TH 1857

GEOLOGIE STRUCTURALE ET METALLOGENIE DE LA MINE CASA BERARDI-OUEST, ABITIBI, QUEBEC

Documents complémentaires

Additional Files





Licence



License

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources naturelles
Québec

GÉOLOGIE STRUCTURALE ET MