

La bande minéralisée de Axara

En se déplaçant vers l'Est depuis Ouiksane, il suffit de traverser l'oued Ouiksane pour parvenir au gisement de Axara. Le passage au secteur nord-oriental du massif des Beni Bou Ifrou change l'environnement immédiat des minéralisations, qui se retrouvent encaissées dans un monoclinal d'orientation méridienne avec des pendages vers l'Est (Figure II.2). Le gisement de Axara s'aligne le long d'une bande minéralisée exploitée en divers grattages appelés « Creston ». La concentration la plus importante a fait l'objet d'une exploitation à ciel ouvert (Figure 7.1) ; l'*open pit*, circulaire, dévoile sur son parement NW la présence d'une intrusion fortement arénisée. La minéralisation s'y présente en deux bandes continues, Creston 5 à l'Ouest et Creston 3 à l'Est (DUFLOT *et al.*, 1984).



Figure 7.1 : panorama sur l'*open pit* de Axara depuis l'entrée orientale.

Les observations de terrain le long de la bande minéralisée de Axara permettent de réaliser plusieurs coupes argumentées, ainsi que d'en déduire la structure globale responsable de sa géométrie actuelle. La séquence paragenétique du minerai est ensuite établie à la lumière de ces nouvelles interprétations.

7.1 Géométrie et structures du gisement de Axara

7.1.1 Travaux historiques et réinterprétations structurales

La bande minéralisée de Axara a été étudiée dans son ensemble par RHODEN & ERENO (1962), ainsi que par DUFLOT *et al.* (1984). La carte géologique de l'*open pit* de Axara réalisée par ces derniers (Figure 7.2) est ici utilisée comme document de base auquel sont apportées quelques modifications. Notamment, tout l'encaissant y est fortement schistosé, et ce quelle que soit la lithologie d'origine (ici, présence d'alternances présumées d'origine

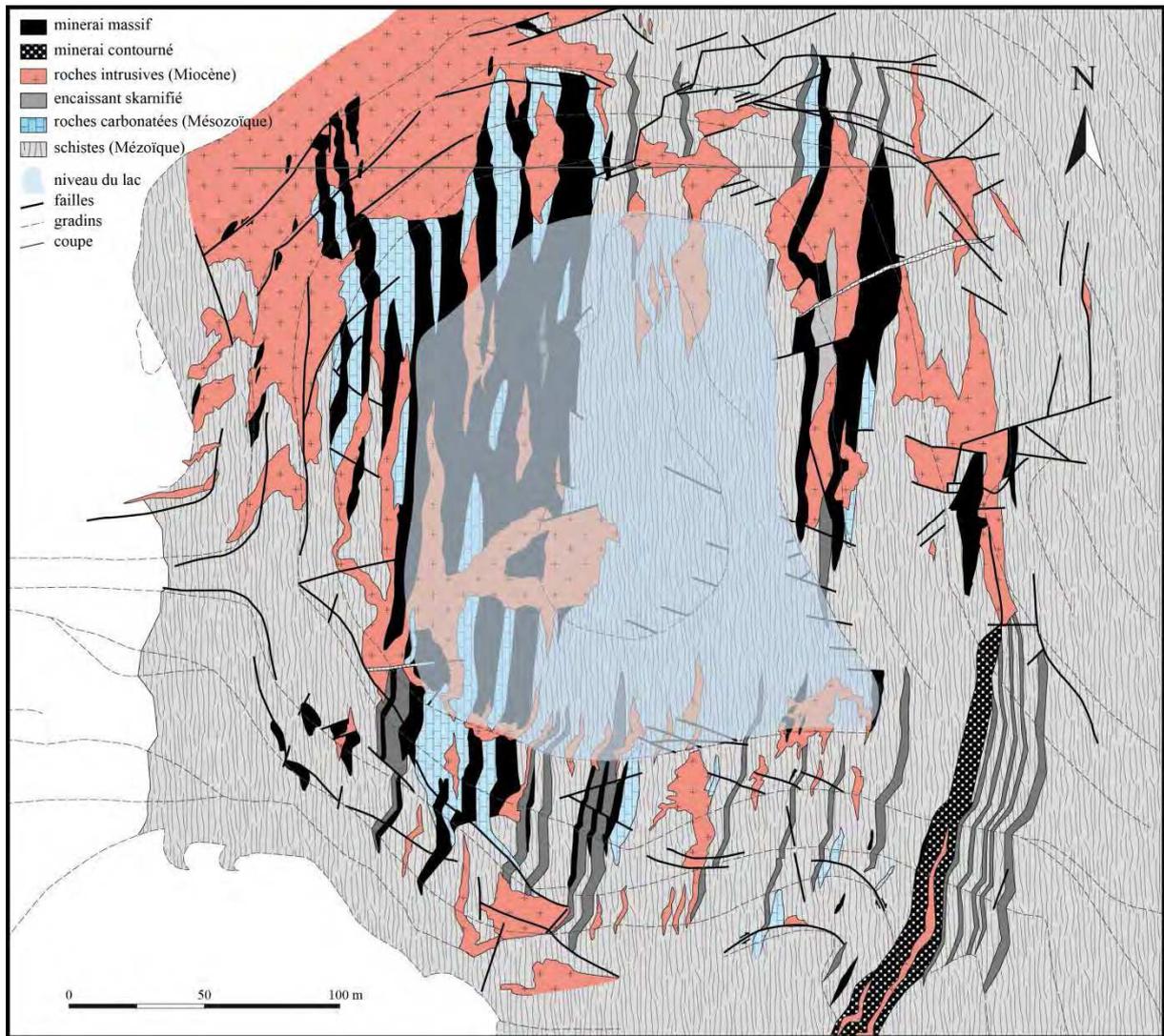


Figure 7.2 : carte géologique de la mine principale de Axara (modifiée d'après DUFLOT *et al.*, 1984).

