6.1 Géométrie et structures du gisement de Ouiksane

6.1.1 Travaux historiques et réinterprétations proposées

L'exploitation du fer de Ouiksane par le passé a donné lieu à des études minières poussées, parmi lesquelles des cartes géologiques détaillées (Figure 6.2) et des coupes au travers de la mine (Figure 6.3).

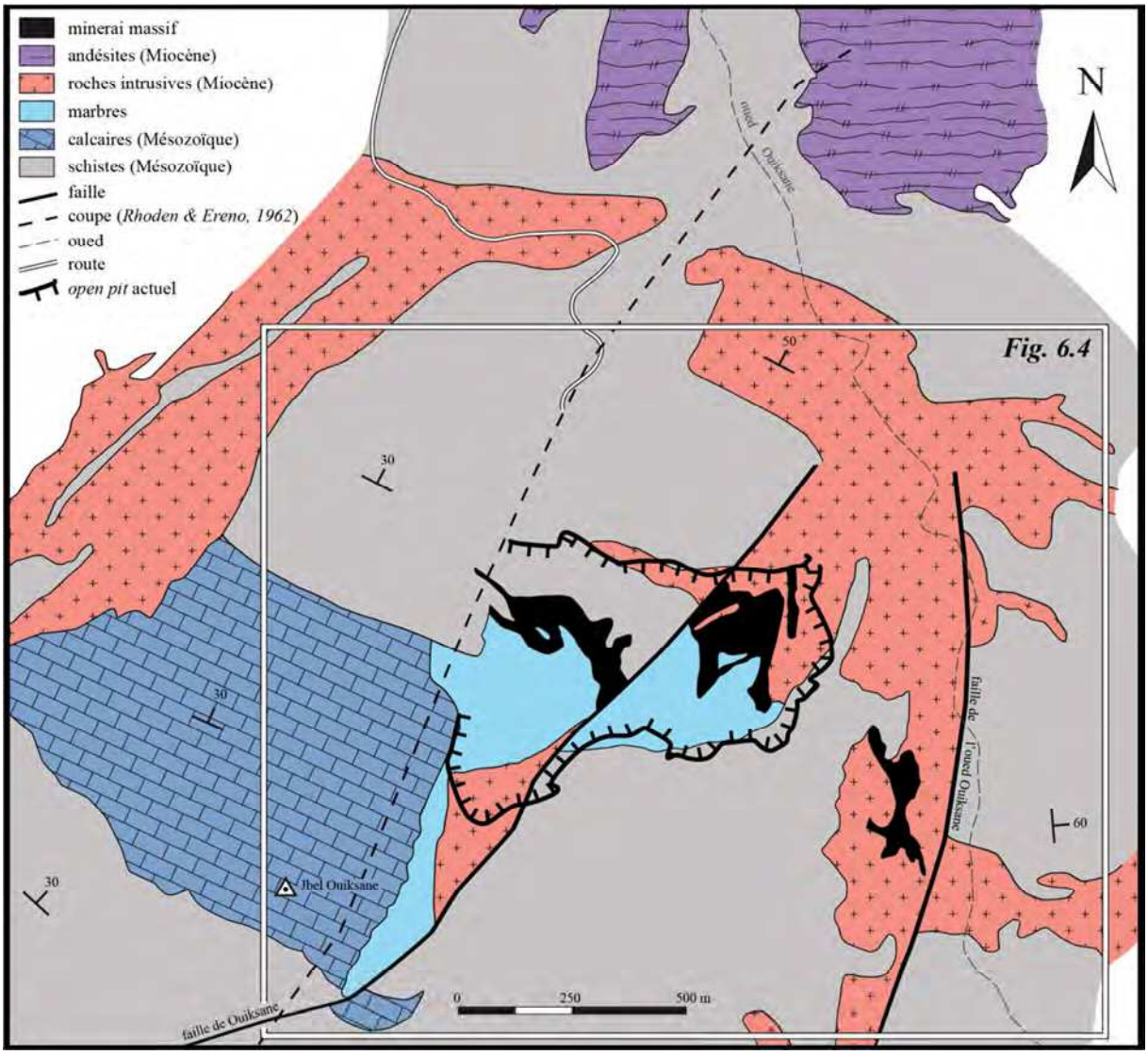


Figure 6.2 : carte géologique historique au niveau du gisement de Ouiksane, détaillée au 1/2000 (d'après RHODEN & ERENO, 1962). Les limites de l'*open pit* actuel sont indiquées pour repère. Le cadre indique la zone recartographiée au cours de ce travail.

Une réactualisation de la carte géologique du gisement de Ouiksane est ici proposée sous forme de schéma structural réinterprété (Figure 6.4). Notre carte a été réalisée sur la base des cartes géologiques existantes, de nos propres observations de terrain (voir explications dans le texte) ainsi qu'à l'aide des travaux miniers de RHODEN & ERENO (1962), reportés dans l'Annexe III.

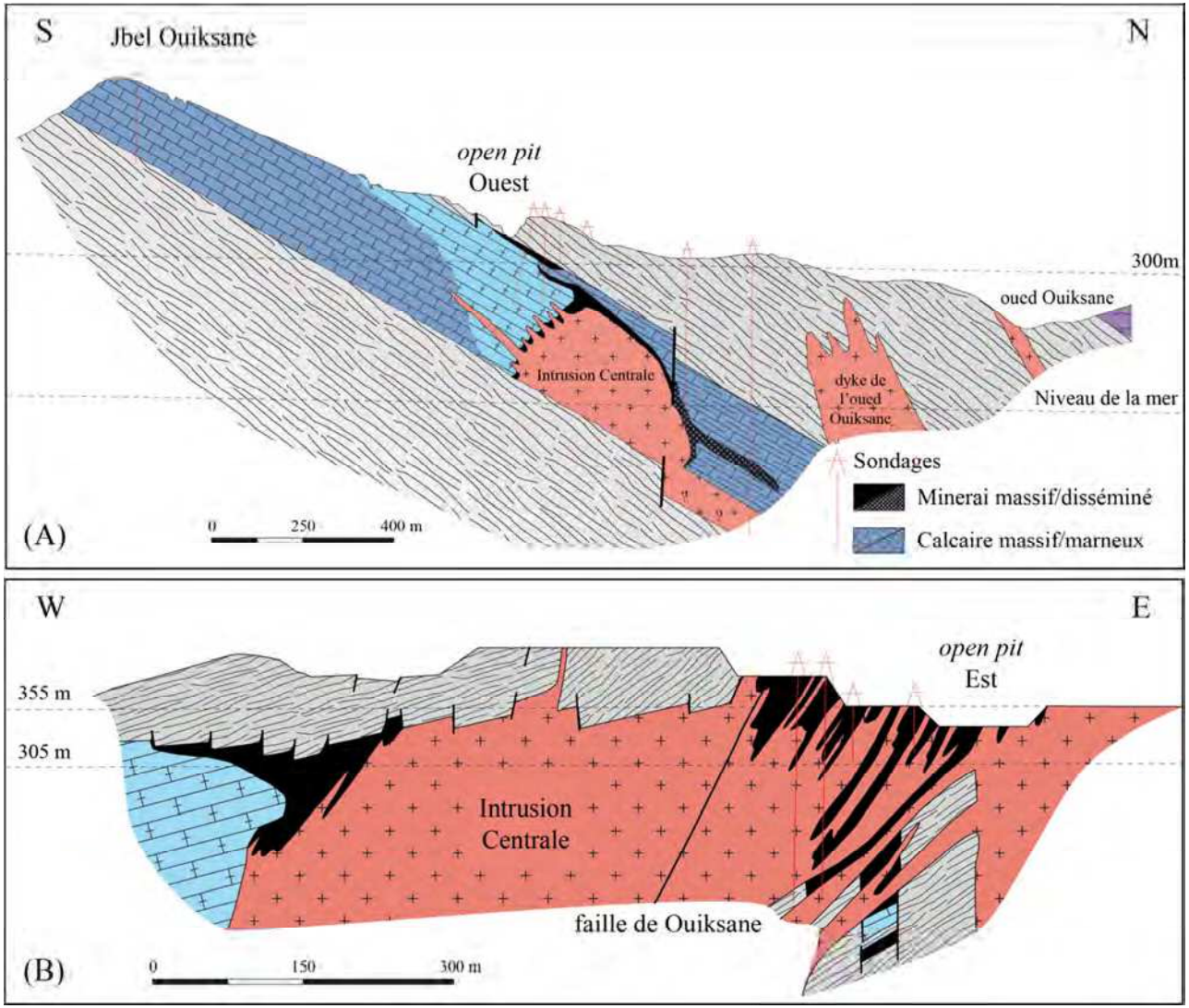


Figure 6.3 : coupes géologiques historiques explicitant la structure du gisement de Ouiksane (d'après RHODEN & ERENO, 1962). Le tracé de la coupe (A) est représenté sur la Figure 6.2. La coupe (B) traverse d'Ouest en Est l'*open pit*.

