de la galerie inférieure du filon Crête di Naie, et le n° Vil de la carrière de Sizan-Isollaz.

Les pyrites : elles proviennent des filons Béchaz n°3, Fenillaz et Sache (fig.65 ,66 ,67). Certains échantillons ont été analysés à deux reprises avec des limites de détection différentes,ce que nous avons noté dans les tableaux par les chiffres 1 et 3 supplémentaires; par exemple, B.1.3. et B.1.1. correspondent à ces analyses successives du même échantillon de la mine de Béchaz.

Sur le site du filon Fenillaz, nous avons parfois prélevé au même endroit deux types de pyrites, dans le quartz (n° F7Q) ainsi que dans l'enclave de gneiss juxtaposée (n° F7R).

5.2. DOSAGES SPÉCIFIQUES DE L'OR

Afin d'estimer la teneur moyenne en or et les réserves potentielles de quelques-uns des filons aurifères du district, nous avons procédé à des échantillonnages systématiques par éclats (voir aussi chapitre 4.1.2.). Cette technique a été appliquée à deux filons où nous ne possédions pas de données bibliographiques précises, le filon Béchaz n°3 et le filon Orbeillaz. Une partie des dosages a été effectuée dans le laboratoire d'analyses du Bureau de Recherches Géologiques et Minières; l'autre partie par la société Barringer Magenta (Canada).

Le tableau n°21 donne les résultats d'analyse en µg/g (1 µg/g = 1g/t) et les figures 68 et 69 situent les points d'échantillonnages dans chaque mine.

5.2.1. FILON BECHAZ N°3

Nous avons essayé de prélever le minerai de la manière la plus systématique que possible; la plupart des échantillons proviennent du niveau 1499 m; les échantillons 10,11,12 ont été prélevés en amont pendage, entre les niveaux 1 520 et 1 550 m; l'échantillonnage des niveaux inférieurs à 1 499 m n'est pas possible car les puits sont noyés (fig.44 et 48 chapitre 3).

Les teneurs en or sont très hétérogènes d'un point à l'autre ; elles varient entre moins de 10 et 13 700 10^{-3} µg/g. Ce sont les colonnes pyriteuses qui sont les plus riches (teneurs comprises entre 0,5 et 13,7 µg/g, échantillons 4, 5, 6, 7). Ces chiffres sont en accord avec les teneurs d'exploitation moyennes des filons Béchaz (7 µg/g) citées par Stella (1943). D'autre part, l'échantillon de Mr Bitossi est très riche (34,5 µg/g) et correspond à un minerai trié.

Les prélèvements 4, 6 et 7 ont été analysés par les deux laboratoires; les résultats concernant les échantillons 4 et 6 sont trop différents pour incriminer le dosage lui-même. C'est pourquoi le problème de la nature de l'or dans le minerai (et plus particulièrement dans la pyrite) doit être posé.

Un argument supplémentaire est apporté par les analyses des pyrites du même filon par la méthode de la S.M.E. (voir 5.4.) : les pyrites B4, B6 et B7, B8 et B9 du tableau correspondent respectivement aux prélèvements 4, 6 et 7 du tableau

	4=(B4)	6=(B6et B7)	7=(B8et B9)
Barringer	10	110	470
B.R.G.M.	13 700	4 900	1 800
S.M.E. (tab. 3 4)	500	500 à 1 500	< 500

En effet, les valeurs obtenues par S.M.E. se situent dans chaque cas entre celles obtenues par les deux autres laboratoires, mettant en évidence les problèmes de représentativité de l'échantillonnage.

Cette hétérogénéité des résultats est le reflet de la nature de l'or dans les sulfures : comme nous l'avons déjà vu dans les chapitres 1.2.3. et 3.2.3., l'or peut se présenter sous la forme de micro-inclusions dans la pyrite ; ceci a été vérifié dans une pyrite aurifère d'un filon Béchaz grâce à une analyse par microsonde électronique (voir 5.5. et fig. 80).

5.2.2. FILON ORBEILLAZ

L'échantillonnage effectué sur ce filon est représentatif car facilité par quatre niveaux de galeries superposés (fig. 69).D'après le tableau n°21 , les teneurs en or des trente prélèvements sont ici aussi hétérogènes, et sont comprises entre moins de 10 et 15 800 10^{-3} µg/g. On constate cependant, un enrichissement dans la partie supérieure du filon et surtout dans la galerie 4 où trois teneurs sont supérieures à 1 µg/g.

La teneur moyenne en or est de l'ordre de 1 µg/g.

Les teneurs du prélèvement 16 obtenues dans les deux laboratoires sont en bon accord. En effet, contrairement au filon précédent, les sulfures et l'or natif sont disséminés dans le quartz ; nous avons même pu voir quelques paillettes d'or millimétriques aux points 16 et 29.

Ainsi l'or du filon Orbeillaz serait-il libre dans le quartz donc facilement récupérable. Malheureusement, la teneur y est trop faible pour y envisager des travaux coûteux.

5.2.3. CONCLUSION PARTIELLE

Malgré les problèmes posés par la représentativité des échantillons, les teneurs moyennes trouvées sont en accord avec les bilans d'exploitation des mines de ce district.

De plus, la nature différente de l'or dans les filons Orbeillaz et Béchaz est mise en évidence.

5.3. GÉOCHIMIE DES ALTÉRATIONS HYDROTHERMALES

Dans le district de Challant, ces roches d'altération sont représentées par des listvénites et par les roches d'altération d'épontes des filons encaissés dans les amphibolites.

Les techniques d'échantillonnage propres à ce type d'étude ont été décrites dans le chapitre 4.1.

Nos analyses chimiques n'ont pas pu être pondérées à volume constant; cependant, nous avons vérifié dans l'exemple de Yellowknife (chapitre 1.2.5.) que les profils de variation de teneurs non pondérées évoluent dans le même sens que ceux des teneurs pondérées. La différence consiste surtout en une diminution globale des pourcentages de variations.

5.3.1. ALTERATION DES EPONTES

Le site du filon Orbeillaz a été choisi pour la netteté de ces altérations; à titre de comparaison, les épontes du filon Fenillaz ont été analysées mais là, ce phénomène est moins évident que dans le premier filon.

5.3.1.1. Filon Orbeillaz

La roche encaissante est constituée par des prasinites et des amphibolites vert sombre, massives et compactes. L'altération se développe sur un mètre de chaque côté du filon (voir chapitre 3.3.4.4.).

Les échantillons ont été prélevés juste au-dessus de la galerie n°2, au point 16 de la fig.69 (dosages Au).

Au toit, le filon se ramifie sous la forme de deux filonnets de quartz; au-dessus, se développe un filonnet de calcite. En fait, l'altération se propage au contact de chacun des filonnets sur environ 0,1 m de puissance; entre chaque filonnet, il reste des noyaux non altérés. La roche d'altération se distingue nettement de la roche fraîche par sa couleur rouille. Au microscope, l'ancienne texture de la roche est masquée par un feutrage très fin constitué de séricite, chlorite et oxydes de fer.

Au mur, la roche est une mylonite à éléments de listvénites intercalés dans une roche schisteuse à séricite et oxydes de fer.

Les analyses des quinze échantillons sont rapportées dans le tableau n°22 . Les figures n°70 et n°71 représentent les variations des différents éléments en fonction de la position de l'échantillon par rapport aux épontes.

Dans les roches altérées, les variations s'établissent ainsi :

- augmentation de CO_2 + H_2O, K_2O, CaO
- diminution de SiO_2, Na_2O, FeO, MgO

A l'approche du filon, on constate une forte augmentation du rapport K_2O/Na_2O. De plus, la diminution de la teneur en SiO_2 est symétrique par rapport à l'augmentation de la teneur en CO_2; ainsi, les composants volatils auraient-ils provoqué la migration du SiO_2 libéré par l'altération, vers des zones d'extension, telles les fractures où se localisent les filons actuels.

Ce schéma est semblable à celui décrit par Boyle (1979) dans le district de Yellowknife dont le résumé figure dans le chapitre 1; les profils de variation des éléments dans le cas du filon Orbeillaz sont à rapprocher de ceux proposés par cet auteur (fig. 5 chapitre 1); les mêmes éléments varient dans le même sens.

Nous verrons dans la conclusion de ce chapitre comment ces observations étayent notre hypothèse de l'origine de l'or de Challant et peuvent s'y intégrer.

5.3.1.2. Filon Fenillaz

Afin de mettre en évidence une éventuelle zonation de l'altération en fonction du niveau de prélèvement, une partie des échantillons a été prise dans la zone inférieure du filon, au niveau de l'entrée de la galerie 6, (1 570 m d'altitude), et l'autre partie, près de l'entrée de la galerie 1 (1 650m).

La roche encaissante est surtout constituée par un gneiss amphibolique dont le faciès varie fortement selon le lieu.

L'altération n'est pas du même type que celle du filon Orbeillaz : ici, les phénomènes mécaniques (cataclase) ont joué un rôle au moins aussi important que l'altération hydrothermale. Macroscopiquement, les roches des épontes sont caractérisées par une schistosité plus marquée et par l'abondance des carbonates de fer sur moins de 20 cm en puissance.

Niveau de la galerie 6

L'encaissant est de nature différente selon l'éponte : au toit, il s'agit de gneiss amphiboliques et d'amphibolites, alors qu'au mur on a des gneiss ocellaires quartzeux (tab. 23).

Sur la figure 72 , cette différence se retrouve avec un fort pourcentage de la silice (70%) dans les échantillons du mur, et avec des variations très faibles des différents éléments en fonction de la position de l'échantillon par rapport au filon; on remarque cependant une inversion du rapport K_2O/Na_2O à 1 m de l'éponte.

Au toit, les épontes sont plus riches en SiO_2, H_2O + CO_2 et K_2O et le rapport K_2O/Na_2O s'inverse dans l'échantillon n°5.

Niveau de la galerie 1

Le filon se subdivise à cet endroit en trois rameaux principaux de 0,3 m d'épaisseur chacun ; notre coupe ne concerne que les deux rameaux supérieurs et n'a pas été prolongée vers le bas car là, la roche est encore lardée de filonnets de quartz.

La roche encaissante est constituée par des gneiss amphiboliques très fins (tab.24). D'après la figure 73 , l'altération au toit du filon n°1 est caractérisée par une perte de SiO_2 et de FeO, un apport important de CO_2+H_2O et par l'inversion du rapport K_2O/Na_2O. Entre les deux filons,la roche est quartzifiée ; les profils de Na_2O et K_2O restent plus ou moins parallèles. L'apport de SiO_2 semble s'être effectué dans le sens filon → encaissant. Au mur du filon n°2 (échantillons n° 18, 19 et 20), la teneur en SiO_2 est encore forte, la perte au feu augmente de l'extérieur vers le filon et le rapport K_2O/Na_2O s'inverse.

Dans les deux coupes, les seuls points communs sont la carbonatisation et l'inversion du rapport K_2O/Na_2O dans les épontes ; ces deux phénomènes sont plus marqués au niveau de la galerie 1 supérieure qu'au niveau 6.

5.3.2. LISTVENITISATION

Le site choisi pour cette étude est celui de la petite falaise de listvénites du secteur Ciamusera, situé non loin du filon Fenillaz (voir chapitre 2.1.2.2.6.). Les prélèvements ont été effectués selon trois transversales de 100 à 200 m de longueur ,parallèles entre elles (fig.74 et 75). Sur les tableaux n° 25 ,26 et 27) sont rassemblées les analyses ; pour l'interprétation, on ne tiendra pas compte des échantillons n° LF 21, LF 22, LF 24 et LF 31 (gneiss paléozoïques et marbres triasiques).

Les listvénites ont, sur les trois transversales, une composition chimique semblable, caractérisée par un très important pourcentage d'éléments volatils (H_2O + CO_2) compris entre 25 et 36 %. Certains échantillons (LF 27 et 29) contenant beaucoup de SiO_2(65,6 à 69,7 %) correspondent à une silicification des listvénites.

La formation des listvénites aux dépens des serpentinites se traduit par le bilan des variations d'éléments suivants :

- augmentation : CO_2 + H_2O, CaO, K_2O.
- diminution : SiO_2, MgO, Fe_2O_3 (fig.76)

Ce bilan est identique à celui dressé par Goncharenko (1970) dans les listvénites de la région de Kuznetsk-Ala-Tay (URSS) (voir chapitre 1.2.5.2.).

D'autre part, ce phénomène d'altération hydrothermale conduit à un bilan des variations des éléments semblable à celui que nous avons proposé pour l'altération des épontes.

5.3.3. CONCLUSION PARTIELLE

L'altération des épontes des filons du district de Challant se traduit par la carbonatisation et la séricitisation des roches encaissantes.

La formation des listvénites est caractérisée par une carbonatisation et des apports de Ca et K.

La géochimie des éléments majeurs de ces deux types d'altération hydrothermales est très semblable. On peut se demander s'ils sont contemporains. Les observations de terrain nous font penser que les listvénites étaient déjà formées avant la mise en place des filons aurifères ; en effet , des blocs de listvénites altérés sont présents dans le quartz du filon Orbeillaz; de même, des filonnets de quartz et de carbonates recoupent les listvénites.