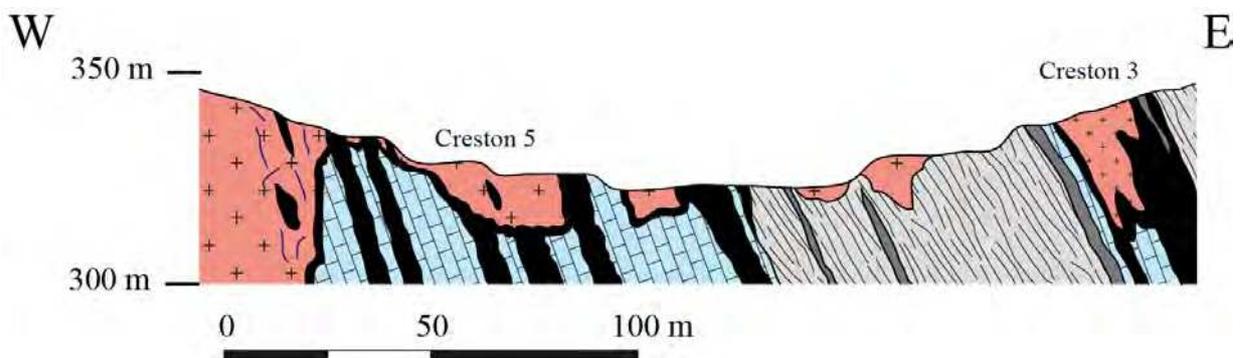


Figure 7.3 : coupe géologique réalisée au parement nord de l'open pit de Axara (ce travail). La légende est la même que sur la Figure 7.2.

volcano-sédimentaire) ; l'ensemble est donc réuni sous la simple appellation de « schistes ». Les intercalations cartographiées comme « tufs basiques à chlorite et albite » ont également été réinterprétées en encaissant skarnifié, ce qui sera justifié plus loin dans le texte. Enfin, les failles ont été reportées comme telles depuis le document d'origine.

A partir de la carte géologique modifiée et de nos propres observations de terrain, nous avons réalisé une coupe précise du parement nord de l'*open pit* de Axara (Figure 7.3). Cette coupe fait abstraction des perturbations par les failles, qui seront discutées à part.

7.1.2 Observations de terrain

7.1.2.a Expressions du magmatisme et de la minéralisation

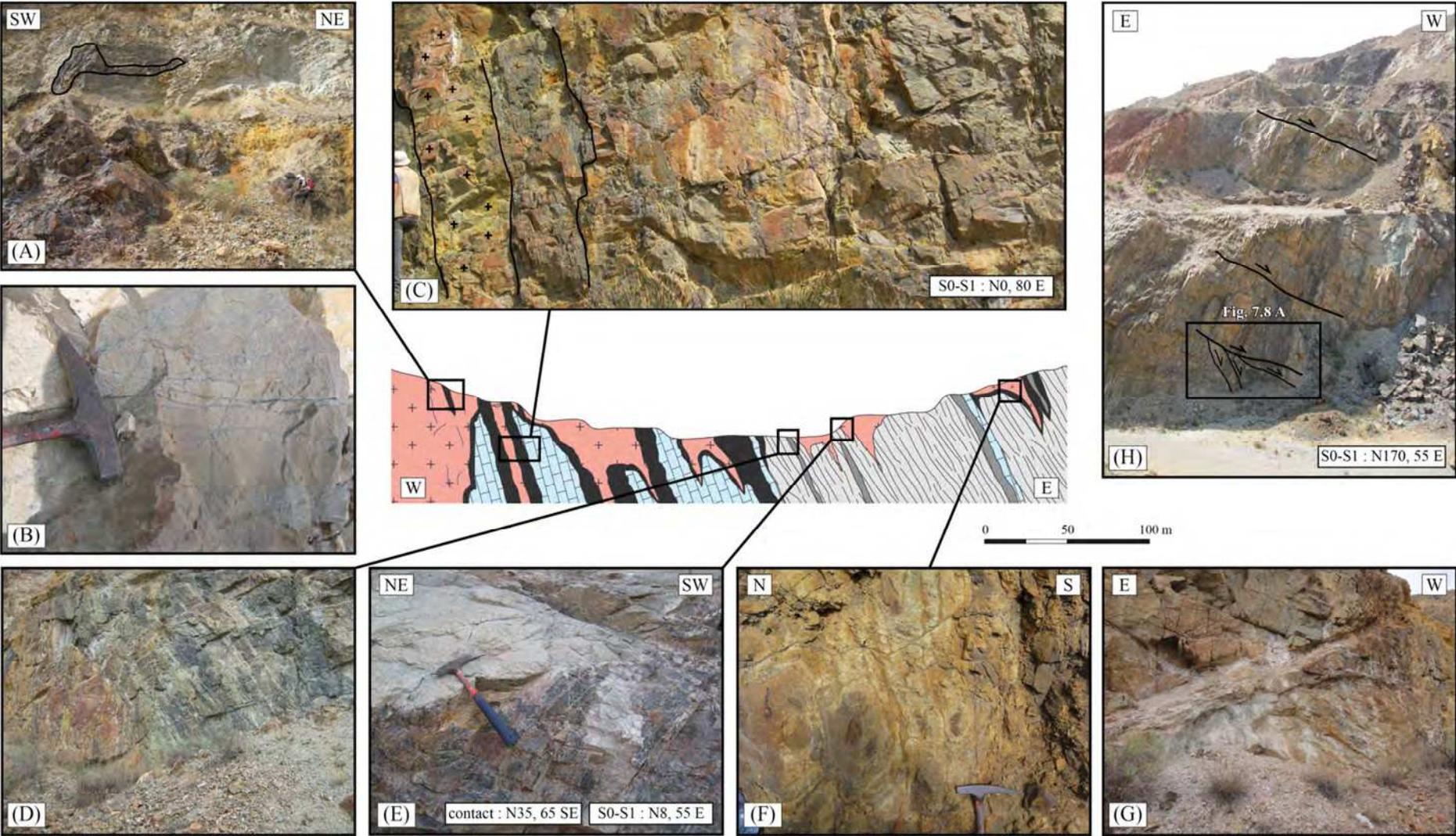
Au NW de l'*open pit*, soit au niveau de l'enveloppe de minerai Creston 5, une intrusion grenue fortement arénisée contient quelques septa de magnétite massive (Figure 7.4 A) et est localement parcourue d'un stockwerk discret sous forme de veinules millimétriques de magnétite (Figure 7.4 B). Une dissémination graduelle de la magnétite se produit aux épontes de cette lame d'intrusive ou encore des sills qui s'intercalent au sein de la série stratigraphique (type « carapace » ; Figure 7.4 C). A ce niveau de l'*open pit*, la série stratigraphique est très redressée et atteint jusqu'à 80° de pendage est.