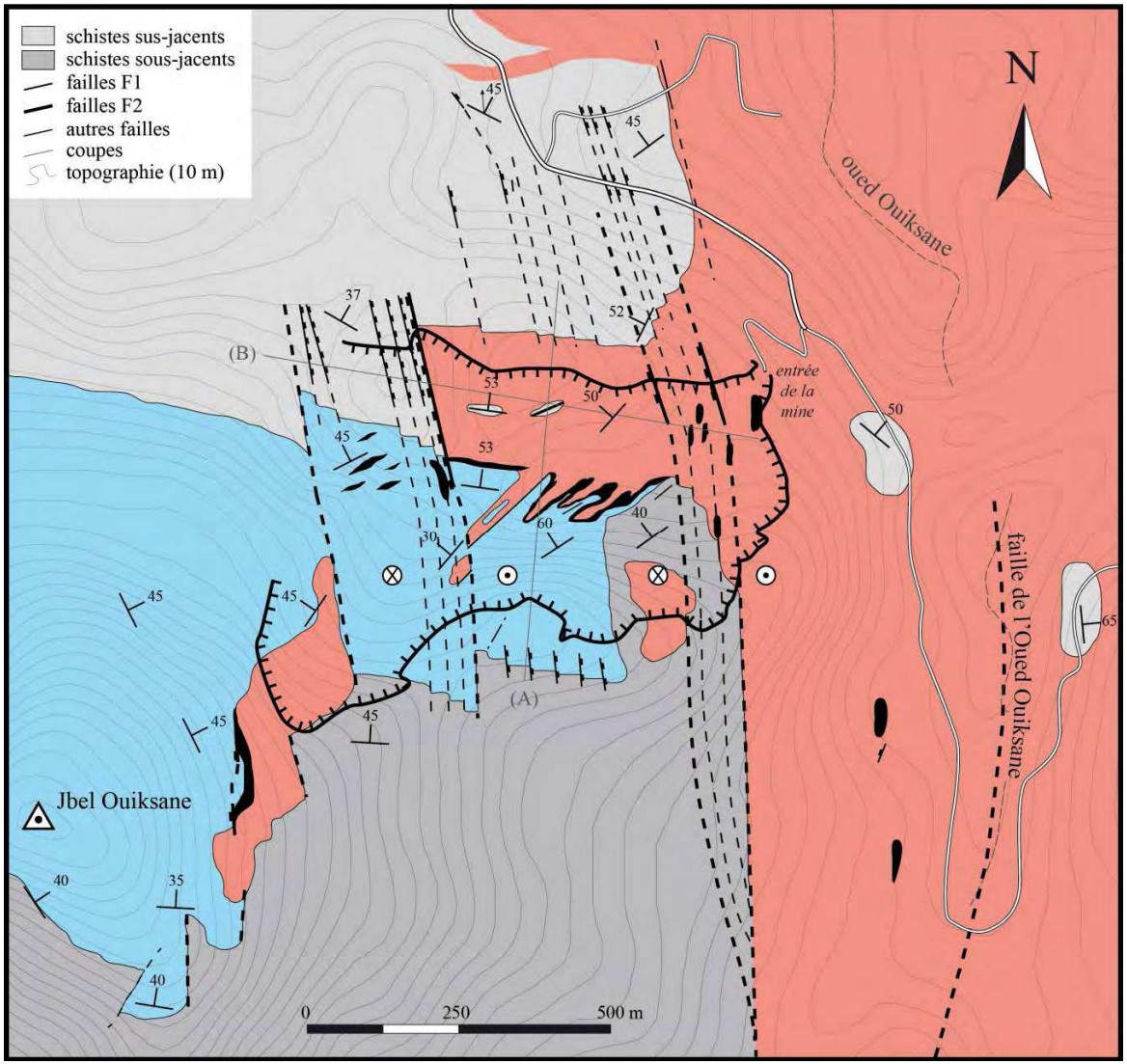


Figure 6.4 : schéma structural du gisement de Ouiksane (ce travail). Les formations carbonatées ne sont ici pas discriminées en fonction du métamorphisme subi (cf. Figure 6.2). Par souci de clarté, les schistes ont été dissociés entre les schistes sus- et sous-jacents ; il s'agit toutefois de la même formation.

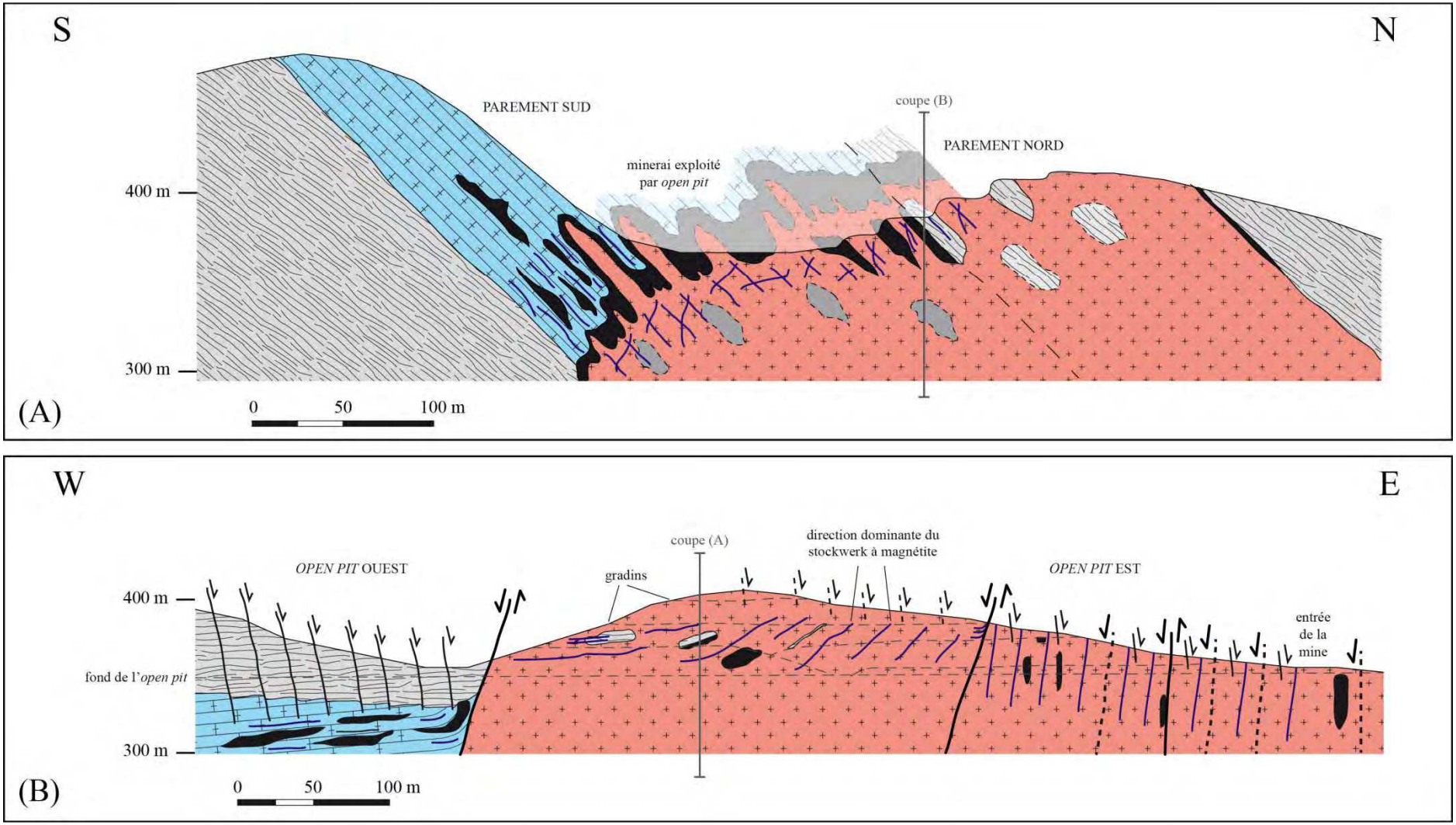


Figure 6.5 : coupes géologiques illustrant la structure du gisement de Ouiksane (ce travail). Les tracés des coupes sont reportés sur la Figure 6.4. Voir explications dans le texte.

La carte est accompagnée de plusieurs coupes qui illustrent la géométrie en profondeur telle que nous l'interprétons : (1) une coupe NS synthétisant les deux parties de l'*open pit* (Figure 6.5 A), et (2) une coupe EW du parement nord de l'ensemble de l'*open pit* (Figure 6.5 B).