5.4. INVENTAIRE DES ELEMENTS EN TRACES DANS LES ROCHES DU DISTRICT DE CHALLANT

Cet inventaire concerne uniquement les échantillons analysés par spectrométrie de masse à étincelles. Les éléments suivants ont été dosés : Li, Na, K, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, S, Se, Te, Tl, Y, La, Hg, B, Ga, Th, U, Si, Ge, Sn, Pb, Ti, Zr, Hf, P, As, Sb, Bi, V, Nb, Cr, Mo, W, Cl, Mn, Fe, Co, Ni, Pt.

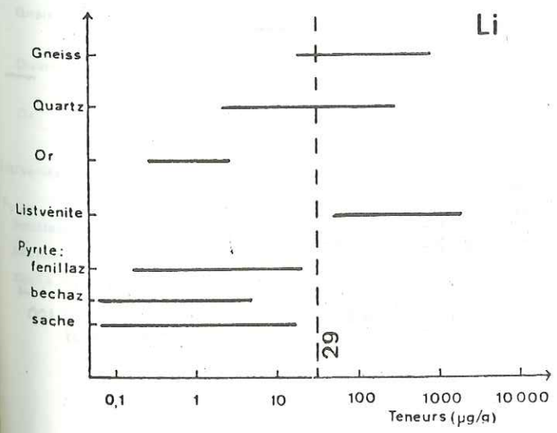
Les résultats analytiques (en µg/g), classés par types de roche, sont donnés dans les tableaux 28 , 29 , 30 , 31 , 32 , 33 , 34 , 35 , 36 , 37 .

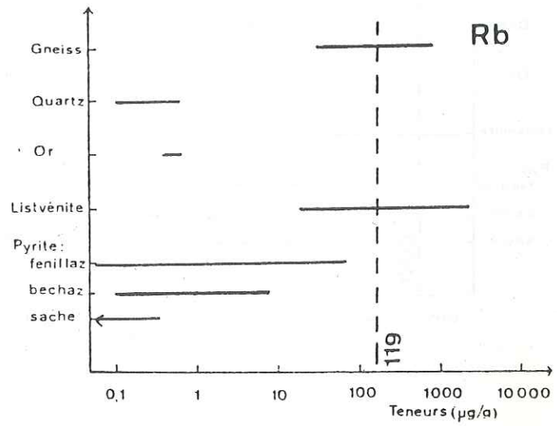
Les éléments ne figurant pas sur ces tableaux sont inférieurs à la limite de détection ; cela concerne surtout les lanthanides.

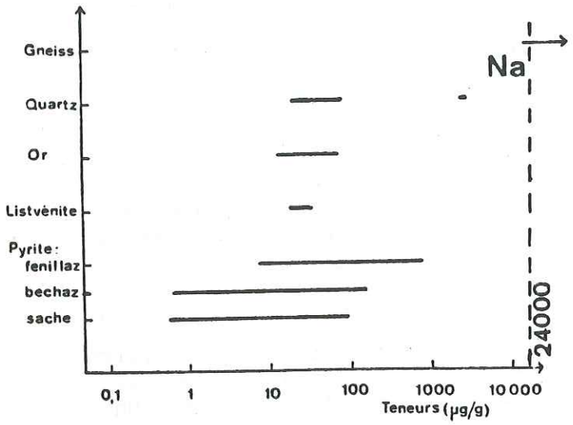
Afin d'éviter une trop longue discussion, ces données ont été classées élément par élément sur les diagrammes suivants, en indiquant, pour chaque type de matériau, l'amplitude de variation.

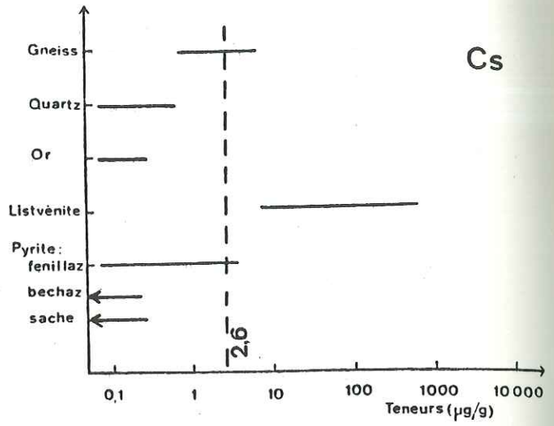
Malheureusement, il n'est pas possible de déterminer les teneurs anomales, vu l'absence de données sur le fond géochimique des différents éléments dans les roches régionales éloignées de toute minéralisation.

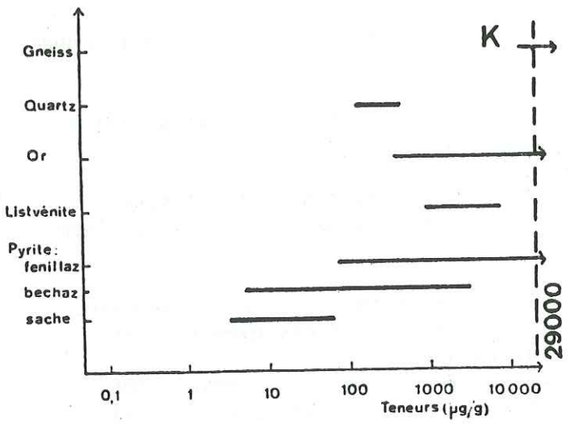
Cependant, à titre d'indication, la valeur du clarke de l'élément considéré a été rajoutée sur chaque diagramme, sauf pour le tellure ; pour le bismuth et le platine, il ne s'agit pas du clarke mais de leur abondance moyenne, respectivement dans les granites et dans les roches ultrabasiques (d'après Letolle, 1978).

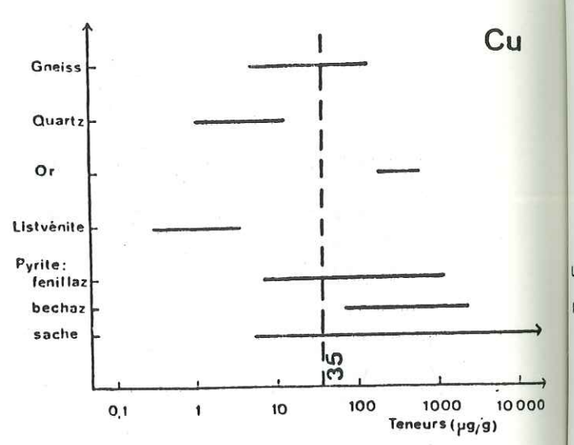


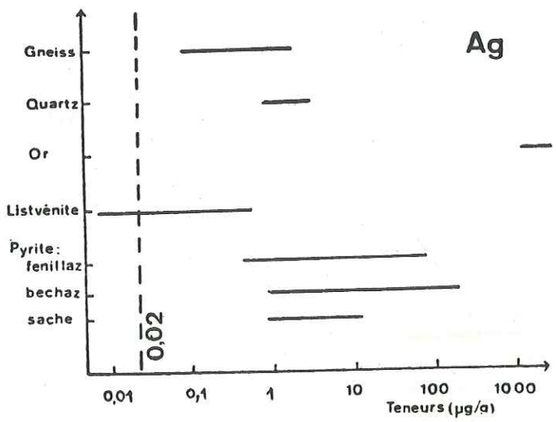


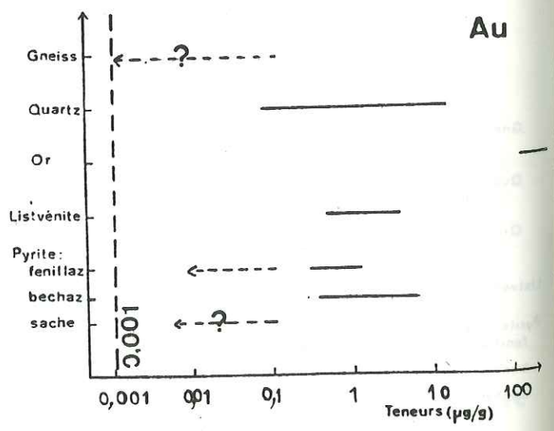

Na
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
24000
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

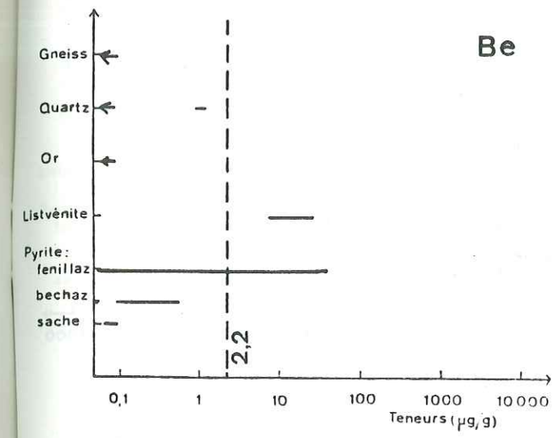

Cs
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
2,6
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

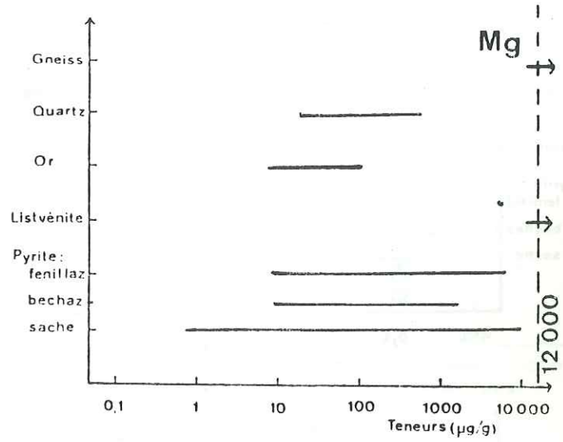

K
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
29000
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

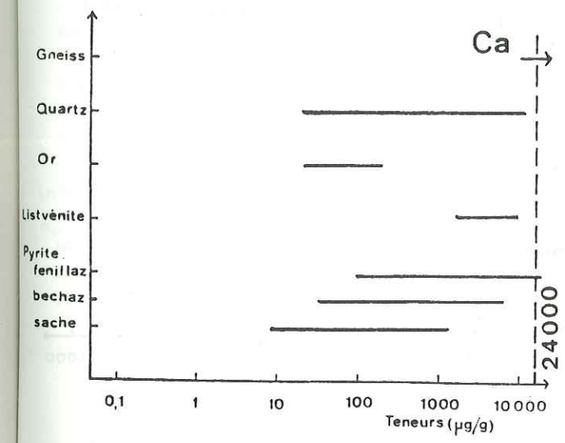

Cu
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
35
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

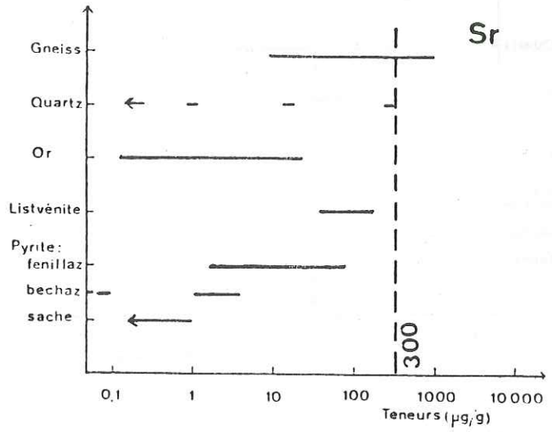

Ag
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
0,02
0,01
0,1
1
10
100
1000
Teneurs (µg/g)

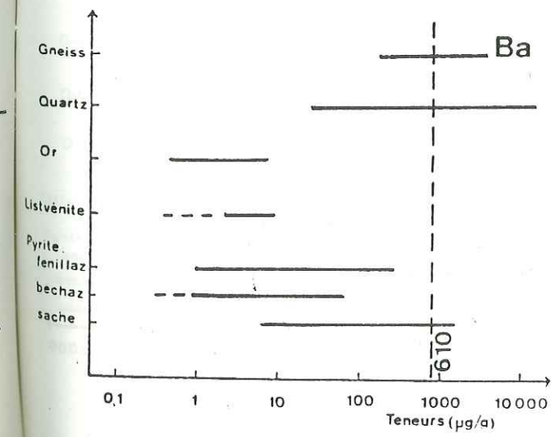

Au
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
?
?
0,001
0,001
0,1
1
10
100
Teneurs (µg/g)

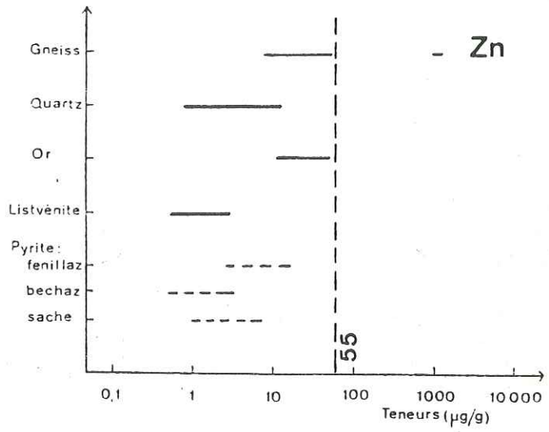

Be
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
2,2
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

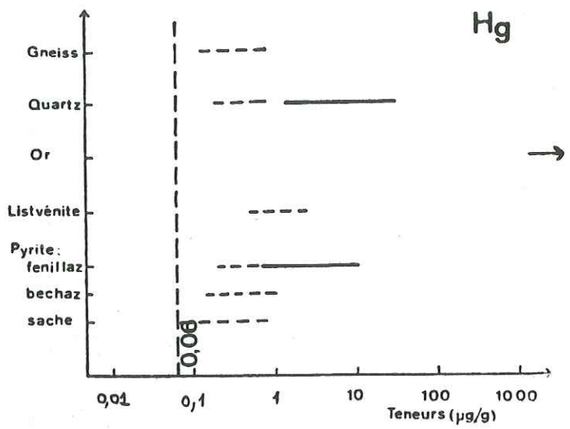

Mg
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
12 000
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