Si l'on poursuit vers l'Est, au sortir du Creston 5 la série est majoritairement composée de schistes durcis par une silicification intense. La minéralisation ne s'exprime plus que de façon discrète, apparaissant sous forme diffuse dans certaines lithologies constituées d'alternances de niveaux noirs et verdâtres que nous interprétons comme de l'encaissant skarnifié (Figure 7.4 D). Une intrusion grenue traverse l'*open pit* du Nord au Sud sous forme de sill intercalé dans la séquence stratigraphique ; néanmoins, quelques diverticules se dégagent de ce sill et recourent l'encaissant cornéifié (Figure 7.4 E).

Sur la partie est du gisement (Creston 3), les intrusions apparaissent localement plus fraîches et surtout plus finement grenues, à tendance lavique. Elles prennent souvent des formes de dyke, avant de se conformer à la stratigraphie sous forme de sill. On y trouve également un stockwerk discret sous forme de fines veinules de pyrite (Figure 7.4 F). La présence à ce niveau d'un banc carbonaté dans la séquence a produit la deuxième enveloppe de minerai massif à magnétite, constituée notamment du minerai dit « contourné » sous la forme d'un banc minéralisé épais de plusieurs mètres à magnétite-calcite et très riche en pyrite automorphe centimétrique. Par ailleurs dans le Creston 3, le pendage de la série stratigraphique s'adoucit progressivement à 55° en moyenne à l'entrée de l'*open pit*.

Sur le flanc nord de l'*open pit* de Axara, une petite exploitation (Creston 2) est le symétrique du Creston 5 (Figure 7.5 A). On y retrouve une séquence similaire, constituée d'une alternance de schistes, de bancs de calcaires transformés et d'encaissant skarnifié. Une intrusion grenue y est intercalée en sill dans la stratigraphie, mais forme des diverticules qui la recourent. L'intrusion porte des septa de magnétite massive dont le plan d'allongement est parallèle à la stratigraphie générale (Figure 7.5 B). Deux faciès particuliers se trouvent aux contacts de cette intrusion : (1) à l'Est, une brèche calcaire contenant des clastes magnétisés (Figure 7.5 C) ; (2) à l'Ouest, un niveau à lentilles calcaires magnétisées

Chapitre 7 – La bande minéralisée de Axara



au sein d'une matrice schisteuse blanche (Figure 7.5 D). Ces deux faciès sont le résultat de la transformation de lithologies très réactives, composées de carbonates impurs. Une crête entre les bandes minéralisées d'Axara et de Setolazar-Bokoya présente des lithologies qui pourraient correspondre aux protolithes de ces faciès : (1) un calcaire bréchiq ue à matrice carbonatée, comprenant de petits clastes centimétriques de calcaire (Figure 7.5 E), et (2) un niveau alternant des bancs carbonatés emballés dans une matrice schisteuse (Figure 7.5 F). Enfin, un autre faciès magmatique se met en place en sill dans la stratigraphie du Creston 2 ; il s'agit d'un faciès volcanique de type « diatrème », fragmenté et comprenant quelques blocs de magnétite (Figure 7.5 G).

7.1.2.b Structures

Dans l'*open pit* de Axara, la série stratigraphique est régulièrement recoupée par des failles orientées NS et à pendage ouest, de jeu normal (Figure 7.4 G et H). Ces failles sont généralement peu pentées (30° environ) et elles occasionnent un décalage assez limité, d'ordre métrique à plurimétrique au maximum.

7.1.3 Interprétations

La structure du gisement de Axara telle que nous l'interprétons est représentée par un schéma de principe basé sur ce que montre le parement nord de l'*open-pit*, et intégrant les nouvelles données de terrain (Figure 7.6). A Axara, une grosse lame intrusive plutonique couvre le NW de l'*open pit*, sill à partir duquel des extensions recoupent régulièrement l'encaissant avant de devenir conformes à la stratigraphie. Là où l'encaissant est à tendance carbonatée, de la magnétite massive s'exprime sous forme de carapace ou de septa. Vers l'Est, l'influence carbonatée se réduit et la minéralisation se fait plus diffuse, en remplacement banc par banc au sein d'alternances skarnifiées dont la lithologie est plus réactive (probablement des séries calcareuses impures).