Il existe malheureusement peu d'occurrences de skarn sur le gisement de Ouiksane, aussi cette lithologie n'est-elle représentée sur aucune des deux cartes. Il est donc difficile de déterminer si les skarns représentent un volume significatif, l'environnement local étant très carbonaté, ou s'ils sont occultés par la tectonique, l'abondance de déblais miniers laissés sur place ou encore la récupération sauvage de matériaux pour les constructions des particuliers.

6.1.2 Arguments de terrain pour les documents proposés

En carte comme en coupe, les travaux historiques accordent une importance majeure à la faille de Ouiksane, dont le jeu est présenté comme responsable de l'exploitation de la mine en deux *open pit*. Pour rappel, cette faille de direction NE-SW a un pendage de 60-65° vers le NW et est décrite comme normale sénestre (strie de 35° vers le SW ; RHODEN & ERENO, 1962). Nos observations diffèrent de cette interprétation. En effet, notre schéma structural insiste sur le découpage des minéralisations et de leur encaissant par un réseau intense de failles normales dont l'orientation subméridienne présente une légère courbure (de NW-SE à NS). Pour comprendre la géométrie perturbée du gisement, et ainsi appréhender les conditions de sa mise en place, il est donc nécessaire d'expliciter le fonctionnement de ces failles normales.

6.1.2.a Les failles normales, éléments structurants majeurs du gisement de Ouiksane

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'encaissant schisteux qui environne les minéralisations de Ouiksane est parcouru d'un réseau intense, en touches de piano, de petites failles normales subméridiennes légendées en F1 sur la carte. Ces petites failles, fractures et fentes de tension sont redressées (pendage généralement supérieur à 70°) et les indices cinématiques y indiquent un abaissement du compartiment oriental et une élévation du compartiment occidental (Figure 6.6 A). En outre, elles présentent parfois un caractère listrique (Figure 6.6 B).

Ce réseau dense de failles normales se retrouve au sein même de l'*open pit*, où il affecte à la fois l'intrusion et les schistes au contact immédiat. Une deuxième catégorie de failles normales à rejet plus important, décalant la minéralisation, y a été identifiée (légendées en F2 sur la carte). L'une d'entre elles provoque la disparition cartographique brutale de l'Intrusion Centrale. Cette dernière a cependant été interceptée en profondeur par des sondages miniers dans la partie occidentale de la mine (Figure 6.3 A). Une autre faille s'observe particulièrement bien au niveau du parement nord de l'*open pit* oriental, au sein même de la granodiorite (Figure 6.7). De direction N160 à pendage 80 W, les crochons y indiquent un mouvement relatif normal. L'encroûtement carbonaté (5 cm environ) qui nappe le miroir de faille présente deux générations de stries sénestres : (1) une première plongeant de 75° vers le S, et (2) une seconde, plongeant de 10° vers le S, qui recoupe la première.

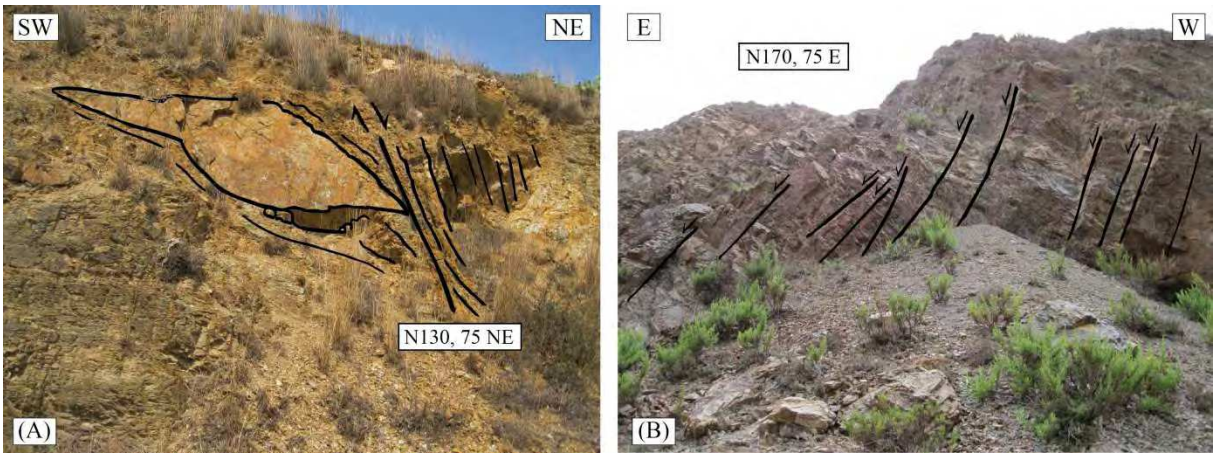


Figure 6.6 : failles normales recoupant les schistes au niveau du gisement de Ouiksane. (A) Au Nord de la mine, jeu normal illustré par des crochons marqués notamment par une lentille gréseuse ; (B) A l'Ouest de la mine, caractère listrique de certaines failles.

Figure 6.7 : faille normale F2 affectant la granodiorite au parement nord de l'*open pit*. Le plan de faille fait ici une dizaine de mètres de hauteur ; les crochons y sont marqués par le stockwerk décalé (voir plus loin dans le texte).

Ces failles à rejet pluri-décamétrique, bien que d'orientation similaire à celles des F1, montrent donc des pendages dirigés vers l'Ouest et leur jeu, antithétique aux F1, provoque cette fois l'abaissement du panneau ouest relativement au panneau est au niveau de la mine.

La faille de Ouiksane se distingue des autres failles par sa direction, mesurée en N50, 75 NW et N40, 70 W. En montant dans le parement sud, elle est également soulignée par un corps plutonique qui lui-même englobe une lame carbonatée. Si l'on tire en carte un azimuth depuis cette faille, elle rejoint au parement nord de l'*open pit* la faille décrite en Figure 6.7.

Nous l'avons vu précédemment, les directions des deux failles ne sont pas compatibles. Par ailleurs, l'orientation de la faille de Ouiksane est la même que celle de la S0-S1 de l'encaissant sur son côté oriental, d'où plusieurs apophyses intrusives s'intercalent dans la stratigraphie (Figure 6.4). La faille de Ouiksane pourrait ainsi correspondre à une apophyse faillée de l'Intrusion Centrale. Les jeux décrochants que l'on y trouve (strie de 30° vers l'Ouest, cinématique plutôt dextre ?) sont probablement des rejeux tardifs.

Enfin, il est fréquent de voir au niveau du parement sud des failles de glissement bancs par bancs, déjà décrites dans la littérature par RHODEN & ERENO (1962).

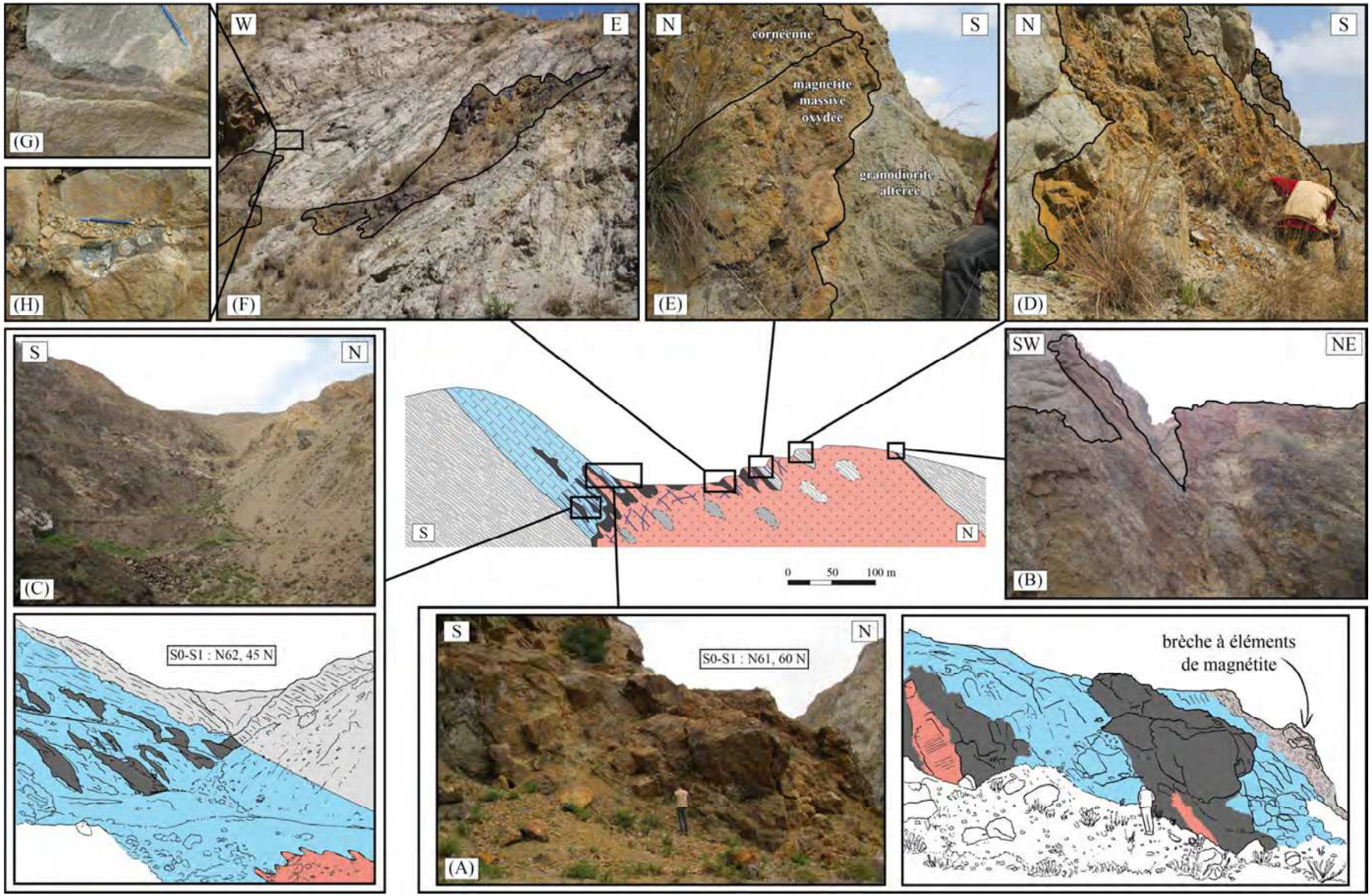
Si l'essentiel du rejet des failles est vertical, quelques plans striés relevés au niveau du couloir faillé à l'entrée de la mine indiquent des mouvements polyphasés associant des composantes décrochantes tardives (sur plan strié N20, 85 E, pitch de 55 vers le S ; sur plan strié N30, 77 W, pitch de 35 vers le S). Les cinématiques y sont néanmoins difficiles à déterminer avec certitude.