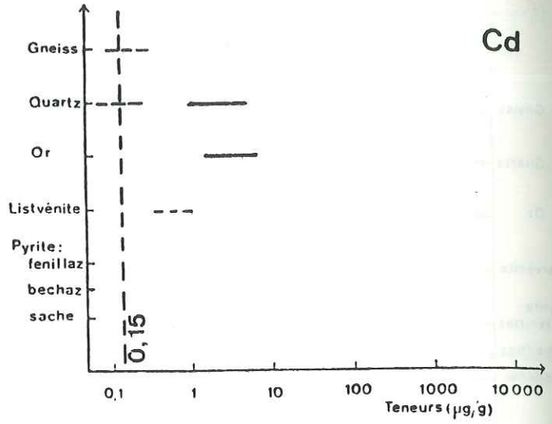

Ca
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
24000
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

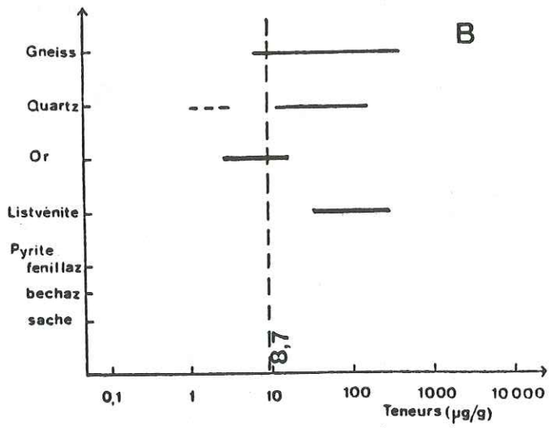

Sr
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
300
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

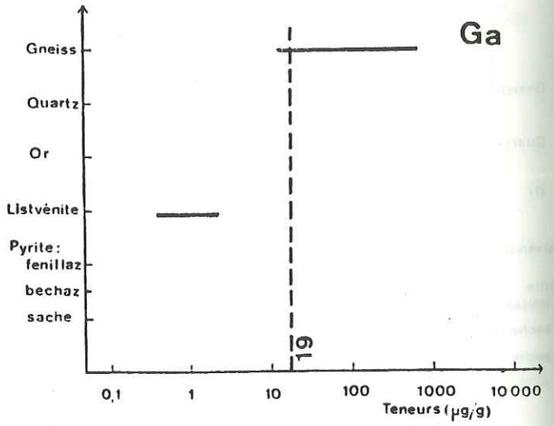

Ba
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
610
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

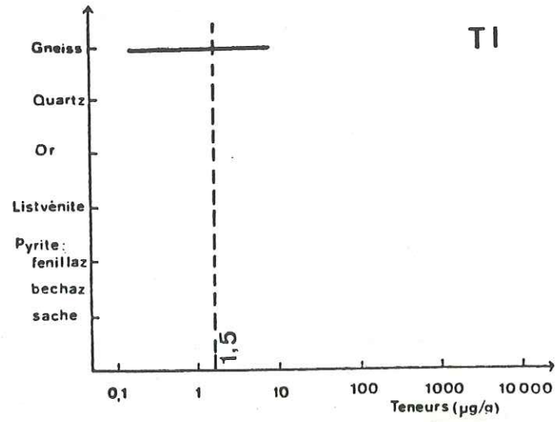

Zn
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
55
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

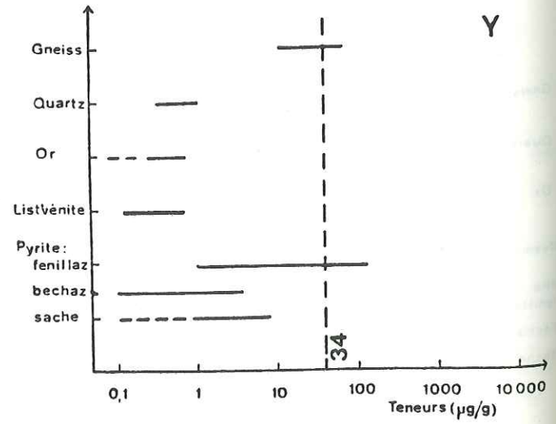

Hg
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
0,06
0,01
0,1
1
10
100
10 000
Teneurs (µg/g)

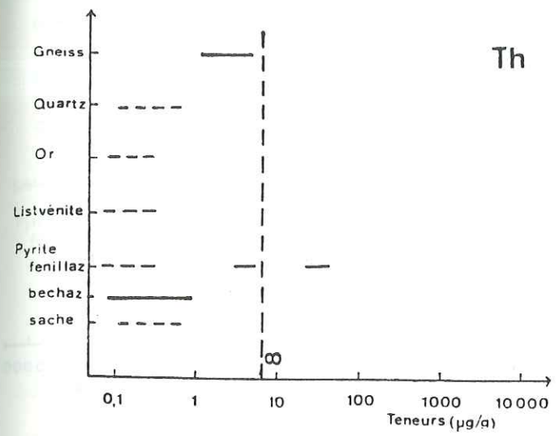

Cd
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
0,15
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

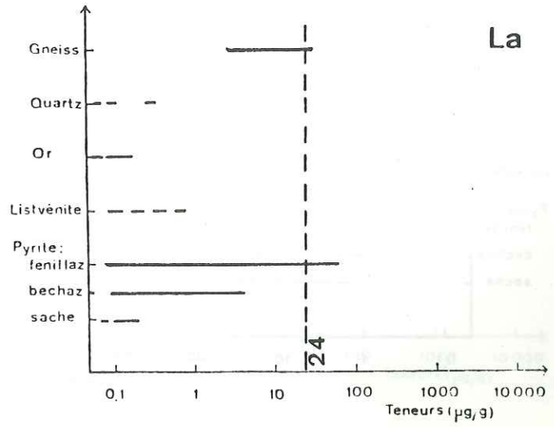

B
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite
fenillaz
bechaz
sache
8,7
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

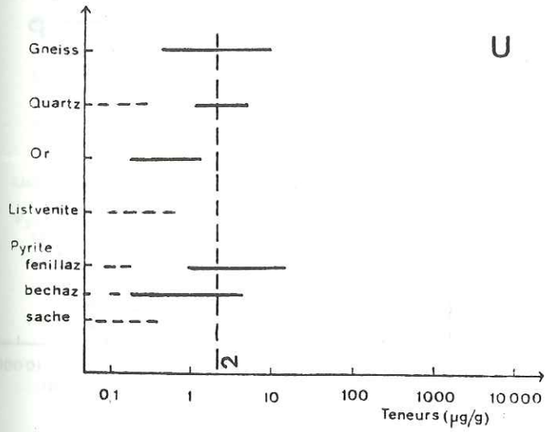

Ga
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
19
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

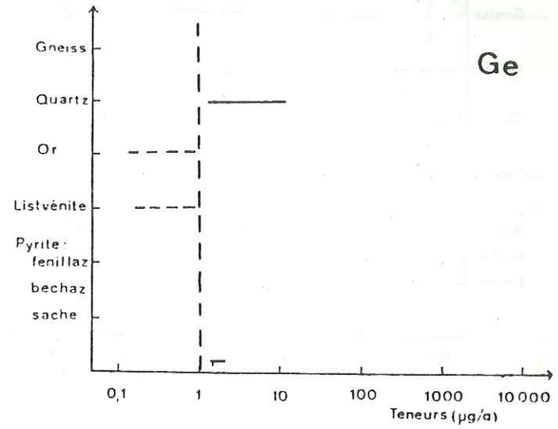

Tl
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
1,5
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

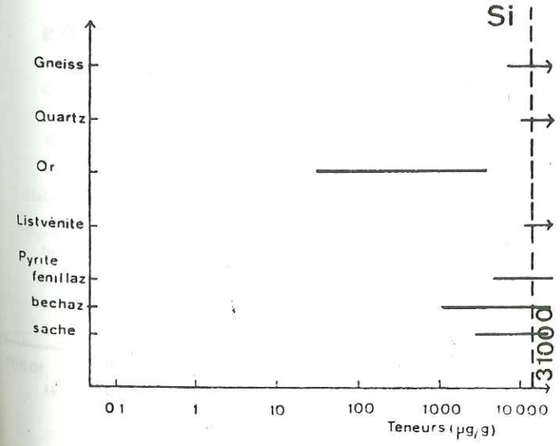

Y
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
34
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

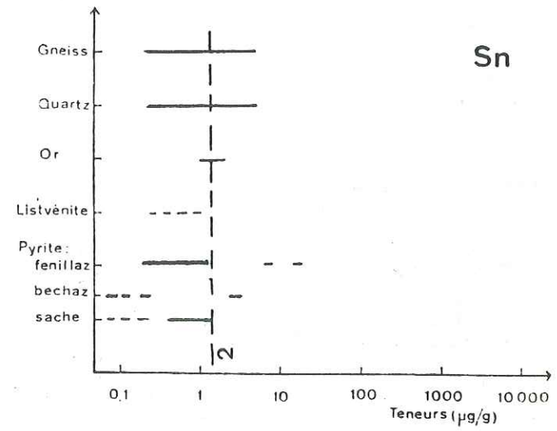

Th
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite
fenillaz
bechaz
sache
8
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

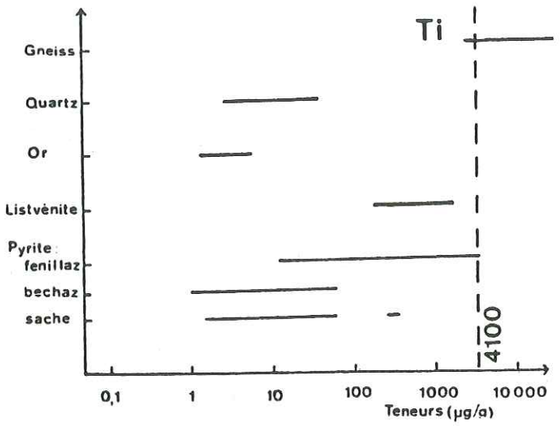

La
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
24
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

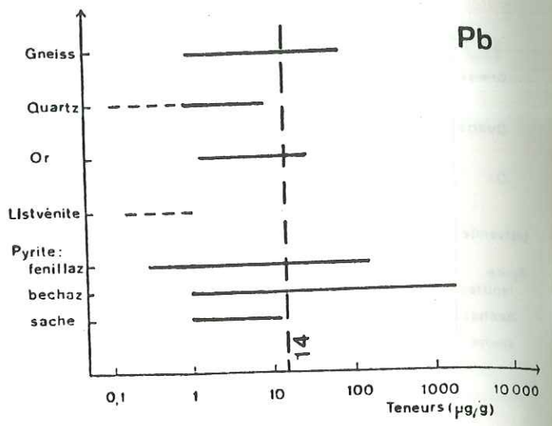

U
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite
fenillaz
bechaz
sache
2
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

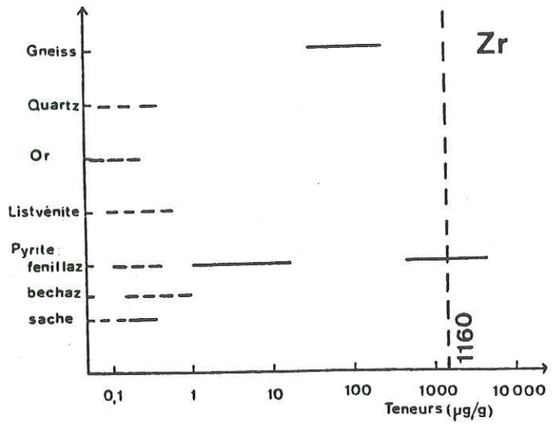

Ge
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
1
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

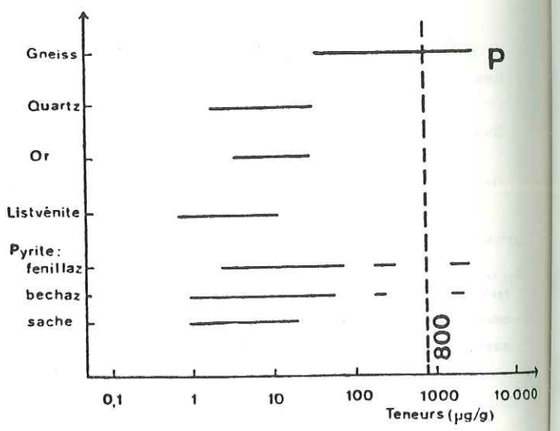

Si
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite
fenillaz
bechaz
sache
3100
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

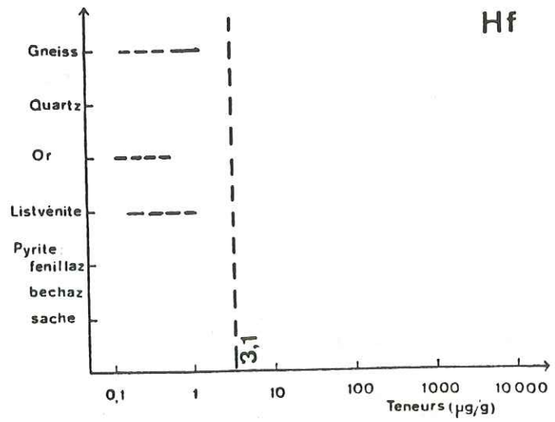

Sn
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
2
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