Contrairement à ce qui ressort de la littérature, tout le magmatisme exprimé n'est pas plutonique : en effet, certaines intrusions montrent un caractère plus finement grenu à tendance lavique. Si ces laves semblent moins altérées que leurs équivalents plutoniques, elles

Page précédente

Figure 7.4 : planche illustrant les différentes expressions de la minéralisation et du magmatisme au niveau de l'*open pit* de Axara. (A) Au parement NW de la carrière, lame intrusive fortement altérée contenant des septa de magnétite massive ; (B) Présence d'un stockwerk à magnétite discret dans cette même intrusion ; (C) Au contact entre les sills intrusifs et les bancs carbonatés, développement d'une carapace de magnétite massive ; (D) Lithologies à alternances de niveaux noirs et verdâtres interprétées comme de l'encaissant skarnifié ; (E) Contact intrusif dans les schistes cornéifiés, lessivé sur quelques centimètres ; (F) Stockwerk pyriteux recoupant des intrusifs d'aspect lavique ; (G) Faille normale peu pentée (30° environ) se situant au parement nord de l'*open pit*, marquée par une gouge ; (H) Série stratigraphique de l'entrée de l'*open pit*, recoupée par des failles normales peu pentées et décalée d'une cinquantaine de centimètres.

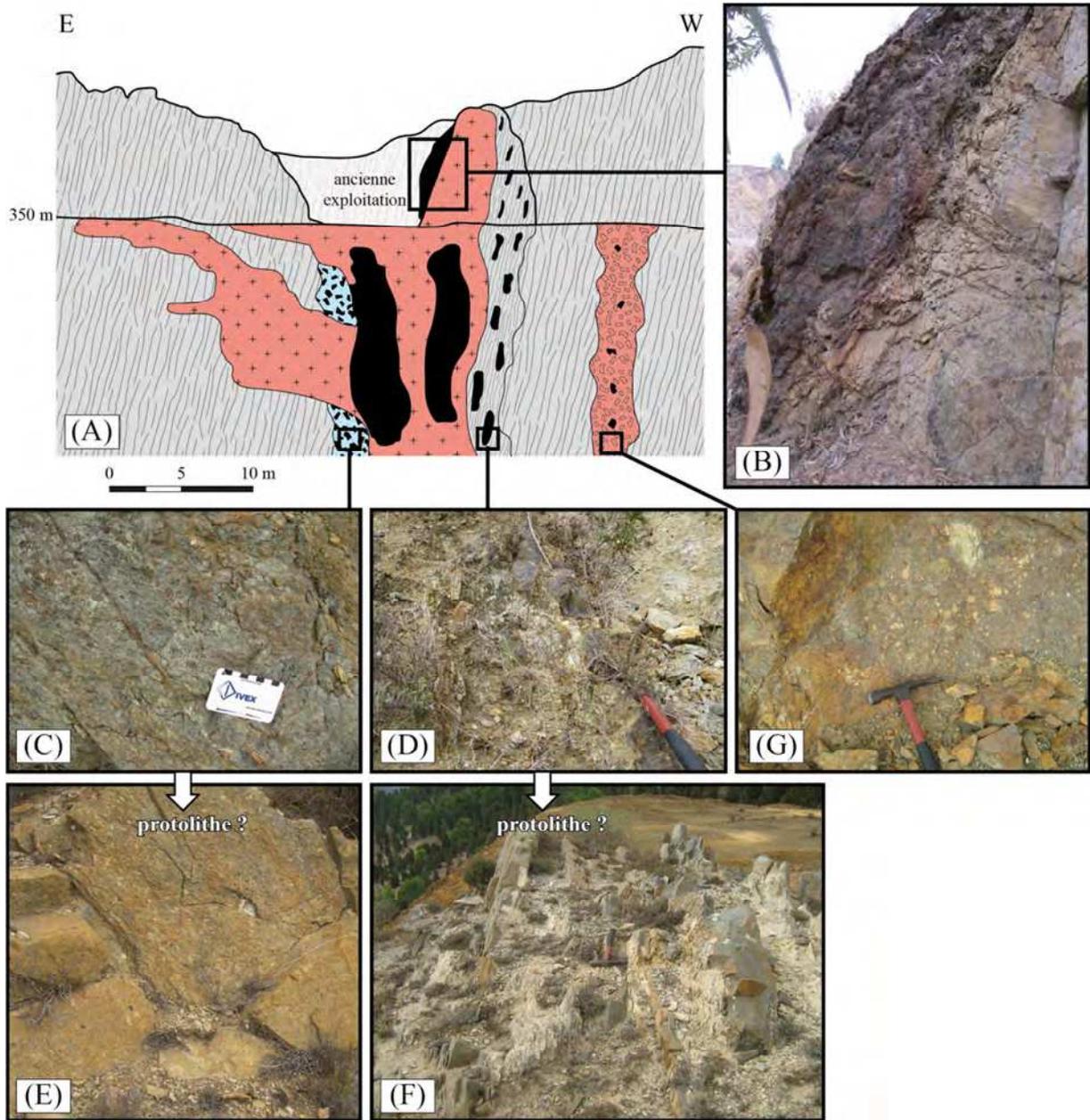


Figure 7.5 : planche illustrant l’ancienne exploitation Creston 2, miroir du Creston 5 de Axara. (A) Dessin de l’affleurement ; (B) Septa de magnétite massive emporté par l’intrusion, mais d’orientation similaire à celle de la stratigraphie environnante ; (C) Zoom sur le faciès bréchique calcaire à clastes de magnétite oxydés ; (D) Zoom sur le faciès à blocs calcaires magnétitisés au sein d’une matrice schisteuse blanche ; (E) Faciès de calcaire bréchique à matrice carbonatée, protolithe possible pour (C) ; (F) Faciès à bancs carbonatés emballés dans une matrice schisteuse blanche, protolithe possible pour (D) ; (G) Diatème volcanique à éléments fragmentés.

n’en sont pas moins subcontemporaines de l’épisode minéralisateur puisqu’elles sont recoupées par un stockwerk à pyrite. Par ailleurs, elles reproduisent le comportement des corps magmatiques grenus, recoupant l’encaissant sous forme de dyke avant de s’infiltrer dans la stratigraphie.

L’ensemble de la bande minéralisée d’Axara, dont le pendage subvertical à l’Ouest s’adoucit en allant vers l’Est, est recoupé de failles méridiennes faiblement pentées. Ces

failles montrent un jeu normal et un décalage mineur ; elles réutilisent parfois les épontes des dykes laviques.

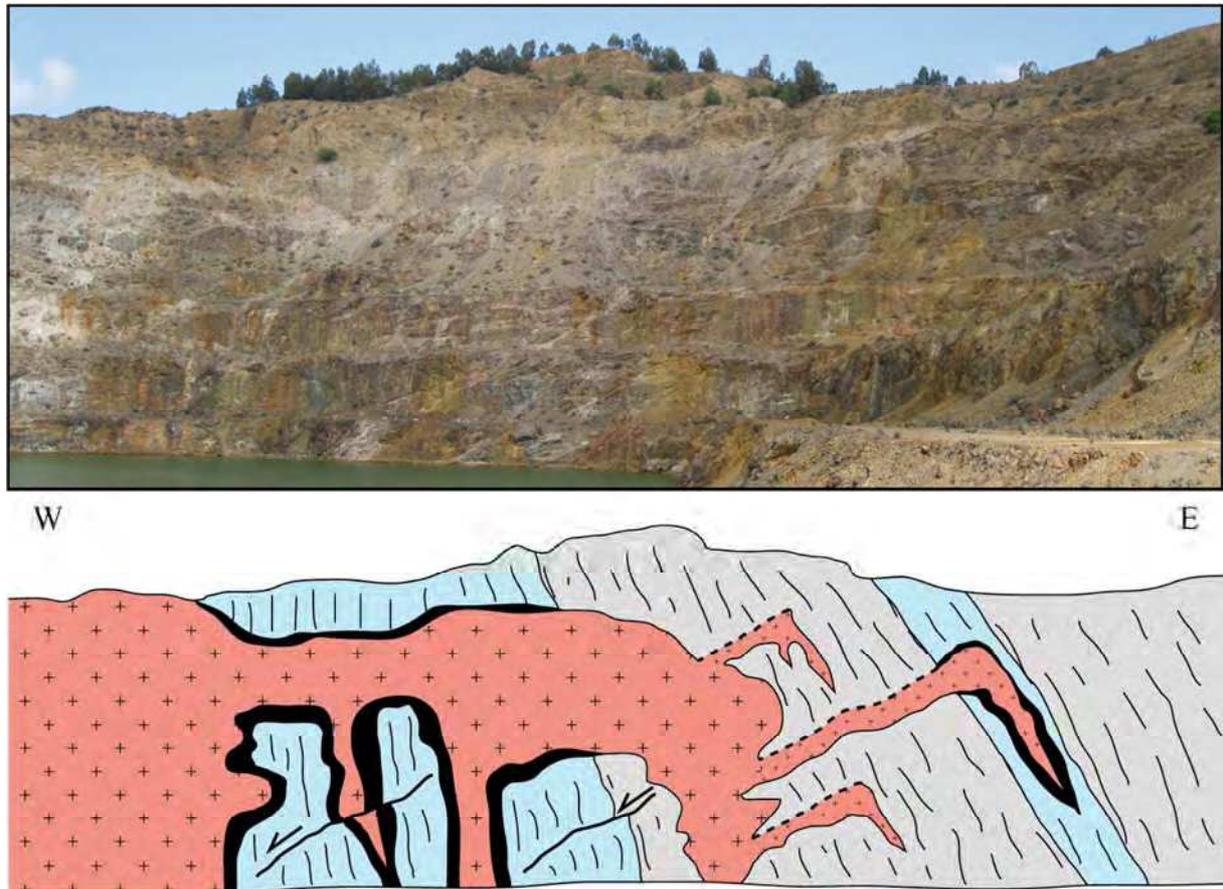


Figure 7.6 : schéma de principe simplifié montrant la structure à grande échelle au niveau du parement nord de l'*open pit* de Axara.

7.2 Paragenèse de la bande minéralisée de Axara

A Axara, l'exploitation a été divisée en fonction des deux courbes enveloppes du minerai – les Creston 5 et 3 – qui remplacent probablement d'anciens bancs carbonatés intercalés dans les schistes. Entre les deux, la minéralisation est plus diffuse et se dissémine dans des lithologies qui semblent préférentiellement skarnifiées. La séquence paragenétique du gisement (Figure 7.7) expose donc en abondance toutes les phases de l'évolution de la skarnification.