6.1.2.b Expressions de la minéralisation

A Ouiksane, le minerai est très majoritairement constitué de magnétite souvent hématisée (90 %) accompagnée en proportions moindres de pyrite (< 10 %). Sur le terrain, la minéralisation à magnétite se présente sous quatre formes différentes : (1) la « carapace », (2) les « flammèches », (3) les lentilles, et (4) le stockwerk.

L'*open pit* dessine une courbure qui correspond au tracé cartographique du contact entre l'intrusion et le banc carbonaté principal de l'encaissant. Ce contact est digité, puisque de multiples apophyses s'en dégagent et forment des sills qui s'intercalent au sein de la stratigraphie (Figure 6.8 A). C'est au niveau de ce contact que la minéralisation ferrifère s'est concentrée, moulant littéralement le front de l'Intrusion Centrale pour former une carapace constituée de magnétite massive qui a constitué l'essentiel du minerai exploité. Cette carapace est réduite à un liseré de quelques centimètres au contact des schistes (Figure 6.8 B).

Particulièrement visibles dans la partie occidentale de l'*open pit* – d'où l'on peut observer la puissance du banc carbonaté intercalé dans les schistes –, des corps minéralisés stratoïdes s'intercalent en flammèches dans la stratigraphie du marbre (Figure 6.8 C). Le minerai, constitué de magnétite massive, y est mêlé de carbonates. Même si la relation n'est pas directement visible sur le terrain, ces flammèches se développent à partir de la carapace. Plusieurs évidences permettent d'appuyer cette assertion : en effet, entre les flammèches de magnétite, le marbre est parcouru d'un réseau régulier de fines veines plurimillimétriques subconcordantes avec la stratigraphie (Figure 6.9 A). Ces veinules forment un rubanement de plus en plus dense au contact direct avec les flammèches (Figure 6.9 B). Certaines de ces veines correspondent à des fractures en ouverture à remplissage décimétrique, peut-être un premier stade vers la formation des flammèches (Figure 6.9 C). Par ailleurs, des phénomènes de dissolution du marbre semblent se développer en amont de ces corps à magnétite (Figure 6.9 D). La genèse de ces flammèches est probablement liée à un processus de percolation : le marbre distal plus froid se fissure et est percolé par les fluides hydrothermaux, puis il y a remplacement de niveaux chimiquement plus réactifs dans lesquels la dissolution et/ou la diffusion deviennent dominantes.


(G)
(H)
W
E
(F)
N
S
cornéenne
magnétite
massive
oxydée
granodiorite
altérée
(E)
N
S
(D)
S
N
(C)
S
N
0 50 100 m
SW
NE
(B)
S0-S1 : N62, 45 N
S
N
S0-S1 : N61, 60 N
(A)
brèche à éléments
de magnétite

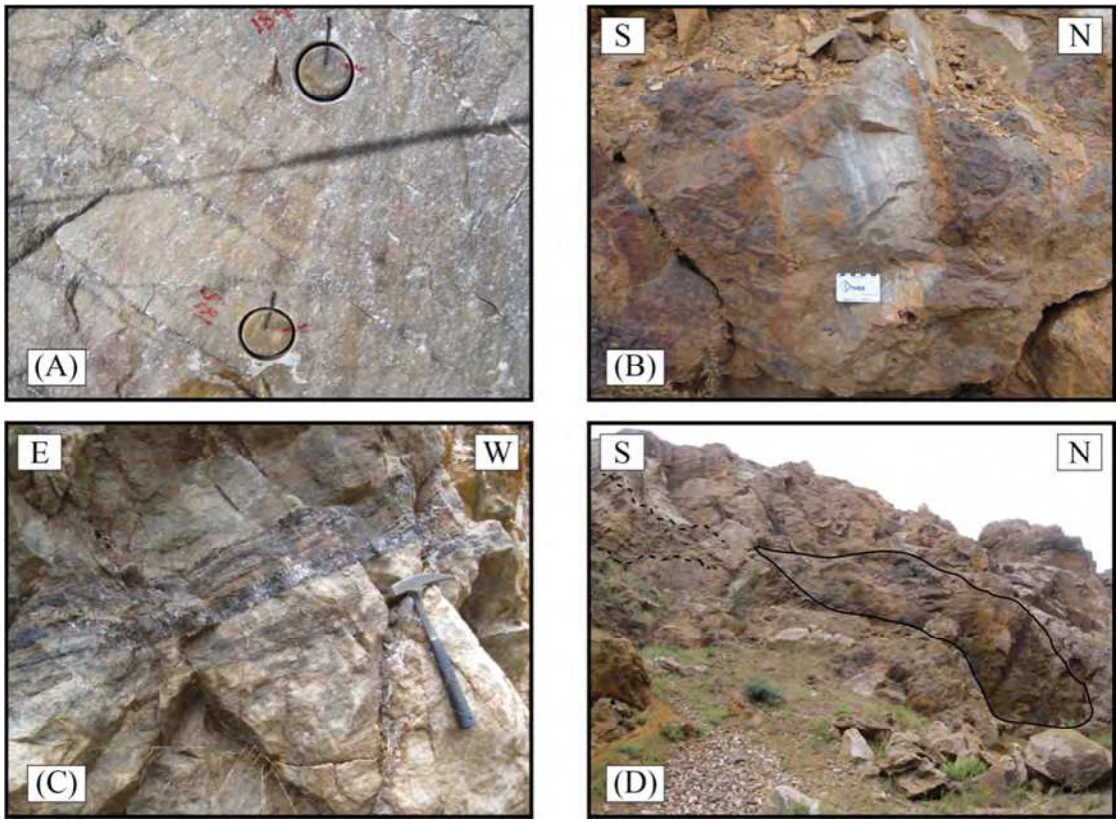


Figure 6.9 : planche illustrant les modalités de développement des flammèches. (A) Affleurement de marbre entre deux flammèches, montrant un fin réseau régulier de veinules à magnétite ; (B) Rubanement de plus en plus dense au contact avec le minerai massif de magnétite ; (C) Remplissage d'espaces ouverts dans les marbres, concordant par rapport à la S0 ; (D) Dissolution du marbre en amont des flammèches.