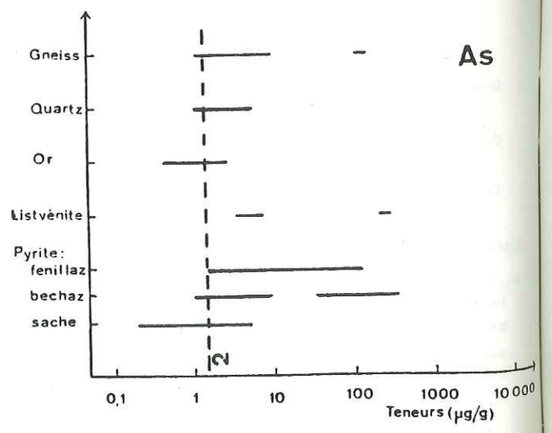

Ti
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite
fenillaz
bechaz
sache
4100
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

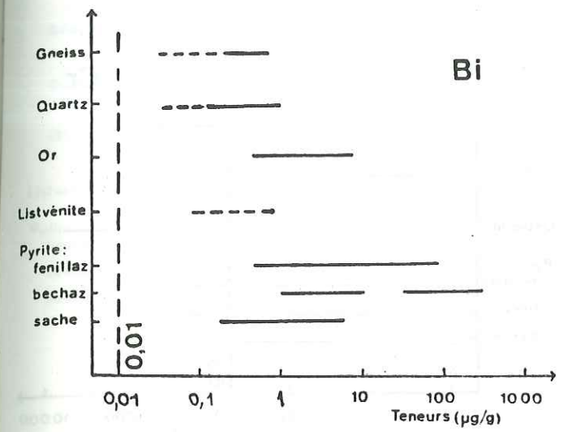

Pb
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
14
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

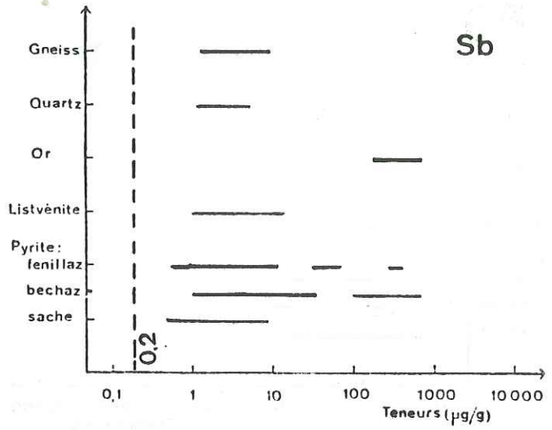

Zr
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite
fenillaz
bechaz
sache
1160
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

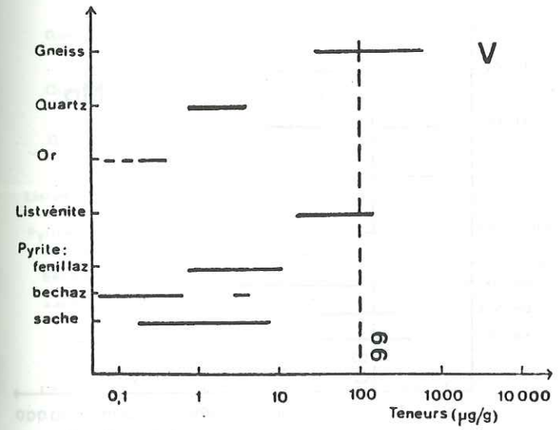

P
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
800
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

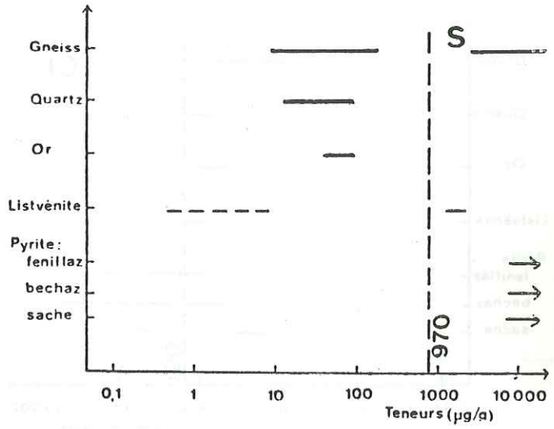

Hf
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite
fenillaz
bechaz
sache
3,1
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

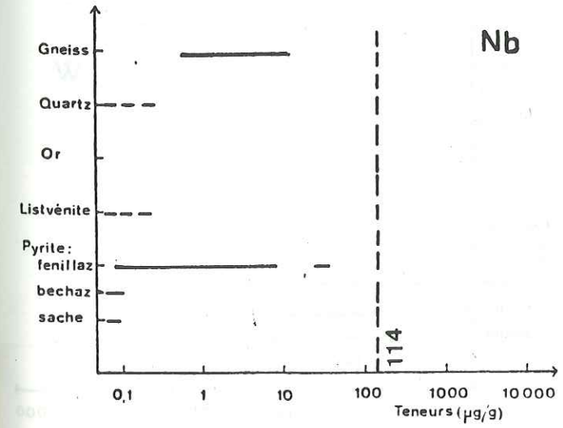

As
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
2
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

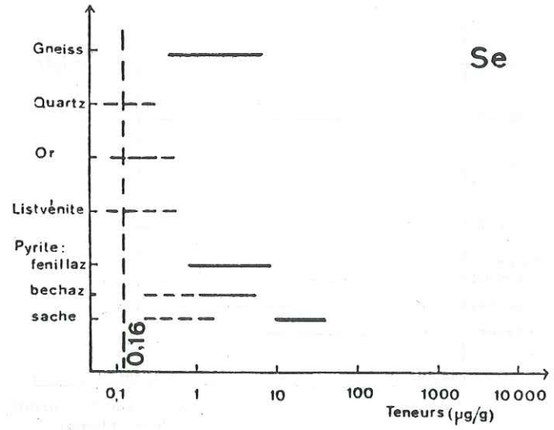

Bi
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
0,01
0,01
0,1
1
10
100
1000
Teneurs (µg/g)

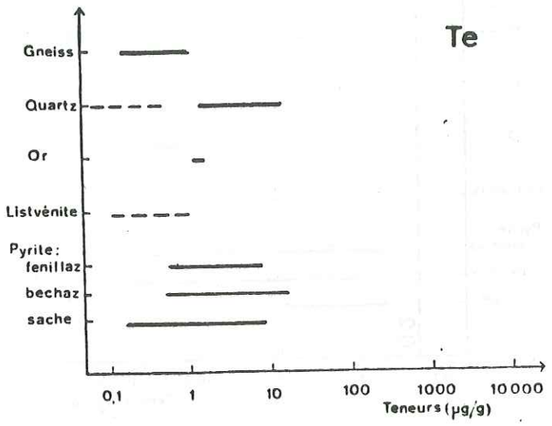

Sb
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
0,2
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

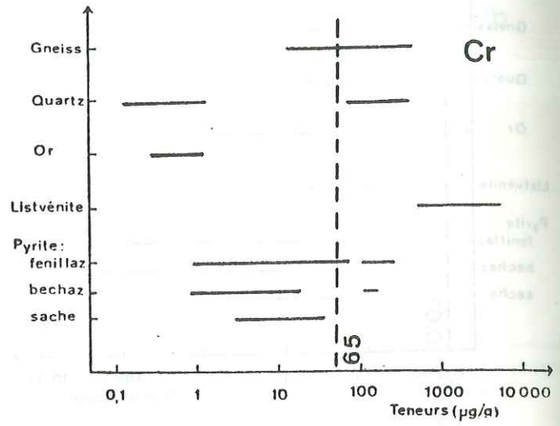

V
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
99
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

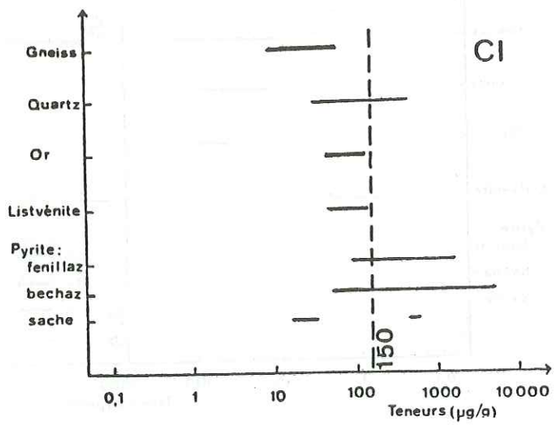

S
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
970
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

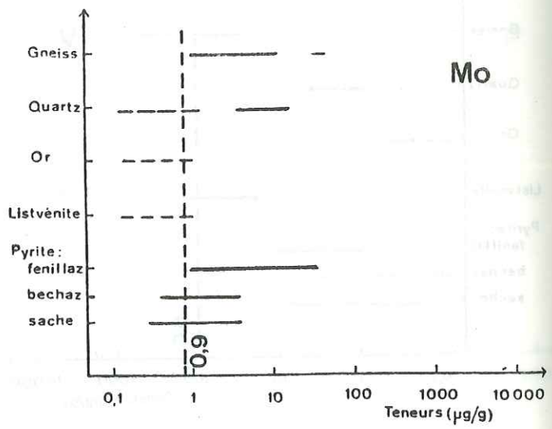

Nb
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
114
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

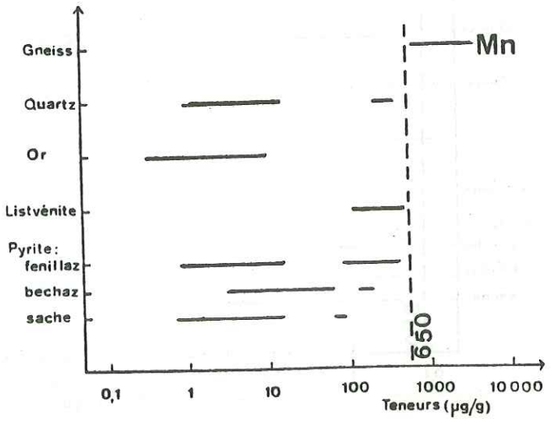

Se
Gneiss
Quartz
Or
Listvénite
Pyrite:
fenillaz
bechaz
sache
0,16
0,1
1
10
100
1000
10 000
Teneurs (µg/g)

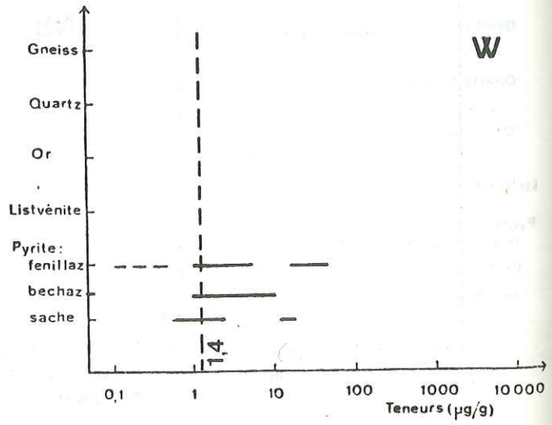


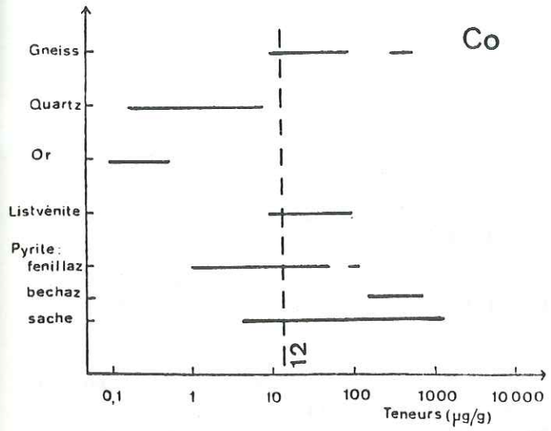


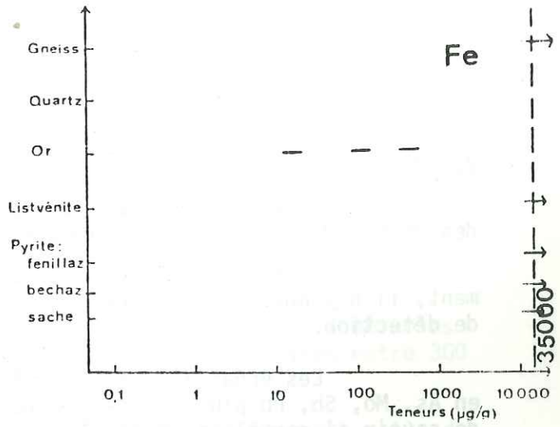


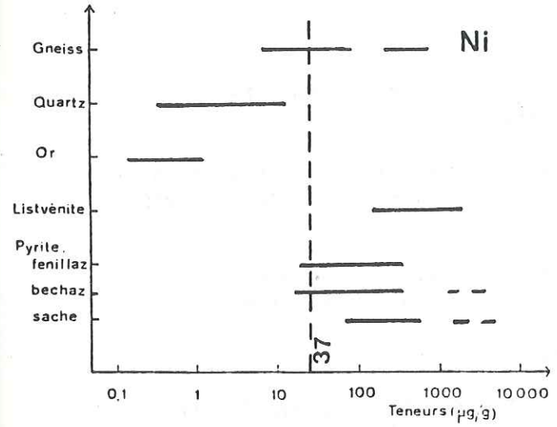


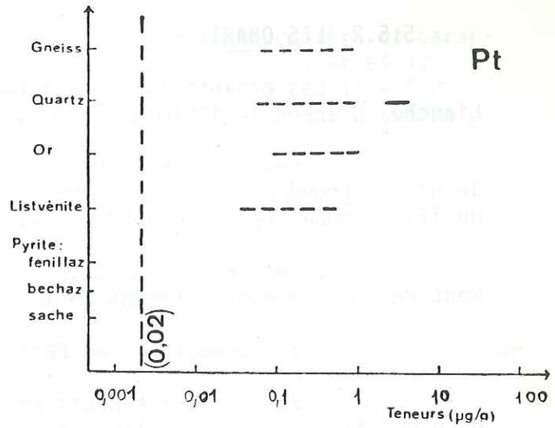












5.5. RÉSUMÉ ET INTERPRÉTATIONS PARTIELLES DES RÉSULTATS D'ANALYSES DES ÉLÉMENTS EN TRACES.

Nous synthétisons ici les résultats obtenus par S.M.E. ; cependant, seule une partie d'entre eux est interprétable directement vis-à-vis de la minéralisation aurifère ; pour Be, Cd, Tl, Y, Ga, Ge, Zr, HF, les références bibliographiques manquent, leurs teneurs seront donc données pour mémoire.