7.2.1 La phase prograde

La phase prograde à Axara est vraisemblablement la mieux exprimée et préservée à l'échelle du massif des Beni Bou Ifrou. Elle comporte à la fois des grenats et des pyroxènes. Les lithologies évoquant un endoskarn, au contact des lentilles de magnétite massive, sont malheureusement complètement rétomorphosées et ne contiennent plus de traces ni fantômes des silicates anhydres. En revanche, l'exoskarn est très largement répandu sur le site. Il est

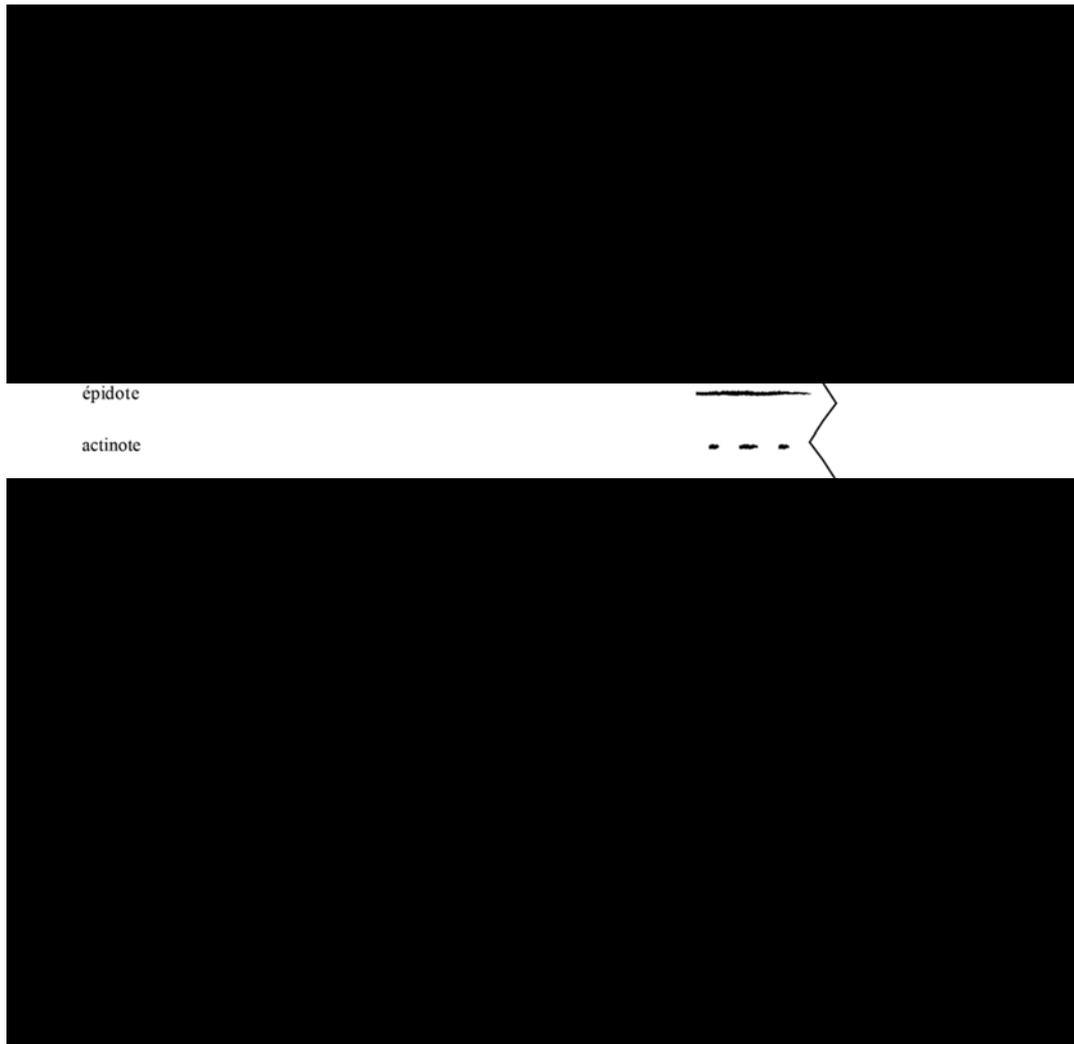
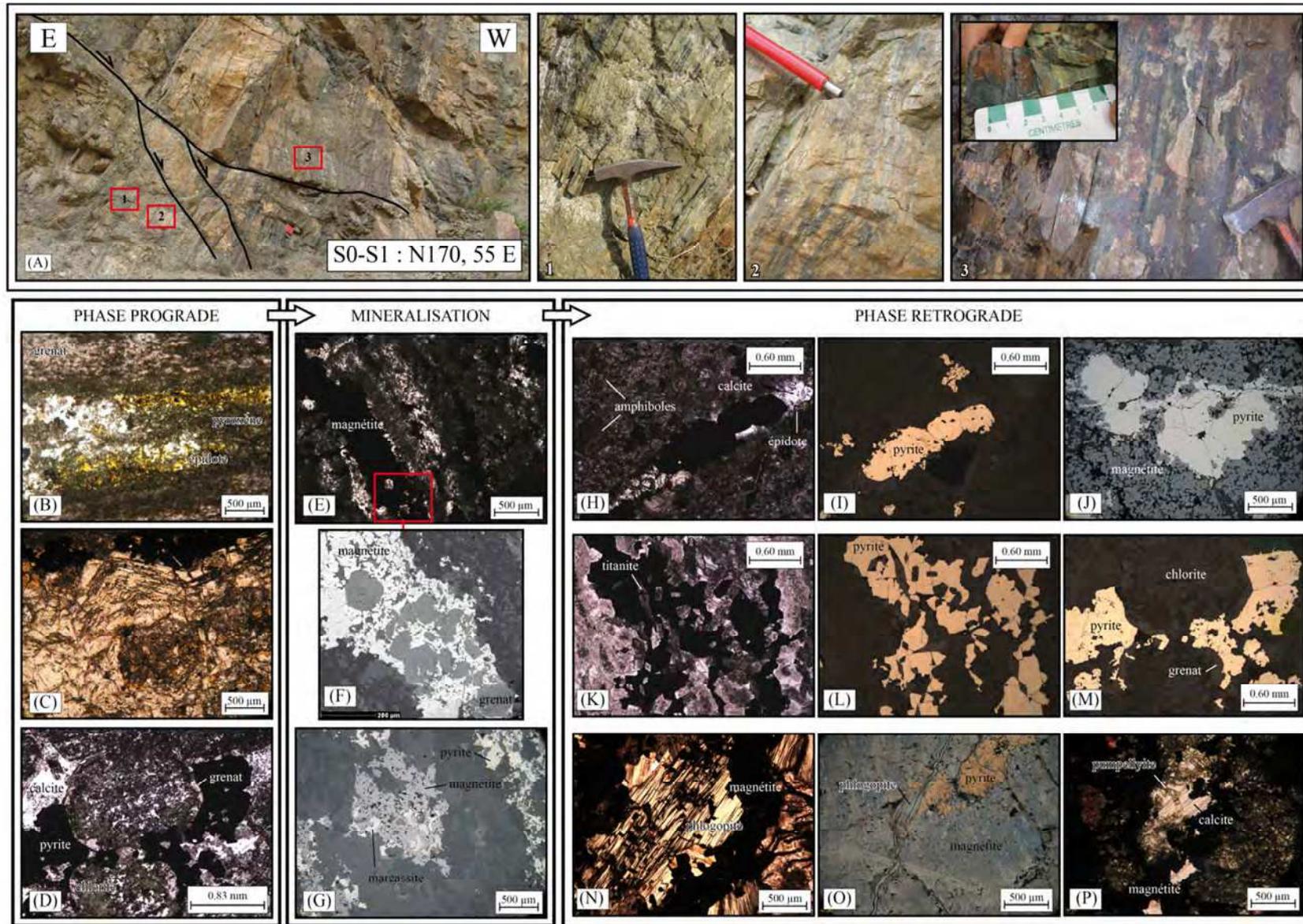


Figure 7.7 : séquence paragénétique des principaux minéraux du gisement de Axara.

Page suivante

Figure 7.8 : planche illustrant les points-clés de la séquence paragénétique de Axara. (A) Zoom sur la coupe de l'entrée (Figure 7.4 H) : (1) Alternances rubanées exoskarnifiées, (2) et (3) Alternances avec lits à magnétite ; (B) Skarnification différentielle avec bancs à grenats et à pyroxènes, ici altérés en épidote ; (C) Bande à grenats avec cristallisations concentriques des minéraux. Les cœurs sont altérés ; (D) Bordures résiduelles de grenats altérés dans un fond de calcite. Les cœurs des grenats sont remplacés par de la chlorite. Envahissement tardif par de la pyrite ; (E) Remplacement préférentiel des anciens bancs de grenats par la magnétite ; (F)[°] Grenats résiduels dans les bancs de magnétite ; (G)* Agrégats de magnétite et ancienne pyrrhotite désagrégées en pyrite et marcassite (*bird's eye*) ; (H) et (I)* Pyrite fissurale dans les andésites, accompagnée d'épidote et de calcite ; (J)* Pyrite interstitielle dans le minerai à magnétite ; (K) et (L)* : Intercroissances de pyrite et de titanite ; (M)* Miroir de (D) ; (N) Phlogopite dans l'endoskarn présumé, disséminée dans le minerai massif ; (O)* Phlogopite recoupant la magnétite et la pyrite fissurale ; (P) Dans la calcite fissurale tardive qui recoupe le minerai, présence de pumpellyite supposée. Les images * sont prises au microscope métallographique, les images [°] au MEB.



rubané et présente souvent des alternances de niveaux à grenats et à pyroxènes qui témoignent d'une skarnification différentielle lit-à-lit, probablement héritée de la lithologie primaire (Figure 7.8 A-1 et B).

Les pyroxènes à Axara sont des clinopyroxènes de la famille des diopsides, bien que quelques hédénbergites apparaissent également. La plupart sont malheureusement altérés en épidote lors de la rétomorphose. Lorsqu'ils sont préservés, les pyroxènes se présentent sous la forme de petits minéraux globuleux verdâtres (inférieurs à 50 µm) qui envahissent le fond de la roche sous forme de bandes dont l'épaisseur varie.

Les grenats sont essentiellement représentés par des andradites. Ils forment des bandes agrégeant des cristaux d'ordre millimétrique, souvent zonés (Figure 7.8 C), et dont les cœurs sont rétomorphosés en chlorite lors de la phase rétrograde (Figure 7.8 D).

7.2.2 La minéralisation

La minéralisation à magnétite dans les lentilles se présente sous une forme massive, masse brunâtre compacte où les minéraux ne sont pas individualisés, et qui oblitère complètement le fond lithologique initial à l'exception de quelques cavités. Elle s'est très nettement propagée dans les quelques manifestations voisines d'endoskarn présumé qu'elle a presque totalement envahi.