Page précédente

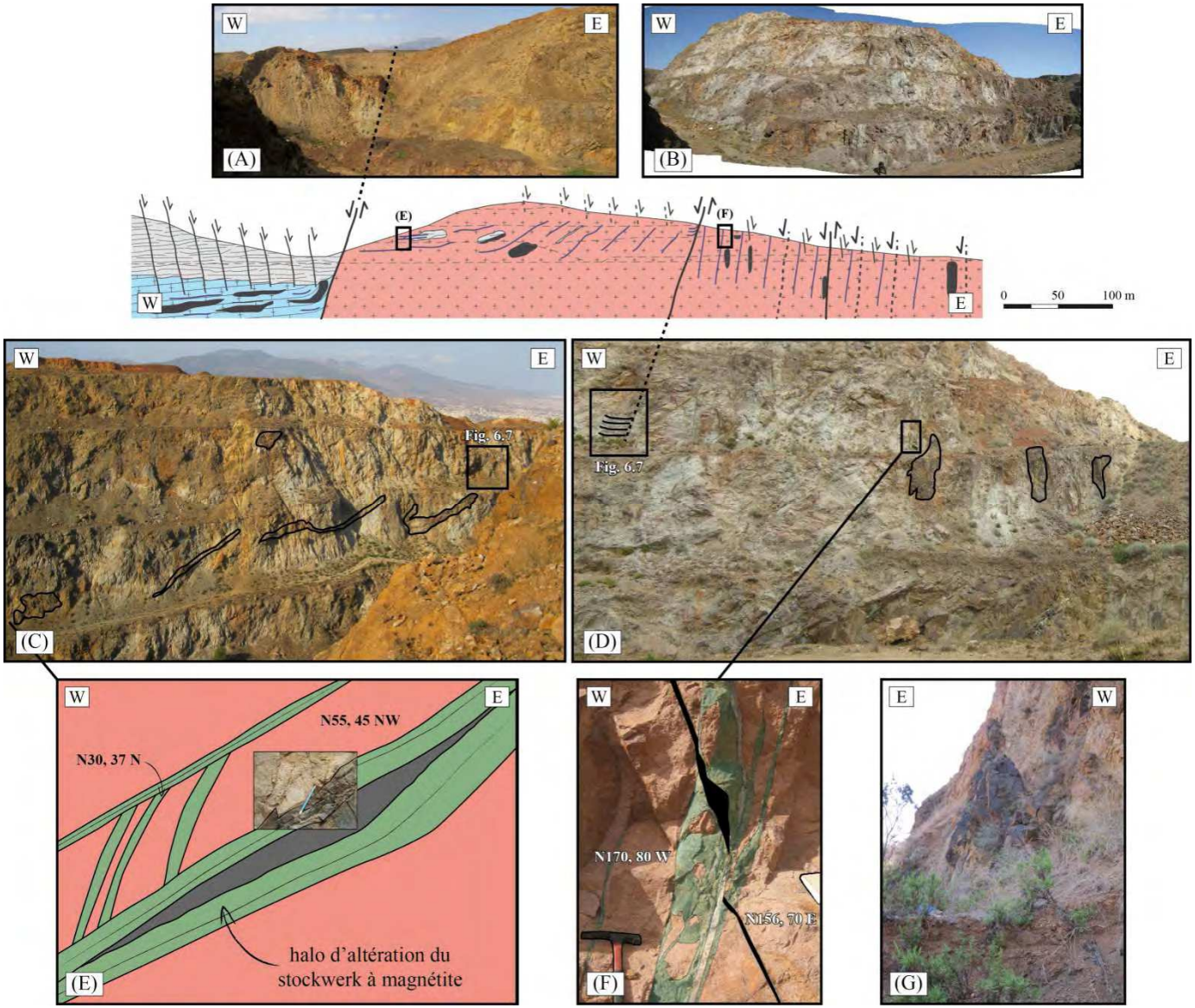
Figure 6.8 : planche illustrant les expressions de la minéralisation à Ouiksane. (A) Au parement sud, des sills de granodiorite s'intercalent dans les marbres et sont englobés d'une couronne de magnétite massive. Ces apophyses de l'Intrusion Centrale sont parcourues d'un stockwerk de magnétite-phlogopite qui utilise ici la perméabilité des joints de refroidissement (perpendiculaire aux épontes). La brèche d'effondrement comporte des fragments allongés de marbre anguleux et de magnétite plus arrondis (taille variant d'un facteur 1 à 10) dans une gangue de calcite spatique, de cristaux bipyramidaux de pyrites visibles à la fois dans la magnétite et dans la calcite, ainsi que d'une phase ultime à hématite pulvérulente ; (B) Carapace de magnétite moulant l'Intrusion Centrale au contact des schistes au Nord de l'*open pit* oriental ; (C) Contact entre les schistes et la barre carbonatée dans l'*open pit* occidental. Des corps stratoïdes de magnétite massive parcourent le marbre. L'Intrusion Centrale, invisible, a cependant été interceptée en profondeur par des sondages miniers ; (D) Septa de cornéenne englobé dans l'Intrusion Centrale au parement nord. On peut y distinguer la S0-S1 originelle des schistes ; (E) Septa mixte de cornéenne et magnétite dans la granodiorite altérée du parement nord. La magnétite remplace une alternance carbonatée dans les schistes originels ; (F) Septa de magnétite massive et stockwerk pervasif dans la granodiorite du parement nord ; (G) Zoom sur le stockwerk : veinule de magnétite oxydée entourée d'un halo pluricentimétrique verdâtre composé d'oxydes, de sulfures, de calcite et de chlorite ; (H) Le stockwerk comprend parfois des clastes de granodiorite (en clair) partiellement digérés.

Au parement nord de l'*open pit* oriental, l'Intrusion Centrale comporte des panneaux lenticulaires d'extension plurimétrique. Ces corps sont des septa d'encaissant assimilés lors de la mise en place du corps plutonique dans la stratigraphie. Cette assimilation correspond vraisemblablement à des pendants de l'encaissant intégrés au magma par *magmatic stopping*. Trois types ont été identifiés : (1) des panneaux de cornéennes, anciens schistes cornéifiés par métamorphisme de contact et dont la S0-S1 locale est préservée (Figure 6.8 D) ; (2) des lentilles de minerai massif, presque entièrement composé de magnétite, venant en remplacement de septa du banc carbonaté principal (Figure 6.8 F) ; (3) des corps mixtes comprenant à la fois des cornéennes et du minerai (Figure 6.8 E). Sur le parement nord, il est ainsi possible de placer la limite entre le banc de calcaire principal et les schistes ; les corps à magnétite, très visibles dans la granodiorite altérée, disparaissent en montant dans le parement. Il existerait également des lentilles de calcaire préservées, car de grain très fin et peu poreux (M. BOUABDELLAH, commentaire oral). Les septa ne sont pas reconnus comme tels dans la littérature où ils sont interprétés comme le remplacement de lentilles carbonatées initialement comprises dans l'encaissant schisteux. L'hypothèse des septa est même rejetée par RHODEN & ERENO (1962), pour qui l'assimilation de calcaire dans l'intrusion est contredite par l'absence de changements minéralogiques dans la granodiorite.

L'Intrusion Centrale est aujourd'hui intensément altérée, probablement par l'action conjuguée des processus météoriques tardifs et de l'altération hydrothermale préexistante, attestée par la présence d'un stockwerk répandu et dense qui affecte l'ensemble du corps granodioritique (Figure 6.8 F), mais que l'on retrouve aussi dans les marbres ou les septa. Ce stockwerk, sur ses parties les plus saines, est constitué de veinules centimétriques de magnétite. Ces veines à magnétite sont cependant le plus souvent oxydées et superposées ou recoupées d'un halo pluricentimétrique verdâtre à hématite-pyrite-chlorite-calcite-(épidote-chalcopyrite) qui altère en masse l'éponte de la granodiorite (Figure 6.8 G). On y trouve parfois des clastes de granodiorite partiellement digérés (Figure 6.8 H).

Page suivante

Figure 6.10 : planche illustrant les structures, souvent rendues visibles par les minéralisations à Ouiksane. (A) Les deux *open pit* sont séparés par une faille normale à pendage ouest dont le jeu est visible en carte ; (B) Panorama du parement nord de l'*open pit* oriental, figurant l'Intrusion Centrale ; (C) A l'Ouest de la faille vue en Figure 6.7, l'orientation des différents septa dans l'Intrusion Centrale semble conserver la logique de la S0-S1 originelle ; (D) A l'Est de la même faille, les septa se présentent cette fois sous la forme de corps verticalisés dans le parement ; (E) Zoom sur le stockwerk au niveau de la partie occidentale du parement nord, dont l'orientation dominante est la même que celle des septa ; (F) De la même façon, le stockwerk est verticalisé sur la partie orientale du parement nord, avec une réouverture préférentielle des veines subparallèles à la faille (halo d'altération plus développé) ; (G) Lentille de magnétite massive verticalisée, non exploitée, se trouvant dans le couloir de failles au Sud du gisement (voir carte).


W
E
(A)
(B)
(E)
(F)
0
50
100 m
Fig. 6.7
(C)
(D)
N55, 45 NW
N30, 37 N
halo d'altération du
stockwerk à magnétite
N170, 80 W
N156, 70 E
(F)
(G)

6.1.3 Interprétation de la structure du gisement de Ouiksane

Le gisement de Ouiksane est tronçonné transversalement par la tectonique fragile tardive, qui perturbe sa géométrie initiale (Figure 6.10 A). La carapace de magnétite massive peut ainsi être reprise par le jeu des failles normales subméridiennes (Figure 6.11).