Nous considérerons maintenant chaque type de roche.

5.5.1. LES GNEISS, ENCAISSANT DES FILONS

Les diagrammes montrent :

. des éléments dont les teneurs sont très supérieures au clarke : Mn, Se, Mo, Ag, Sb, Bi.

. des éléments dont les teneurs sont inférieures au clarke : Nb, Th, Be, Zr, Hf, Zn.

. les autres éléments, y compris les lanthanides, sont présents dans des ordres de grandeur semblables à celui du clarke.

. les teneurs en Au sont toutes inférieures à 0,1 g/t ; apparemment, il n'y aurait pas d'enrichissement en cet élément, compte tenu des limites de détection.

Les échantillons Fen 1.1. et Fen 3.3. (tab. 28), montrent des teneurs en As, Mo, Sb, Pb plus fortes que les autres échantillons. Il serait intéressant de savoir si,corrélativement, les teneurs en Au de ces deux échantillons sont plus élevées.

5.5.2. LES QUARTZ

Les échantillons proviennent des filons Comba Toppa, Fenillaz et Gaebianche. D'après le tableau n° 29 , on observe :

. peu de différences de composition entre les trois filons, sauf pour le n° CT4 (poudre) à forte teneur en Ca et en Sr expliquée par la paragenèse du filon Comba Toppa (quartz et calcite).

. une grande pureté des échantillons liée à l'absence d'enrichissement en un quelconque élément de masse atomique supérieure à celle de As.

. des teneurs en Au hétérogènes.

. des faibles teneurs en Ge, Cr, Mo, Ag, Sb, Te, Hg, Pb, Bi, U ; Hg n'est détecté que dans les cristaux automorphes du fait de sa nature volatile.

. des teneurs hétérogènes en Li, Na, Cl, K seulement dans le cas des cristaux non broyés ; ceci pourrait être expliqué par la présence d'inclusions fluides contenant des mélanges d'éléments alcalins.

Il est important de remarquer que les éléments présentant un faible enrichissement dans les quartz (en particulier Ag, Sb, Te, Hg, Pb, Bi) sont considérés comme des marqueurs classiques de la minéralisation aurifère (voir chapitre 1).

5.5.3. LES LISTVENITES

Les échantillons analysés proviennent de quatre affleurements distants de 30 km mais tous situés dans le Val d'Ayas. Malgré cela les échantillons sont caractérisés par l'homogénéité de leur composition en éléments en traces.

Les traits majeurs de cette composition sont :

. fortes teneurs en Li, K, Rb, Cs.

. faibles teneurs en Na (rapport K/Na inversé par rapport aux serpentinites (voir paragraphe 5.3.).

. fortes teneurs en Au (de 0,5 à 3 g/t).

. absences de Te, Hg, La (et TR), U.

. fortes teneurs en Cr (fuchsite !) et Ni.

Kashkai et al. (1975) signalent des teneurs en nickel semblables aux nôtres dans les listvénites du Petit Caucase, teneurs comprises entre 300 et 10 000 µg/g.

. la plupart des éléments de masse atomique supérieure à celle du Sr sont à des teneurs très basses ou inférieures à la limite de détection.

Ainsi, la géochimie des listvénites est-elle particulière et caractérisée par l'absence des éléments en traces lourds, mis à part l'or et le césium. D'autre part, comme nous l'avons déjà souligné dans le chapitre 1.2., la présence du mercure à des teneurs exploitables est fréquente dans ce type de roche; or, dans le Val d'Ayas, cela ne semble pas être le cas.

5.5.4. L'OR NATIF

Sa composition en éléments majeurs est de :

90 % Au - 10 % Ag + Hg (voir paragraphe 5.5.6.).
La finesse de l'or de Challant est donc grande.
L'abondance de l'argent est un phénomène classique de solution solide entre Au et Ag (voir chapitre 1.2.1.)
Les caractéristiques de la composition en éléments mineurs et en traces sont (tab. 31) :

. fortes teneurs en Hg. De telles proportions de mercure (de 0,5 à 5 %) ne sont pas connues dans la nature ; or cet élément est toujours présent dans l'or natif, mais à des teneurs plus basses comme dans l'or de La Gardette. Cependant sa solubilité maximale dans l'or est égale à environ 35 atomes/100, soit 35 %, car la masse atomique de ces éléments est très semblable.

. par ordre décroissant d'abondance, les autres éléments sont:Sb, Cu, Fe, Zn, Pb, Te, Bi, As, In, U, Ni, Co.
Cu et Sb sont à des teneurs semblables et cent fois plus élevées que les autres éléments en traces. Par comparaison, la composition de l'or de La Gardette est très différente.

. absence de V, Se, Mo, Pt.

. rapport Au/Ag = 10 et Au/Cu compris entre 2 500 et 5 600.
Ces rapports sont semblables à ceux cités par Davidenko et al. (1978) (voir tab.4 , chapitre 1), concernant l'or d'un filon épithermal du "fareast" soviétique. Ceci confirme le caractère épithermal des filons du district de Challant (voir chapitre 3).

L'or natif se caractérise donc pas sa grande finesse, sa forte proportion en mercure et par la prépondérance de l'antimoine et du cuivre sur ses autres éléments en trace.

5.5.5. LES PYRITES

Les trois filons échantillonnés ont des paragenèses différentes : quartz et or natif pour le filon Fenillaz, quartz et pyrite aurifère pour Béchaz, quartz et pyrite (scheelite rare) pour Sache (voir aussi chapitre 3). Notre intention était de savoir comment ces paragenèses se reflètent sur la composition en éléments en traces des sulfures, et aussi s'il est possible de différencier par ces éléments une pyrite aurifère d'une pyrite non enrichie.

Malgré la rareté des références sur ce sujet, l'interprétation d'une partie de l'ensemble des résultats sera proposée ; plusieurs éléments (Be, B, Rb, Sr, Y, Nb, Cs, Ba) seront donnés pour mémoire par manque de points de comparaison.

5.5.5.1. Filon Fenillaz

D'après les tableaux 32 et 33, la composition en éléments en traces de ces pyrites se caractérise par :

. une grande hétérogénéité des teneurs de la plupart des éléments ;

. un fort pourcentage de Si (présence de fines inclusions de quartz), malgré le soin apporté au tri ;

. des teneurs relativement faibles en éléments plus lourds que l'arsenic ;

. par ordre décroissant d'abondance, les éléments métalliques se classent ainsi :

- Cu, Ni, Co, Sb, Pb, As, Ag, Mo, Bi, W, Se, Te, Sn, U Hg, Au. Zn est inférieur à 30 µg/g.

. un rapport Co/Ni compris entre 0,15 et 0,90 ;

. des teneurs en Au soit inférieures à la limite de détection, soit comprises entre 0,5 et 2 µg/g. De même pour Hg, mais l'intervalle de variations est encore plus grand (1 à 20 µg/g) ;

. dans les pyrites prélevées dans une enclave de gneiss, fortes teneurs relatives en Zr, Ba, La (n° F7R, F9R, F25).

. des teneurs hétérogènes en certains éléments (Ag, Pb, Bi) au sein du même échantillon, cette hétérogénéité se traduisant par la présence d'inclusions de galène, qui s'observe également en section polie.*

Les pyrites du filon Fenillaz se distinguent donc par des teneurs en or soit de l'ordre de 1 µg/g, soit inférieures à 0,2 µg/g et par les éléments en traces prédominants suivants : Cu, Ni, Co, Sb, Pb, As. Le sélénium et le tellure sont présents mais à des teneurs faibles (1 à 10 µg/g).

5.5.5.2. Filon Béchaz n°3

Les pyrites de ce filon présentent la composition en éléments en traces suivante (voir tab. 34 et 35) :

. homogénéité relative des teneurs en un élément donné dans les différents échantillons ;

. forte teneur en Si (supérieure à 1 %) dans la moitié des échantillons expliquée par la présence d'inclusions de quartz non triables ;

. absence de la plupart des éléments plus lourds que l'arsenic dont La et Zr ;

. présence des éléments métalliques suivants par ordre décroissant de teneurs :

---

* Sur les tableaux 32 et 33, ces hétérogénéités sont signalées par le lettre H ; la teneur donnée correspond à la moyenne arithmétique de l'intervalle de variation.

As, Cu, Co, Ni, Pb, Sb, Ag, Bi, Te, Au, Mo, Se, U, Sn, W (Zn est inférieur à 30 µg/g) ;

. absence de Hg ;

. teneurs en or comprises entre 0,5 et 5 µg/g ;

. rapport Co/Ni variant de 0,3 à 18, mais plutôt supérieur à 1 ;

. présence d'éléments hétérogènes au sein du même échantillon : Cu, Ni, Ca, Zg, Sb, Au, Pb, Bi. Ceci peut s'expliquer par la présence d'inclusions de galène et de cuivres gris, ce qui est confirmé par l'étude microscopique des sections polies. De même, les teneurs hétérogènes de l'or seraient le reflet de sa nature en inclusions. C'est pourquoi une analyse par microsonde électronique a été effectuée (voir paragraphe 5.6).

Les pyrites du filon Béchaz sont donc caractérisées par des teneurs en or hétérogène dans le même échantillon (inclusions d'or natif), la moyenne étant 2 µg/g, et par la prédominance de Au, Cu, Co, Ni, Pb, Sb, Ag sur les autres éléments en traces. Le sélénium et le tellure sont présents à des teneurs faibles (moins de 10 µg/g).

5.5.5.3. Filon Sache

D'après les tableaux 36 et 37, ces pyrites présentent les caractères suivants :

. quasi absence des éléments plus lourds que l'arsenic ;

. fortes proportions de Si (de l'ordre de 1 %);

. présence des éléments suivants par ordre décroissant d'abondance :

Cu, Ni, CO, As, Se, Ag, Te, W, Pb, Bi, Sb, Sn, Mo. Zn est inférieur à 10 µg/g.

. absence de Au, Hg, U, Th ;

. rapport Co/Ni compris entre 0,13 et 3,5 ;

. absence d'éléments hétérogènes au sein d'un même échantillon.

Les pyrites du filon Sache sont donc caractérisées par l'absence de l'or, par de fortes teneurs en Cu (chalcopyrite), par de faibles teneurs en Ag, Sb, Te, Se, Pb, Bi et en W, malgré la présence de scheelite (voir chapitre 3). L'absence de l'or est un phénomène curieux car d'après Roccatti (1925), cette pyrite serait aurifère (5 µg/g voir chapitre 3.3.5.). Or l'échantillonnage a été effectué dans la zone supérieure du filon seulement ; nous supposons donc que la pyrite dont parle Roccati provient des niveaux inférieurs, aujourd'hui inaccessibles.

5.5.5.4. Comparaison des compositions des trois types de pyrite

Cette comparaison est facilitée par les histogrammes de fréquence visualisant les différences de teneurs en un élément donné, dans les trois sites (fig. 77, 78, 79). Seuls les histogrammes des éléments directement interprétables vis-à-vis de la minéralisation aurifère sont tracés, c'est-à-dire : V, Cr, Mn, Cu, Ni, Co, As, Se, Mo, Sb, Te, Pb, Bi, Au, Hg, W, U, Ag.

L'examen de ces histogrammes montre que ces trois types de pyrite ont une composition en ces éléments en traces bien différenciée ; sauf en ce qui concerne le tellure dont la teneur moyenne est d'environ 1 µg/g dans les trois cas.

Les pyrites aurifères du filon Béchaz n°3 se distinguent par :

. les plus fortes teneurs en As, Ag, Sb, Cu, Co, Pb, Bi, Hg.

. les plus faibles teneurs en Se, V, Cr, Ni, W.

Les pyrites peu enrichies en or du filon Fenillaz se caractérisent par :

. les plus fortes teneurs en Cr, Mn, Hg, U, Mo ;
. les plus faibles teneurs en As, Te, Cu, Co.