Dans l'exoskarn, de même que la skarnification s'est faite de façon différentielle en suivant les alternances de composition chimique du protolithe sédimentaire, la magnétite remplace de façon préférentielle les anciennes bandes à grenat (Figure 7.8 A-2 et A-3). En effet, des grenats résiduels sont préservés au sein des bandes magnétisées (Figure 7.8 E et F). Lorsqu'elle est plus avancée, la phase minéralisatrice opère des jonctions perpendiculaires entre les anciens bancs à grenats remplacés, puis une magnétisation diffuse du fond de roche via de petits minéraux trapus de magnétite disséminés (inférieurs à 50 µm).

C'est à Axara que le minerai exploité était le plus soufré, avec une teneur en sulfures pouvant atteindre 20% (BOUABDELLAH *et al.*, 2012). La pyrrhotite fait en effet partie de la minéralisation d'Axara où elle se trouve sous une forme massive – cependant non échantillonnée en place –, intégrant parfois des cristaux subautomorphes de pyrite. Bien qu'elle soit déstabilisée en marcassite, elle s'imbrique également avec la magnétite dans les anciens bancs à grenats (Figure 7.8 G).

7.2.3 La phase rétrograde

La teneur en soufre importante du minerai à Axara s'exprime également par la pyrite rétrograde, omniprésente dans le minerai et les skarns associés. On la retrouve sous forme fissurale, associée à de la calcite et de l'épidote, jusque dans les intrusifs laviques sous forme de stockwerk (Figure 7.8 H et I), ou encore en mouches et veinules dans les schistes cornéifiés au contact de l'intrusif. Les pyrites viennent combler les cavités du minerai massif (Figure 7.8 J), bien qu'elles le recoupent habituellement ; les veines et veinules de pyrite intégrant des cristaux de magnétite ne sont en effet pas rares. Quelques cristaux subautomorphes apparaissent parfois au sein de veines de calcite. La pyrite est souvent associée à des épidotes ou à des titanites (Figure 7.8 K et L) avec lesquelles elle semble

synchrone. Elle est également fréquemment présente au sein ou au contact des grenats rétrotransformés (Figure 7.8 M).

En dehors des sulfures, un assemblage à chlorite-calcite est omniprésent, avec des chlorites (chamosites) souvent concomitantes aux cristaux de magnétite. Localement, de petites sections losangiques trichroïques (bleu-vert-marron) d'actinote accompagnent la chlorite. L'association chlorite-carbonates est par ailleurs un produit de rétrotransformose des grenats, dont seules les bordures sont préservées (Figure 7.8 D).

L'épidote est aussi très présente, produit de la déstabilisation des silicates anhydres progrades et notamment des pyroxènes, ce qui se voit aux baguettes d'épidote qui croissent sur ces minéraux. De la phlogopite apparaît, en abondance au niveau de l'endoskarn présumé, où elle croît disséminée au sein du minerai massif de magnétite, ou plus rarement le recoupe en veinules (Figure 7.8 N). Il arrive également qu'elle recoupe la pyrite, en veinule avec de la calcite (Figure 7.8 O). Des veines à feldspaths et quartz incluant des pyroxènes clastiques peuvent accompagner la rétrotransformose des exoskarns.

Une ultime phase de calcite fissurale recoupe l'ensemble. On y trouve localement des minéraux en baguettes et à fort relief dont la forme et les analyses EDS au MEB (Table 7.1) suggèrent qu'elles pourraient s'apparenter à des pumpellyites, minéraux métamorphiques de basse température parfois présents dans les environnements de skarns (DEER *et al.*, 1966 ; Figure 7.8 P).

L'hématite pervasive des cristaux de magnétite témoigne de l'intensité de la rétrotransformose et de l'oxydation supergène. Lors de cette phase, la pyrrhotite se désagrège en pyrite et marcassite (*bird's eye*).

Spectre	Al2O3	SiO2	FeO	CaO	TiO2	K2O	MnO	Cr2O3	V	SO3	Ni
AXA3_f	20,52	36,02	13,17	29,94			0,05	0,23			0,06
AXA3_g	17,7	34,27	15,12	29,47		0,66	0,32	0,74	0,35	0,96	0,43
AXA3_h	17,45	33,75	14,3	29,92	1,02	0,7	0,25	0,83	0,3	1	0,48
AXA3_i	18,99	34,22	14,22	28,73	0,64	0,63	0,23	0,7	0,21	0,93	0,48

Table 7.1 : analyses EDS des minéraux en baguettes (AXA3).

La bande minéralisée de Setolazar-Bokoya

A l'autre extrême du Domaine Nord, et à l'instar du gisement de Axara, le gisement de Setolazar-Bokoya est encaissé dans le secteur nord-oriental (Figure II.2). Ces deux sites sont les plus importants d'une bande minéralisée qui s'aligne sur la stratigraphie du secteur, soit selon un monoclinal méridien penté vers l'Est. A Setolazar comme à Bokoya, plus impressionnant, l'essentiel du minerai se présente sous forme de passées alternées au sein d'un banc continu épais au minimum d'une trentaine de mètres, intercalé dans la séquence sédimentaire. Ce niveau minéralisé, ainsi que son encaissant, est perturbé par des venues magmatiques tardives réutilisées par des failles, souvent NNE-SSW à pendage 45° vers l'Ouest (Figure 8.1).



Figure 8.1 : panorama sur le site de Setolazar. La bande minéralisée (alternances foncées) est recoupée de nombreuses intrusions magmatiques.

Comme pour les gisements de Ouiksane et de Axara, nous avons relevé les caractéristiques géométriques et structurales de la bande minéralisée de Setolazar-Bokoya, pour laquelle nous proposons une coupe. La paragenèse du minerai et de sa gangue est ensuite proposée et argumentée.