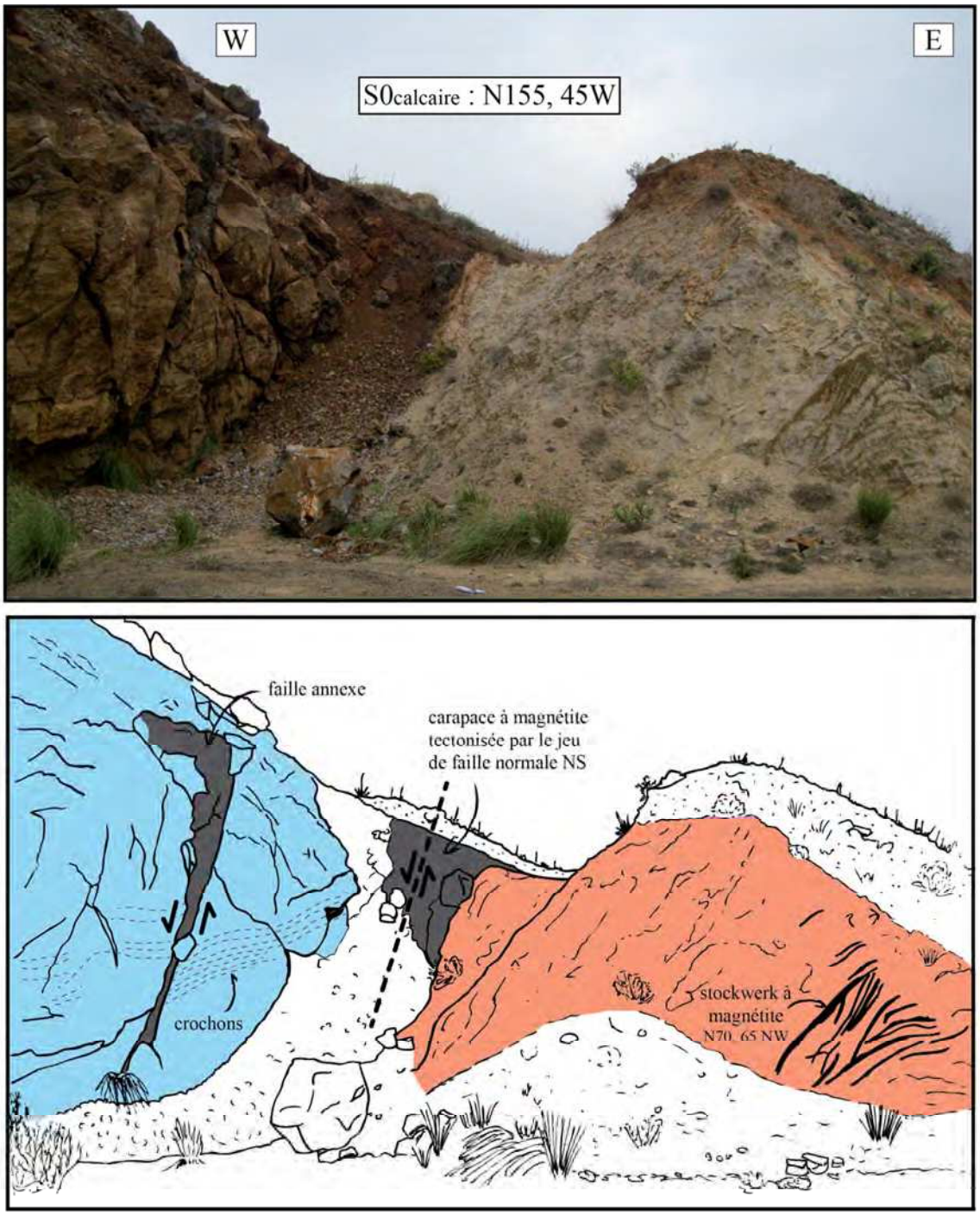


Figure 6.11 : sur le flanc du Jbel Ouiksane, un moignon latéral de la lame intrusive entre en contact avec les marbres et produit une carapace de magnétite massive. Celle-ci sera reprise ultérieurement par des failles normales méridiennes.

Paradoxalement, ce sont les minéralisations sous leurs différentes formes qui permettent de comprendre le jeu global de ces failles subméridiennes d'importance majeure à l'échelle du gisement : l'impact de la tectonique fragile tardive s'appréhende ainsi particulièrement bien au niveau du parement nord grâce aux veines du stockwerk (Figure 6.10 B). Alors que sa direction dominante était subparallèle à la S0-S1 locale (Figure 6.10 C, E), on constate en effet une verticalisation des veines au passage des failles F2 dans la partie orientale de l'*open pit*, tandis que le stockwerk se règle sur cette direction en devenant subparallèle (NS, 70 W ; Figure 6.10 D). Par ailleurs, on peut constater à ce niveau une réouverture préférentielle des veines du stockwerk subparallèles à l'orientation des F2 (Figure 6.10 F). La verticalisation au passage de ces failles s'observe également avec les septa, qui à l'Ouest conservent la S0-S1 locale (Figure 6.10 C), mais dont les lentilles s'allongent en NS à l'entrée de l'*open pit* (Figure 6.10 D). On retrouve ces lentilles verticalisées jusqu'en dehors de la mine, plus au Sud (Figure 6.10 G).

Si c'est l'action conjuguée des F1 et des F2 qui perturbe le gisement, ce sont bien les F2 – dont les F1 sont des subsidiaires de second ordre – qui sont responsables de la structuration actuelle du gisement telle qu'on la voit en carte et en coupe, contrairement à ce qu'affirment RHODEN & ERENO (1962) qui y voient le contraire.

Une coupe de principe explique la structure en carte et en profondeur telle que nous l'interprétons (Figure 6.12). Ainsi, on retrouve dans la mine de Ouiksane les premières branches d'un large couloir de failles (au moins 500 m de largeur) qui représente en fait l'accident de l'oued Ouiksane séparant les deux secteurs du Domaine Nord. Ce couloir de failles induit la remontée progressive d'Ouest en Est du corps plutonique, présent sous forme de sill dans la mine. La grande largeur d'affleurement en carte de ce dernier au niveau de l'oued Ouiksane s'explique par le fait que l'on y voit le sill « sur sa tranche » au passage du jeu conjugué des failles, qui le font de plus basculer.

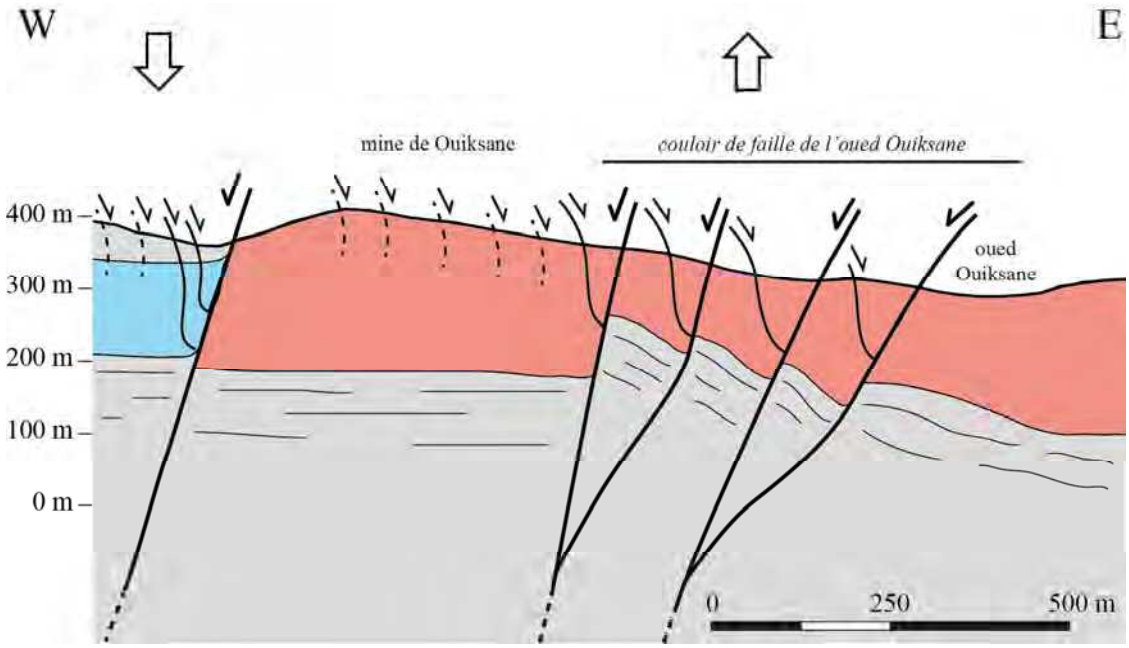


Figure 6.12 : schéma de principe simplifié montrant la structure à grande échelle au niveau du gisement de Ouiksane.