Les pyrites non aurifères du filon Sache se caractérisent par :

. les plus fortes teneurs en Ni, Se, V ;
. les plus faibles teneurs en Mo, Sb, Pb, Bi, U, Hg.

Ainsi, la composition des pyrites aurifères se différencie-t elle bien de celle des pyrites stériles ; les teneurs en As et Sb décroissent des pyrites les plus riches en or (Béchaz) vers les pyrites stériles (Sache). Ces faits sont en accord avec l'observation de Boyle (1979) : des teneurs relativement plus élevées en arsenic et antimoine dans la pyrite sont souvent l'indication d'un enrichissement en or dans ses gisements.

5.5.6. RESUME DES RESULTATS D'ANALYSE DES ELEMENTS EN TRACE

. L'or est présent à de fortes teneurs dans la plupart des matériaux du district : pyrites des filons Béchaz et Fenillaz, quartz filonien, listvénites du Val d'Ayas. Les gneiss minuti, encaissant les filons du type Fenillaz, ne présenteraient apparemment pas d'enrichissement en cet élément.

. La composition en éléments en traces des pyrites aurifères se différencie de celle des pyrites stériles par leurs teneurs plus élevées en As, Ag, Sb, Cu, Pb, Bi, Hg, Co. L'arsenic et l'antimoine seraient des indicateurs d'enrichissement en or dans ces gisements.

. Le mercure est surtout présent dans l'or natif, à des teneurs comprises entre 0,5 et 5 %. A notre connaissance, de telles quantités de mercure dans l'or n'ont pas été décrites. D'autre part, cet élément n'est détecté que dans l'or et dans quelques pyrites de la région de Challant ; les listvénites, qui peuvent être des minerais de mercure dans d'autres districts miniers, n'en contiennent pas ici, malgré leur enrichissement en or et en éléments alcalins.

. Dans les pyrites, l'existence de teneurs hétérogènes en certains éléments métalliques (Pb, Ag, Bi, Au, Sb) suggère la présence d'inclusions de sulfures et d'or natif.

. Un certain nombre d'éléments en traces sont présents dans les gneiss, le quartz , les pyrites aurifères et l'or lui-même à des teneurs plus élevées que les autres éléments; il s'agit de : Ag, As, Sb, Cu, Hg, Pb, Bi, et d'une manière moins nette Te.

5.6. CONCLUSIONS SUR LA GÉOCHIMIE DU DISTRICT DE CHALLANT

Les méthodes d'échantillonnage systématique, associées aux dosages spécifiques de l'or, se sont révélées rapides peu onéreuses et efficaces puisque les teneurs d'exploitation historiques ont été confirmées. Ces techniques sont couramment utilisées dans l'industrie minière. Cependant, il est nécessaire de s'affranchir de l'effet de grain provoqué par la nature de l'or dans le minerai ; pour y remédier, le prélèvement d'une quantité de matériau de 5 à 10 kg par point est recommandé.

Ainsi, ces dosages spécifiques de l'or nous conduisent-ils à poser la question suivante : sous quelle forme se trouve l'or dans les pyrites ? Les analyses de pyrites par SME montrent que cet or est présent sous la forme d'inclusions. Nous en avons cherché la confirmation en analysant par microsonde électronique Camebax(laboratoire DMG.SEM.GSS, CEN Grenoble) une section polie de pyrite ; elle provient de la colonne minéralisée occidentale du filon Béchaz n°3. Sur la figure 80 , la photographie du haut montre une micro-inclusion aux bords nets, de forme prismatique et de 5 x 10 µ de diamètre. Les photographies du bas représentent les analyses de l'or et de l'argent de cette section : les images de l'or et de l'argent se superposent parfaitement à l'inclusion; la composition de cet or natif est d'environ 90 % Au et 10 % Ag. Le mercure est détecté à environ 1 % mais son image n'a pu être réalisée. Ainsi, l'or se trouve-t-il dans la pyrite sous la forme d'inclusions plurimicrométriques d'or très fin.

Ces résultats ont une importance capitale car ils ont une conséquence pratique immédiate : pour récupérer l'or à partir du minerai pyriteux, il faudra broyer ce dernier très fin sinon l'amalgamation au mercure ne sera pas efficace.

Les données de la géochimie permettent de compléter et d'expliquer certaines observations de terrain : dans le cas des listvénites, nous savions au départ que dans certains districts miniers, elles peuvent représenter des minerais d'or et de mercure. Or les listvénites du Val d'Ayas contiennent un peu d'or (1µg/g) et le mercure n'y a pas été détecté. Dans le secteur Ciamusera, ces roches s'observent surtout dans de failles N 120 ayant joué après la mise en place des filons les plus riches(type Fenillaz, voir paragraphe 3.3.). D'autre part, une paillette microscopique d'or natif a été observée dans un filonnet de quartz recoupant le fond serpentineux d'une listvénite.

Ces observations nous amènent à penser que la présence de l'or dans les zones silicifiées des listvénites serait due à une contamination à l'intersection de deux directions de failles, l'une étant bien plus riche en or. Par contre, l'absence de mercure dans les listvénites est difficile à interpréter, surtout si l'on tient compte de la forte teneur en cet élément dans l'or natif. Peut-être pouvons-nous invoquer une perte relative de cet élément, très volatil, au cours de la contamination et donc de la remobilisation et du transport de l'or.

L'étude des altérations hydrothermales telles les altérations d'épontes et la listvénitisation nous procurent des arguments d'application pratique immédiate : en accord avec les données de Boyle (1979), à l'approche de filons aurifères, les rapports SiO_2/CO_2 et K_2O/Na_2 s'inversent complètement et pourraient être utilisés en prospection géochimique dans les roches.

Grâce à l'utilisation d'une méthode d'analyse multi-élémentaire (spectrométrie de masse à étincelles), l'inventaire de tous les éléments présents dans les principaux types de roche est dressé et l'ordre de grandeur de leur teneur est indiqué.

Le dosage de l'or n'est pas facile car il nécessite des méthodes d'analyses dont la sensibilité est meilleure que le µg/g et atteint 10^{-3} µg/g . Par contre, le dosage de la plupart des métaux, est communément utilisé en prospection sur de grandes séries d'échantillons. C'est pourquoi, la mise en évidence des éléments indicateurs de l'or dans le district de Challant est nécessaire. Cependant elle implique la connaissance de la teneur du fond géochimique des éléments pouvant être indicateurs de l'or, dans les roches non minéralisées. Ce type de données manque totalement dans le district de Challant mais grâce à notre étude des éléments en traces, certains d'entre eux paraissent pouvoir être considérés comme

accompagnateurs de l'or. Il s'agirait des éléments suivants : Sb, As, Ag, Cu, Hg, Pb, Bi, (Te?).

Avant de les utiliser, des études de leurs teneurs dans les roches stériles et la comparaison avec celles des zones enrichies sont à envisager. Puis, au cours de prospections géochimiques à plus grande échelle, il suffira de considérer les variations de ces éléments, non seulement dans les zones encore peu explorées du district de Challant, mais aussi dans les régions où les mêmes conditions géologiques et structurales se retrouvent, en particulier sur les versants Set SW du Mont Rose.

CHAPITRE 6

HYPOTHESES GENETIQUES

6.1. CHRONOLOGIE GÉOLOGIQUE

6.2. ORIGINES DES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES FILONS AURIFÈRES ET LEURS MÉCANISMES DE MIGRATION

6.3. MODÈLE MÉTALLOGÉNIQUE PROPOSÉ

" Dans les archives de la géologie était déjà présent, disponible pour des opérations inconcevables, le modèle de ce qui sera plus tard un alphabet ".

Caillois cité dans le discours du récipiendaire de M. Yourcenar.

Ces hypothèses se basent sur :

. les observations de terrain concernant la géologie et la gîtologie,
. la synthèse des données géochimiques,
. la similitude du district de Challant avec celui de Yellowknife (Canada), par ailleurs bien étudié par Boyle (1979), et dont l'or aurait été secrété par métamorphisme.

Un approfondissement des connaissances tant géologiques que géochimiques sera nécessaire pour compléter cette première tentative de modélisation.

6 1. CHRONOLOGIE GÉOLOGIQUE

Seuls seront considérés les derniers événements liés à l'orogenèse alpine, de la fin du Crétacé à la fin du Tertiaire, dans la région orientale du Val d'Aoste :

· *Au Crétacé supérieur*, chevauchement des nappes austro-alpines sur la nappe piémontaise et la nappe pennique moyenne (Mont Rose-Arcesa-Grand Paradis) (Dal Piaz et al. 1972).

. *Vers 35-38 Ma*, existence d'un métamorphisme à faciès Schistes Verts et d'une ou plusieurs schistosités, provoqués par le réajustement géothermique postérieur à l'empilement des nappes. Les conditions de pression-température de ce métamorphisme seraient de l'ordre de 4 à 5 kbars et de 300 à 500°C (Hunziker, 1974 - Bocquet et al., 1978).

. *Vers 30 Ma*, mise en place de dykes de lamprophyres, probablement associés au magmatisme monzo-syénitique de Biella et Traversella (Dal Piaz et al., 1979).

Or nous avons vu que, dans la région de Challant, ces dykes sont discordants dans les listvénites aurifères et donc postdatent la minéralisation (voir paragraphe 2.1.2.2.). D'autre part, quelques filons aurifères encaissés dans les gneiss se prolongent au delà du contact de ces roches avec la nappe des Schistes Lustrés. En outre, la faille de Ranzola semble recouper le filon Fenillaz et en décaler les prolongements en profondeur. Le rejeu de cette faille, provoquant la remontée des gneiss, aurait ainsi un âge compris entre 40 et 30 Ma. *Les filons quartzo-aurifères se seraient donc mis en place entre 35 (?) et 30 Ma.*

Il est très important de remarquer que cette époque correspond à celle du métamorphisme Schistes Verts.

6.2. ORIGINES DES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES FILONS AURIFÈRES ET LEURS MÉCANISMES DE MIGRATION

Ces matériaux sont essentiellement l'or, le quartz, la pyrite ; la région de Challant est caractérisée par un important apport de silice.

6.2.1. ORIGINE DE L'OR

Il ne semble pas y avoir de concentrations anomales en or dans les gneiss amphiboliques et nous ne disposons pas de teneurs en or dans les gneiss oeillés. Si nous supposons que les teneurs en or de ces deux types de gneiss sont "normales" (0,003 µg/g pour les gneiss oeillés et 0,007 µg/g pour les gneiss amphiboliques, voir chapitre 1), les roches paléozoïques d'Arcesa pourraient contenir la quantité d'or suivante : le volume de ces gneiss correspond à 3 km^3 au moins de gneiss oeillés et 0,3 km^3 au moins de gneiss amphiboliques. Les tonnages d'or théoriquement présents dans ces roches sont égaux à :

. 24 t d'or dans les gneiss oeillés,

. 4 t d'or dans les gneiss amphiboliques.

A titre de comparaison, nous rappellerons qu'au maximum 2 t d'or ont été extraites des filons du district et que les réserves n'excèderaient pas 5 t (voir paragraphe 3.4.).

Ainsi, point n'est besoin d'envisager une origine profonde de l'or. De plus, dans cette région, des manifestations magmatiques contemporaines de la minéralisation aurifère ne sont pas connues, exception faite des dykes de lamprophyres de faible amplitude. Ainsi les roches régionales sont-elles capables de fournir une quantité d'or bien supérieure à celle contenue dans ces gisements.

Quant au processus de mobilisation et de migration de cet or potentiel, la contemporanéité de la minéralisation aurifère et du métamorphisme à faciès Schistes Verts militerait dans le sens d'une secrétion métamorphique de l'or. En effet, un gradient de température (de 200 à 300°C) augmente fortement la solubilité de l'or en solution aqueuse (fig. 7) (Seward, 1973).

Sighinolfi et Bertolani (1978) expliquent la formation des gisements d'or de la vallée de Strona (faisant partie de la province aurifère des Alpes italiennes, voir paragraphe 1.1.) par un processus de remobilisation analogue au cours de métamorphisme.

6.2.2. ORIGINE DU QUARTZ

Nos études sur la géochimie des altérations hydrothermales montrent que de la silice est libérée à partir de ces roches altérées. Mais l'ampleur de ce phénomène est-elle suffisante pour expliquer la formation des nombreux filons de quartz ?

Nous avons essayé d'estimer la masse de silice libérée au cours de l'altération des épontes afin de la comparer à la masse de quartz représentée par le filon lui-même. Ce calcul n'est pas possible dans le cas des filons de Challant car les densités des roches locales ne sont pas disponibles. Par contre

cette estimation est possible dans l'exemple du district de Yellowknife (voir fig. 5 et tab. 8 chap.1) ; le tableau suivant résume les données de Boyle (1979), qui correspondent à une seule éponte.