6.2 Paragenèse de Ouiksane

Morphologiquement parlant, le site de Ouiksane correspond relativement bien au modèle classique du gisement de type skarn tel que décrit par MEINERT *et al.* (2005). Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'environnement y est très carbonaté et présente de fait très peu d'affleurements typiques de la phase prograde, à part quelques minéraux verdâtres au niveau de l'intrusion et des lentilles minéralisées qui peuvent macroscopiquement se rapporter à des pyroxènes. Les informations sont donc limitées pour cette étape de la séquence paragénétique. A l'inverse, la minéralisation à magnétite massive et la phase rétrograde pervasive à pyrite et chlorite-calcite sont très bien exprimées sur ce gisement.

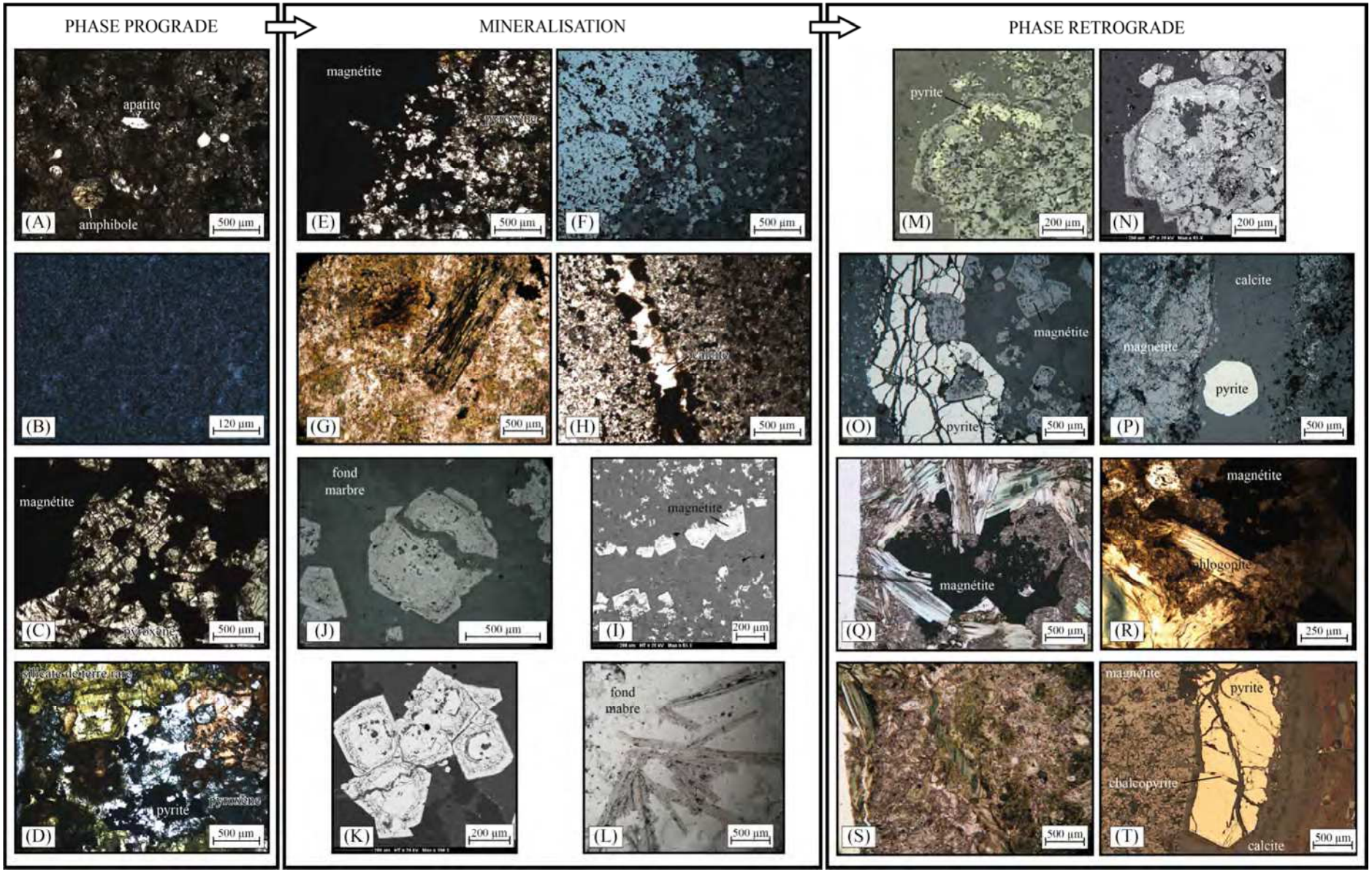
L'ensemble de la séquence paragénétique à Ouiksane se présente de la façon suivante :

Figure 6.13 : séquence paragénétique du gisement de Ouiksane.

6.2.1 La phase prograde

La phase prograde à Ouiksane est dominée presque exclusivement par la présence de pyroxènes. Ce sont généralement des clinopyroxènes de la famille des diopsides. On en trouve de trois types : (1) les pyroxènes de l'endoskarn, (2) les pyroxènes de l'exoskarn supposé, et (3) les pyroxènes en bordure réactionnelle.

Les premiers sont incolores à verdâtres, petits (inférieurs à 500 µm) et regroupés en amas granoblastiques. Ils envahissent progressivement sous forme de front de propagation un fond granodioritique dans lequel on reconnaît les minéraux originels, tels que les amphiboles, les biotites ou les apatites (Figure 6.14 A). Cette texture correspond typiquement à celle d'un endoskarn, ce qui est par ailleurs cohérent avec leur position sur le terrain où ils sont trouvés au niveau d'une lentille de magnétite massive encaissée dans l'intrusion.


PHASE PROGRADE
MINERALISATION
PHASE RETROGRADE
apatite
amphibole
(A)
500 µm
(B)
120 µm
magnétite
(C)
500 µm
pyrite
(D)
500 µm
magnétite
(E)
500 µm
(F)
500 µm
(G)
500 µm
(H)
500 µm
fond
marbre
(J)
500 µm
magnétite
(I)
200 µm
(K)
200 µm
fond
mabre
(L)
500 µm
pyrite
(M)
200 µm
(N)
200 µm
magnétite
pyrite
(O)
500 µm
calcite
magnétite
pyrite
(P)
500 µm
magnétite
(Q)
500 µm
magnétite
phlogopite
(R)
250 µm
(S)
500 µm
magnétite
pyrite
chalcopyrite
calcite
(T)
500 µm

Le deuxième type a été trouvé dans une volante au pied de la coupe en Figure 6.8 A. Ils envahissent un fond carbonaté sous forme de globules incolores à verdâtres inférieurs à 100 µm (Figure 6.14 B). Bien qu'il soit difficile de l'affirmer avec certitude, nous pensons qu'il s'agit là d'un exoskarn remplaçant un niveau carbonaté impur intercalé dans les marbres de la coupe.

Enfin, certains pyroxènes forment une bordure réactionnelle aux contacts directs entre les lentilles de magnétite et les intrusions plutoniques. Plus grands que leurs semblables, ils forment des plages plurimillimétriques incolores à verdâtres. Parfois poecilithiques, ils peuvent être en intercroissance avec des minéraux trapus de magnétites (Figure 6.14 C).

Bien que peu d'évidences chronologiques permettent de les caler par rapport aux autres minéraux, les pyroxènes semblent précoces dans la séquence paragénétique. L'endoskarn pervasif est cependant recoupé par un endoskarn secondaire veineux (Figure 6.14 D) constitué de pyroxènes plus gros (jusqu'à 500 µm), de calcite, de pyrite et de minéraux millimétriques zonés qui sont des silicates de terres rares encore indéterminés (Table 6.1). En l'attente d'analyse plus poussée à la microsonde électronique, ce minéral riche en LREE pourrait s'apparenter à (1) de la gatelite $(Ca, Ce)_4(Al, Mg, Fe)_4(Si_2O_7)(SiO_4)(O, F, OH)_3$ (BONAZZI *et al.*, 2003), ou encore à (2) de la västmanlandite $(Ce, La)_3CaAl_2Mg_2(Si_2O_7)(SiO_4)_3(OH)_2$ (HOLTSTAM *et al.*, 2005).