	Roche verte non altérée	Roche altérée à chlorite	Roche altérée à séricite + carbonate	Filon
Epaisseur (m)	-	13,3	3	3
Densité (t/m^3)	2,99	2,75	3,00	2,65
% SiO_2 pondéré à volume égal	0,504	0,371	0,383	≃ 1
Poids de SiO_2 dans 1 m^3 de roche (t/m^3)	1,50	1,02	1,15	
Poids de quartz libéré par m^3 de roche altérée (t/m^3)	-	0,48	0,35	-

soit un volume donné de roches égal à :
100 m x 100 m x épaisseur de roche altérée. La masse de quartz libérée par l'altération des roches sur une seule éponte est donc égale à :

$$(100 \times 100 \times 13{,}3 \times 0{,}48) + (100 \times 100 \times 3 \times 0{,}35) =$$

$$6{,}4\ 10^4 + 10^4 = 7{,}4\ 10^4 t \text{ par éponte soit } 15\ 10^4 \text{ t } SiO_2 \text{ libérée au total}$$

Par comparaison, la masse d'un filon de quartz de 3 m d'épaisseur est égale à :

$$100 \times 100 \times 3 \times 2{,}65 = 8\ 10^4 \text{ t}$$

Ainsi, la masse de silice libérée au cours de l'altération est-elle du même ordre de grandeur que celle du filon lui-même, dans le cas de Yellowknife.

Dans le district de Challant, les caractéristiques géochimiques de l'altération des épontes est semblable à celle de Yellowknife. Cependant, cette altération ne dépasse pas, pour le filon Fenillaz, 0,5 m de puissance de chaque côté du filon, lui-même puissant de 0,8 m en moyenne. La masse de silice libérée au cours de l'altération ne sera donc pas suffisante pour former par la suite la gangue du filon.

Ainsi, une faible partie du quartz filonien proviendrait-elle de l'altération des épontes ; le quartz "manquant" pourrait avoir la même origine que l'or-même, le silicium ayant comme l'or de fortes capacités de migration (voir paragraphe 1.3.2.) ; le quartz pourrait ainsi avoir été remobilisé par le métamorphisme à faciès Schistes verts, peut-être à partir des gneiss oeillés dont les teneurs en silice sont fortes (70 % environ).

050 030893 9

Les considérations structurales nous conduisent à une hypothèse différente : en effet, la direction de la plupart des filons aurifères encaissés dans les gneiss est à peu près perpendiculaire à la direction de la schistosité (fig. 10) . Cette observation s'intègre bien dans un schéma structural classique : ouverture de zones en extension (macro-fentes alpines) perpendiculairement à la direction de la contrainte maximale. Selon ce schéma, cette contrainte aurait provoqué le départ de la silice des roches vers les zones en extension.

6.2.3. ORIGINE DE LA PYRITE

Le soufre aurait pu être mobilisé avec les autres éléments volatils au cours du métamorphisme régional, puis aurait migré dans les solutions hydrothermales vers des zones de faible pression (fractures en extension). Là, il se serait combiné avec le fer libéré par l'altération des épontes, pour former les pyrites. Ce schéma convient mieux aux filons du type Fenillaz pauvres en sulfures qu'à ceux du type Béchaz où le quartz et la pyrite sont présents en proportions égales. Dans ce dernier cas, la provenance d'une telle quantité de fer nous paraît difficile à expliquer, d'autant que ces filons sont encaissés dans des gneiss oeillés pauvres en cet élément (tab. 12).

6.3. MODÈLE MÉTALLOGÉNIQUE PROPOSÉ

Nous proposons le schéma suivant : le métamorphisme à faciès Schistes verts aurait provoqué la mobilisation et la migration des éléments volatils (H_2O, CO_2, S) et de l'or, à partir des roches régionales. L'apparition d'une schistosité due aux contraintes tectoniques contemporaines de ce métamorphisme ainsi que l'ouverture des fentes d'extension associées auraient engendré la migration de la silice depuis les roches encaissantes vers ces zones de moindre pression canalisant les solutions hydrothermales aurifères. L'or pourrait aussi avoir été préconcentré par sécrétion métamorphique dans les roches encaissantes puis remobilisé en même temps que la silice lors des contraintes alpines. Par la suite, l'équilibre chimique, de part et d'autre des fractures, serait déplacé par la circulation des fluides hydrothermaux déjà cités, libérant une partie de la silice et du fer de l'encaissant. Le fer et le soufre se seraient alors recombinés dans les zones en extension pour former la pyrite.

Ce modèle est fondé sur nos observations pétrographiques, tectoniques et gîtologiques et non sur nos données géochimiques. C'est pourquoi, des études de la répartition des éléments majeurs et en traces devront être envisagées dans l'avenir et plus précisément celles concernant les phénomènes suivants :

- comparaison des compositions des roches fortements schistosées avec celles des roches non tectonisées;
- variations de la nature et de la teneur des éléments en traces dans les roches en fonction de la proximité des zones minéralisées.

CONCLUSIONS

Les minéralisations aurifères de la basse vallée d'Ayas sont considérées comme faisant partie de la province aurifère du Mont Rose, du fait de leur position structurale et de leur gîtologie. Nos observations sur l'entité géologique et structurale de cette vallée nous permettent de définir le district aurifère de Challant.

Ce district se localise au Sud de l'accident majeur de Ranzola qui, dans son prolongement oriental délimite la fenêtre (ou écaille ?) d'Arcesa. Les gîtes et indices aurifères sont encaissés à la fois dans les gneiss oeillés et amphiboliques paléozoïques d'Arcesa, ainsi que dans les prasinites et amphibolites mésozoïques de la nappe des Schistes Lustrés à ophiolites.

Il s'agit de filons épithermaux, épigénétiques,strictement contrôlés par la fracturation et dont la mise en place se serait effectuée entre 50 et 30 millions d'années.

Ces filons sont au nombre d'une centaine et se différencient soit par le type de minéralisation, soit par leur direction et la teneur en or associée. En effet, on distingue le type Fenillaz à quartz et or natif (teneur en or moyenne de 12 g/t) et le type Béchaz à quartz et pyrite aurifère (teneur en or moyenne de 7 g/t) ; de plus, nous montrons que les filons se répartissent selon trois directions principales N 60, N 120 et N 160,la première étant la plus fréquente et la plus riche en or.

La quantité totale d'or extrait au cours des temps est au minimum égale à 1,2 t ; les réserves probables sont estimées à 1 t et les réserves possibles à 5 t. Elles concernent surtout les filons Fenillaz, Gaebianche, Comba Toppa et Bouchaille.

Sur le plan géochimique, l'utilisation de différentes méthodes d'analyse nous a permis d'étudier les éléments majeurs, mineurs et traces présents dans les roches rencontrées dans la région de Challant.

Tout d'abord, des analyses par fluorescence X mettent en évidence une similitude de la géochimie des deux types d'altérations hydrothermales étudiées (altération d'épontes et listvénitisation);ces altérations sont caractérisées par l'inversion des rapports SiO_2/CO_2 et K_2O/Na_2O à l'approche des filons ou des listvénites.

Les analyses par spectrométrie de masse à étincelles contribuent à caractériser la composition des différentes roches :

. *les gneiss* encaissants des filons ont une teneur en or inférieure à 0,1 µg/g et leurs teneurs en Sb, As, Pb, Mo seraient anomales (sous réserve de la détermination ultérieure de leurs teneurs de fond) ;

. *les listvénites* présentent une composition particulière, caractérisée par l'abondance des éléments alcalins (sauf le sodium), la présence de l'or (teneurs d'environ 1µg/g), et l'absence du mercure, des Terres Rares et de l'uranium. La présence de l'or est néanmoins liée aux zones silificiées des listvénites ; elle serait due à une contamination à l'intersection de deux directions de failles, N 120 et N 60 , la dernière étant bien plus riche en or ;

. *les quartz* filoniens montrent une grande pureté ;

. *l'or natif* est un alliage d'or et d'argent (90 % Au, 10 % Ag), contenant un fort pourcentage de mercure (0,5 à 5 %) ; le cuivre et l'antimoine sont plus abondants que les autres éléments en traces ;

. *les pyrites* du filon Béchaz ont des teneurs en or comprises entre 0,5 et 5 µg/g, celles du filon Fenillaz sont soit stériles, soit faiblement aurifères (environ 1 µg/g) alors que celles du filon Sache sont stériles. Les teneurs en As, Sb, Ag, Cu, Pb, Bi, Co, Mg sont plus élevées dans les pyrites riches en or de Béchaz que dans celles de Fenillaz et celles de Sache. Il est donc possible de différencier par leur composition en éléments traces les pyrites aurifères des non aurifères.

L'examen de l'ensemble de ces résultats analytiques, complétés par des connaissances bibliographiques, permet de proposer pour le district de Challant, les éléments accompagnateurs de l'or sous réserve d'études complémentaires de leurs teneurs de fond géochimique ; il s'agit des éléments suivants : Sb, As, Ag, Cu, Hg, Pb, Bi, Te.

Quant à l'or lui-même, ses dosages par des méthodes spécifiques, corrélés aux observations de terrain, nous amènent à poser le problème de sa nature dans la pyrite, en complément de ce qui est détecté dans ces sulfures par S.M.E. Une analyse par microsonde électronique confirme la nature de micro-inclusion de l'or natif dans la pyrite d'un filon du type Béchaz.

La synthèse des données concernant la géologie, la gîtologie et la géochimie du district de Challant et leur comparaison avec les références bibliographiques nous permettent de proposer le modèle métallogénique suivant : l'or de ce district proviendrait des roches régionales par sécrétion métamorphique (métamorphisme à faciès Schistes verts, postérieur à l'empilement des nappes). Le quart aurait migré à partir des gneiss paléozoïques, par compression tectonique, vers des zones en extension, aujourd'hui représentées par les filons eux-mêmes.

En résumé, cette étude du district aurifère de Challant a requis l'utilisation de plusieurs méthodes de prospection complémentaires ainsi que leur adaptation à la recherche de l'or dont la nature noble complique la compréhension de ses relations avec la géologie régionale. Cependant, notre travail éclaire d'un jour nouveau la métallogénie de ce district et nous espérons avoir démontré l'intérêt de ce type d'étude pour la mise en valeur des richesses du sous-sol. Il contribue aussi à la mise en évidence de plusieurs problèmes pouvant être approchés par des méthodes différentes des nôtres. C'est ainsi que nous proposerons, pour l'avenir, les pôles de recherche suivants:

. Etude structurale détaillée conduisant à un schéma tectonique global intégrant la faille de Ranzola, et élucidant son rôle dans la métallogénie régionale.

. Mise en valeur des filons les plus prometteurs grâce à la détermination de leurs teneurs en or et à des travaux de reconnaissance appropriés selon le cas.

. Détermination des teneurs de fond géochimiques de l'or lui-même et des éléments soupçonnés d'être accompagneurs de l'or dans les roches régionales.

. Utilisation de ces éléments dans une prospection systématique en sols, non seulement dans le district de Challant, mais aussi dans le massif du Mont Rose.

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE 1

ANTWEILER J.C., SUTTON A.L. (1970) - Spectrochemical analysis of native gold samples.
U.S. Clearinghouse Fed.Sci.Tech.Inform, PB Rep. 1970 no. 194809, 32 p.

ANTWEILER J.C., CAMPBELL W.L. (1976) - Application of gold compositional analyses to mineral exploration in the United States.
25 Int.Geol.Congr.,V2, p.433-434.

AUGER P.E. (1941) - Zoning and district variations of the minor elements in pyrite of Canadian gold deposits.
Economic Geology, V 36, n°4, p. 401-423.

BACHE J.J. (1980) - Essai de typologie quantitative des gisements mondiaux d'or.
B.R.G.M., note n° 622, 10 p.

BAILEY E.H., EVERHART D.L. (1964) - Geology and quicksilver deposits of the New Almaden district, Santa Clara County , California.
Geol. Survey Professional Paper, 360, 206 p.

BOYLE R.W. (1961) - The geology, geochemistry, and origin of the gold deposits of the Yellowknife district.
Geol. Surv.Canada, memoire 310, 193 p.

BOYLE R.W. (1979) - The geochemistry of gold and its deposits.
Geol. Surv. of Canada, Bull. 280, 584 p.

CAPEDRI S., ROSSI (1974) - Conditions governing the formation of ophicalcites and listwanites.
Bull. Soc. Geol. Grecia 10, p. 278 à 297.

CASTALDO G., STAMPANONI G. (1975)-Memoria illustrativa della Carta mineraria d'Italia.
Mem. Carta Geol. Ital., V 14, p. 21 à 25.

CEVALES G. (1961) - I giacimenti minerari del Gran Paradiso.
Rendic. Soc.Min.Ital, 17, p. 193 à 217.

DAVIDENKO N.M., CHIBISOV N.P. (1978) - Vertical zonation of a gold-ore deposit in the northeast USSR.
Geochemistry int., V 15, n° 5, p.51 à 58.

DENISOV S.V., KOSHMAN P.N., YUGAY T.A. (1966) - Trace elements in gold from some districts of the Amur region.
Geochemistry Int., V 3, n° 5, p. 904 à 908.

GAVRILENKO B.V., BELOLIPETSKIY A.P, BOLOTOV N.I., VOROBETS A.A. (1974) - Geochemistry of gold in the Kolmozero-voron'ya-metamorphic complex (Kola Peninsula).
Geochemistry Int., v.11, n° 1, p. 111 à 117.

GONCHARENKO A.I. (1970) - Auriferous listwanites as a new type of mineralisation in the northern part of the Kuznetsk Ala-Tai.
Izv. Tomsk.Politekh., Inst. 239, p. 110 à 114.

GOTTFRIED D., ROWE J.J., TILLING R.I. (1972) - Distribution of gold in igneous rocks.
Geol. Surv. Prof.Paper 727, 42 p.

HUTTENLOCHER H.F. (1934) - Die Erzlagentättenzone der Westalpen.
Schweiz. Mineral.Petrogr.Mitteil., Band XIV, 1934, p.22 à 149.

KASHKAI M.A. (1964a) - Listvenitisation of basic and ultrabasic rocks and classification of listvenites.
Merzhdunar.Geol.Kongr., XXII Sessiya, Dokl.Sov.Geologov 1964, Prol. 16, 100-18.

KASHKAI M.A. (1964b) -Metasomatic zoning and chemistry of listwanites.
Inst.Geol.i Geofiz, Sibirsk. Otd. Akad. NaukSSSR, p. 198 à 214.

KASHKAI M.A. , ALLAKHVERDIEV C.I. (1971) - New data on listvenites and chlorographite metasomatites among ultrabasites.
Isv. Akad.Nauk S.S.R., Ser.geol.6, p. 17 à 26.

KASHKAI M.A., ABDULLAEV Z.B., NASIBOV T.N., GUSEINOVA S.F. (1975) - Distribution of nickel and cobalt in various genetic types of listwanites.
Dokl ,Akad.Nauk Az.SSR 1975, 31 (1),33-6.

KASHKAI M.A., BEKTASHI S.A., ALLAKHVERDIEV S.I., MAMEDOV M.S. (1976) - Characteristics of geochemical specialization of listwanites in the central part of the Lesser Caucasus.
Izv. Akad.Nauk. Az.SSR, Ser.Nauk Zemle (1976) (2), p. 91 à 101.

KHITRUNOV A.T., MEL'TSER M.L. (1979) - Geochemistry of gold in the granitoid process.
Geochemistry International, V 16, n°5, p. 37 à 42.

KOROBUSHKIN I.M. (1969) - Forms of occurence of finely dispersed gold in pyrite and arsenopyrite.
Doklady Akad.Nauk SSSR, V 192, p. 122-123.

MACHAIRAS G. (1970) - Contribution à l'étude minéralogique et métallogénique de l'or.
Bull. B.R.G.M., section II, n° 3, p. 1 à 109.

MARAKUSHEV A.A. (1977) - Geochemical properties of gold and conditions of its endogenic concentration.
Mineral.Deposita 12, p. 123 à 141.

MOISEENKO V.G., FATYANOV I.I.,(1972) - Geochemistry of gold.
24 th Int. Geol.Congr.Canada, section 10, p. 159 à 164.

OMENETTO P., BRIGO L. (1976) -Metallogenesi nel quadro dell'orogene ercinico delle Alpi (con particolare riguardo al versante italiano).
Mem.Soc.Geol.Ital., V 13, p. 339 à 362.

PETROVSKAYA N.V., ELINSON M.M., NIKOLAEVA L.A. (1971) - Composition and formation conditions of gas inclusions in native gold.
Int.Geochem.Congr. Moscou, USSR, Abstract of reports I, p.326-327.

SAVOSIN S.I., CHEPIZHNAYA E.A., GUZHOVA N.G. (1977) - Distribution des éléments radioactifs dans les roches et minerais de quelques dépôts aurifères de l'Ouzbékistan.
Soviet.Geol., n°2, p. 114 à 120.

SEWARD T.M. (1973) - Thio-complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions.
Geoch. Cosmo. Acta, V 37, p. 379 à 399.

SIGHINOLFI G.P., BERTOLANI M. (1978) - Gold distribution in high grade metamorphic rocks from the Strona Valley (It.W.Alps).
Mem. Ist.Geol. Min. Univ. Padova, V 33, p. 223-231.

STELLA A. (1943) - I giacimenti auriferi delle Alpi italiane.
Mem.descr.Carta Geol.Ital., 27, 134 p.

VLASSOV (1968) - Genetic types of rare elements deposits.
t.3, p. 490 à 495.

WEISSBERG B.C. (1970)-Solubility of Gold in Hydrothermal Alcaline Sulfide Solutions.
Economic Geol., V 65, p. 551 à 556.

CHAPITRE 2

BEARTH P. (1952) - Geologie und petrographie des Monte Rosa.
Beitr.Geol.Karte Schweiz, V 96, 103 p.

COMPAGNONI R., ELTER G., LOMBARDO B. (1974) - Eterogeneità stratigrafica del complesso degli "gneiss minuti" nel massicio cristallino del Gran Paradiso.
Mem. Soc. Geol. Ital., V 13, 1974, p. 227 à 239.

DAL PIAZ G.V. (1965) - La formazione mesozoïca dei calcescisti con pietre verdi fra la Valsesia e la Valtournanche ed i suoi rapporti strutturali con li ricoprimento Monte Rosa e con la zona Sesia-Lanzo.
Bol. Soc. Geol. Ital., V 84, n° 1, p. 67 à 104.

DAL PIAZ G.V. (1966) - Gneiss ghiandoni, marmi ed anfiboliti antiche del ricoprimento Monte Rosa nell'alta Valle d'Ayas.
Boll. Soc.Geol. Ital., V 85, p. 103 à 132.

DAL PIAZ G.V., Von RAUMER, SASSI F.P., ZANETTIN B., ZANFERRARI A. (1975) - Geological outlines of the Italian Alps.
The Earth Science Soc. of Libyan Arab. Rep. Tripoli, p.301 à 375.

DAL PIAZ G.V., OMENETTO P. (1978) - Brevi note su alcune mineralizzazioni della falda piemontese in Valle d'Aosta.
Ofioliti, n° 3, p. 161 à 176.

DAL PIAZ G.V., VENTURELLI G., SCOLARI A. (1979) - Calc-alkaline to ultrapotassic post collisional volcanic activity in the internal North-western Alps.
Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ.Padova, V.32, 16 p.

DOUSSET P., TOLLARDO J.Y. (1981) - Thèse 3è Cycle, Univ. Grenoble, à paraître.

GARCIAZ J.L. (1979) - Recherches minières au Sud du Val d'Aoste (Italie) : étude métallogénique des gisements de magnétite, prospections géologiques et géophysiques sur des pyrites cuprifères. Thèse Grenoble, 122 p.

GOSSO G., DAL PIAZ G.V., PIOVANO V., POLINO R. (1979) - High pressure emplacement of early-alpine nappes, postnappe deformations and structural levels. Mem. Ist.Geol.Min.Univ.Padova, V 32, 1979, 16 p.

HUNZIKER J.C. (1974) - Rb-Sr and K-Ar age determination and the Alpine tectonic history of the Western Alps. Mem.Ist.Geol.Mineral.Univ.Padova, V 31, 54 p.

POCACHARD J. (1980) - Structures de la roche et effets magnétiques. Mesures et interprétations. Thèse Etat, Grenoble, 312 p.

Carte géologique d'Italie (Echelle à 1/100 000) : Feuille 29, Monte Rosa (1902) auteurs : Franchi, Novarèse, Mattirolo, Stella.

CHAPITRE 3

BARETTI M. (1893) - Geologia della Provincia di Torino. F.Casanova Ed., 690 p.

BURFORD J.A. (1933) - Failles et minerais du Malcantone (Tessin). Schweiz. Mineral.Petrog.Mitteil. 13, p. 435 à 470.

CALVINO F. (1954) - Il giacimento d'amianto a fibra lunga di Settarme (Valle d'Aosta). L'Industria Mineraria, 7, 2è série, p. 407 à 411.

COLOMBA L(1907) - Osservazioni mineralogiche sui giacimenti auriferi di Brusson (Valle di Aosta). Atti. Acc. Sc.Torino, V 42, p. 904 à 922.

CORPO REALE DELLE MINIERE(1905 et 1911) Rivista del.Servizio Minerario Ital., V 22, 1905 et V 31, 1911.

DE CASTRO M. (1910) - Rapport sur les mines d'or de Brusson. Bern 1910.

DE ROBILANT N. (1786) - Essai géographique suivi d'une topographie souterraine minéralogique et d'une docimasie des Etats de S.M. en terre ferme. Mem. de l'Acad.Royal. de Sc. de Turin a. 1784-1785, Turin.

LE SUAVE R. (1974) - Etude par spectrométrie de masse à étincelles des Lanthanides et autres éléments traces dans les carbonates filoniens (Alpes externes françaises). Thèse 3è cycle, Grenoble, 180 p.

MARIE R. (1980) - Etude par spectrométrie de masse à étincelles de la répartition des éléments traces dans quelques gîtes alpins d'arsénopyrite. Thèse 3è cycle, Grenoble, 97 p.

SHAW D.M. (1964) - Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. Masson, 237 p.

VOISSET M. (1976) - Etude gîtologique du Nord des massifs du Pelvoux et des Grandes Rousses. Application de la spectrométrie de masse à étincelles à la géochimie des éléments traces des paragenèses à molybdénite. Thèse 3ème Cycle, Grenoble, 149 p.

CHAPITRE 5

BOYLE R.W. (1979) - The geochemistry of gold and its deposits. Geol. Surv. of Canada, Bull. 280, 584 p.

DAVIDENKO N.M., CHIBISOV N.P. (1978) - Vertical zonation of a gold-ore deposit in the northeast USSR. Geochemistry int., V 15, n°5, p. 51 à 58.

GONCHARENKO .A.I. (1970) - Auriferous listwanites as a new type of mineralisation in the northern part of the Kuznetsk Ala-Tai. Izv. Tomsk.Politekh., Inst. 239, p.110 à 114.

KASHKAI M.A., ABDULLAEV Z.B., NASIBOV T.N., GUSEINOVA S.F. (1975) - Distribution of nickel and cobalt in various genetic types of listwanites. Dokl. Akad. Nauk Az. SSR 1975, 31 (1), 22-6

LETOLLE R. (1978) - Article géochimie. Encyclopaedia Universalis, V7, p. 598 à 606.

CHAPITRE 6

BOCQUET J., DAL PIAZ G.V., HUNZIKER J.C., MARTINOTTI G., PECHER A. (1978) - Paleogeographical and structural outline of the Western Alps. Explanatory text, Metamorphic map of the Alps,1 : 1 000 000, Leiden, p. 185 à 208.

BOYLE R.W. (1979) - The geochemistry of gold and its deposits. Geol. Survey. of Canada, Bull. 280, 584 p.

DAL PIAZ G.V., HUNZIKER J.C., MARTINOTTI G.(1972) - La zona Sesia-Lanzo e l'evoluzione tettonico-metamorfica delle Alpi nordoccidentali interne. Mem. Soc.Geol. Italia, 11, p. 433 à 466.

HOTZ W. (1910) - Die Fenillaz-Goldgänge bei Brusson (Piemont).
Zeitschr.f. Prkt. Geol., 8 p.

HUTTENLOCHER H.F. (1934) - Die Erlagenstättenzone der Westalpen.
Schweiz. Mineral. Petrogr.Mitteil.,Band XIV, 1934, p. 22 à 149.

JERVIS G. (1875) - I tesori sotterranei dell'Italia. Partie 1. Regione delle Alpi.
Ed. Ermano Loescher, Torino,p. 80 à 370.

LENZI (1926) - La scheelite nella miniera di Sache presso Verres.
Resoc.Riun. Assoc. Min.Piemonte, n° 7, 1 p.

OMENETTO P., BRIGO L. (1976) - Metallogenesi nel quadro dell'orogene ercinico delle Alpi (con particolare riguardo al versante italiano).
Mem. Soc.Geol.Ital., V 13, p. 339 à 362.

POCACHARD J. (1980) - Structures de la roche et effet magnétiques. Mesures et interprêtation.
Thèse Etat , Grenoble, 312 p.

RICHARD A., DABROWSKI H. (1980) - Profils de Terres Rares dans différentes scheelites des Alpes.
8ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, 1980, p.302.

RICHARD A., DABROWSKI H., MICHEL R. (1981) - Contribution à l'étude des éléments -traces dans quelques scheelites des Alpes.
A paraître .

ROCCATI A. (1925) - Cenni illustrativi della miniere di pirite di Sache nel commune di Challant S. Victor.
Cons.agr.coop.della prov.di Novara, Torino, 22 p.

SCHMIDT C. (1900) - Geologisches Gutachten über die Goldführenden Gänge bei Brusson (Val de l'Evançon) in Piemont.
Bern,11 p.

STELLA A. (1943))-I giacimenti auriferi delle Alpi italiane .
Mem.descr.Carta Geol, Ital., 27, 134 p.

CHAPITRE 4

FLANAGAN F.J. (1976) - 1972 compilation of date on USGS standards.
Geological Survey Professional Paper 840, p. 131 à 183.

GOVINDARAJU K. (1980) - Report (1980) on three GIT.IWG Rock Reference Samples : anorthosite from Greenland, AN-G; basalte d'Essey-la Côte BE-N : granite de Beauvoir, MA-N.
Geostandarts Newsletter,vol.4, n°1, p. 49 à 138.

DAL PIAZ G.V., VENTURELLI G., SCOLARI A. (1979) - Calc-alkaline to ultrapotassic post-collisional volcanic activity in the internal north western Alps.
Mem.Ist.Geol.Mineral.Univ. Padova, V.32, 16 p.

HUNZIKER J.C. (1974) - Rb-Sr and K-Ar age determination and the Alpine tectonic history of the Western Alps.
Mem. Ist.Geol. Mineral. Univ. Padova, V 31, 54 p.

SIGHINOLFI G.P., BERTOLANI M. (1978) - Gold distribution in high grade metamorphic rocks from the Strona Valley (It.W.Alps).
Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, V 33, p. 223-231.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 2 avril 1981

Le Président de la thèse

R. MICHEL

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 6.4.81

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

RAYAN