6.2.2 La minéralisation

La minéralisation se dépose dans la continuité de la phase prograde. Dans les Beni Bou Ifrour, l'intérêt économique des gisements repose sur la magnétite, et c'est à Ouiksane

Page précédente

Figure 6.14 : planche illustrant les points-clés de la séquence paragénétique de Ouiksane. (A) Endoskarn à pyroxènes. L'ancienne granodiorite est reconnaissable aux amphiboles basales et aux apatites ; (B) Fond carbonaté envahi par des pyroxènes ; (C) Plages de pyroxènes en intercroissance avec des cristaux de magnétite ; (D) Veine recoupant l'endoskarn (A), constituée de pyroxènes plus gros que ceux du fond de roche, ainsi que de calcite, de pyrite et de minéraux parfois zonés, vert-jaune à marron (silicates de terres rares) ; (E) et (F)* Envahissement pervasif d'un endoskarn à pyroxènes par des cristaux trapus de magnétite ; (G) Altération de la granodiorite aux abords du stockwerk à magnétite : les ferromagnésiens (ici d'ex-amphiboles) sont altérés en chlorite et oxydés, le fond est envahi d'un assemblage à chlorite-calcite ; (H) et (I)° Veine à calcite, bordée de cristaux automorphes de magnétite, recoupant le fond carbonaté des marbres dans lequel de petits cristaux de magnétite sont disséminés ; (J)* et (K)° Cristaux de magnétite automorphe zonée, isolée ou en amas ; (L)* Anciennes baguettes d'hématite pseudomorphosées en magnétite ; (M)* et (N)° Dans un cristal de magnétite automorphe zonée, remplacement d'une « couche » poreuse par de la pyrite ; (O)* Pyrite fissurale englobant des cristaux automorphes de magnétite ; (P)* Cristal subautomorphe de pyrite dans une veine de calcite recoupant le minerai à magnétite ; (Q) Baguettes de phlogopite recoupant la magnétite dans un fond à chlorite-calcite ; (R) Baguette de phlogopite dont l'extrémité se transforme en chlorite ; (S) Phlogopite fissurale recoupant le fond à chlorite-calcite ; (T)* Pyrite fissurale recoupée par une phase tardive à calcite. Les cassures sont comblées par de la chalcopyrite. Les images * sont prises au microscope métallographique, les images ° au microscope électronique à balayage (MEB).

Spectre	Al2O3	SiO2	FeO	CaO	MgO	F	La	Ce	Nd	Ne	Co
1-1	20,29	36,54	12,93	15,39	1,39		6,52	6,95			
1-2	21,58	34,67	9,84	14,37	2,17	3,55	6,93	6,88			
1-3	21,51	34,68	7,94	13,68	3,60	3,04	8,41	7,13			
1-4	21,56	35,12	9,12	13,76	3,26		8,36	7,78	1,03		
1-5	21,38	37,29	13,74	17,55			4,40	5,65			
1-6	23,99	36,98	7,73	16,36	2,80		5,39	6,75			
2-1	22,00	36,54	11,34	16,35	1,74		5,94	6,09			
2-2	21,22	34,20	7,78	13,21	3,93	3,03	8,33	7,23		1,08	
2-3	21,71	35,40	9,63	14,91	2,32	3,25	6,13	6,66			
2-10	21,43	37,18	13,13	17,38	0,88		4,58	5,42			
2-11	20,32	36,42	13,08	15,75	1,30		5,94	7,18			
2-12	20,09	36,72	13,97	16,39	1,01		5,21	6,36			0,24
4-1	19,87	35,83	12,82	14,59	1,91		7,28	7,70			
4-2	23,94	38,21	11,49	19,68	0,68		2,71	3,28			
4-3	23,49	37,26	8,58	16,01	1,57		5,71	7,37			
4-4	20,56	36,27	12,98	15,48	1,35		6,30	7,06			
4-5	19,90	36,03	12,24	14,53	1,98		7,55	7,76			
4-6	19,22	34,71	12,09	34,71	1,91	2,90	7,77	7,93			

Table 6.1 : analyses EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*, MEB) des minéraux millimétriques zonés de l'endoskarn veineux secondaire (OUK26').

que celle-ci s'est qualitativement le mieux exprimée, sous forme de magnétite massive (carapace, lentilles et flammèches) ou encore en un fin réseau anastomosé (stockwerk) qui se propage à la fois dans les intrusions plutoniques et le marbre.

Lorsqu'elle est massive, la magnétite forme souvent une masse brunâtre compacte de petits cristaux inférieurs à 100 µm (12-15 µm). On peut parfois y distinguer la forme trapue des cristaux, notamment lorsqu'ils sont hématisés. Ces magnétites envahissent de façon pervasive la masse des roches encaissantes, qu'elles soient carbonatées ou préalablement endoskarnisées (Figure 6.14 E et F). Ce front préserve cependant des cavités millimétriques montrant le fond de roche initial, bien que très souvent remplacé par un remplissage tardif de calcite et chlorite.

Dans les intrusions, la magnétite du stockwerk se présente sous la forme de veines plurimillimétriques constituées d'un agrégat de cristaux de magnétite allant de 500 µm au millimètre. A partir de ces veines, de petits cristaux trapus de magnétite de l'ordre de 100 µm diffusent dans un fond magmatique altéré : chloritisation et oxydation des minéraux ferromagnésiens (Figure 6.14 G), envahissement par un assemblage à calcite-chlorite ; dans la partie la plus altérée, seules les apatites sont préservées. Le stockwerk à magnétite est lui-même recoupé par des veines à calcite.

Les marbres sont également fissurés par un stockwerk cette fois représenté par de fines veinules (500 µm environ) de calcite bordées de cristaux de magnétite automorphes (Figure 6.14 H et I). De la même façon que dans les intrusions magmatiques, aux abords de ce stockwerk, de petits cristaux trapus de magnétite envahissent progressivement la calcite recristallisée du marbre ; certains, automorphes, sont plus gros (100 à 500 µm, jusqu'à 800 µm), présentent une zonation concentrique et se trouvent disséminés ou en amas (Figure 6.14

J et K). Au cours de cette même phase, d'anciennes lattes d'hématite précoce sont transformées en magnétite (Figure 6.14 L).

6.2.3 La phase rétrograde

Largement exprimée sur le site de Ouiksane, la phase rétrograde est dominée par la pyrite pour les minéraux métalliques, et par l'association intime de chlorite-calcite pour les autres minéraux. Les minéraux hydratés sont relativement abondants, avec la présence notamment de phlogopite et d'épidote. La phase rétrograde se présente sous trois formes : (1) une forme pervasive, où les minéraux comblent les cavités du minerai massif, (2) une forme fissurale, où les minéraux le recoupent, et (3) l'altération en masse de la diorite aux épontes du stockwerk.

Les pyrites interstitielles forment dans le minerai massif des plages xénomorphes jaunâtres d'aspect massif. Dans les marbres, elles englobent cristaux automorphes de magnétite ou de mushketovite. Dans ces mêmes cristaux, la pyrite peut parfois constituer l'une des zonations, en remplacement d'une bande de croissance plus « poreuse » de la magnétite (Figure 6.14 M et N). Sous sa forme fissurale, la pyrite entraîne les cristaux automorphes de magnétite (Figure 6.14 O), ou encore comble les veines du stockwerk primaire à calcite-magnétite. Quelques cristaux automorphes (environ 500 µm) apparaissent également dans les veines de calcite qui recoupent le minerai (Figure 6.14 P).

La chlorite est omniprésente dans le fond de roche, où elle forme avec la calcite un assemblage pervasif qui occulte souvent la lithologie initiale de la roche, qu'elle soit carbonatée, magmatique ou endoskarnisée. Si elle est un minéral d'altération fréquent des minéraux magmatiques, sa forme hydrothermale se compose de clinochlore sous la forme de petites baguettes de couleur vert-jaune inférieures à 100 µm ou en « rosette », et de façon générale plus abondantes à proximité de la magnétite.

Plus localement, et particulièrement aux abords du minerai massif et des apophyses plutoniques, la phlogopite peut être très pervasive mais elle est fréquemment associée aux veines rétrogrades qui recoupent le minerai. Incolore à vert-pâle, elle est affectée d'un léger pléochroïsme visible également sur les bandes diffuses vert émeraude qu'elle présente sur ses lamelles, qui peuvent être millimétriques. La postériorité de ces minéraux par rapport à la magnétite massive est claire (Figure 6.14 R). En revanche, il en va autrement pour caler la chronologie avec les autres minéraux des assemblages rétrogrades, notamment avec la chlorite puisque si la phlogopite s'altère en chlorite (Figure 6.14 R), il arrive qu'elle la recoupe également (Figure 6.14 S).

Plus rares, les épidotes apparaissent localement sous la forme de cristaux trapus isolés de couleur vert pistache (jusqu'à 150 µm).

La phase rétrograde se produit en deux temps : après un envahissement généralisé de pyrite-chlorite-calcite, une ultime phase fissurale à calcite vient recouper le tout. Ainsi les pyrites fissurales sont souvent à leur tour fracturées puis comblées par un remplissage à calcite-chalcopyrite (Figure 6.14 T). La phase rétrograde et l'oxydation supergène qui affectent de façon pervasive le minerai contribuent à hématiser intensément les magnétites. Les quelques chalcopyrites présentes sont parfois remplacées par de la covellite.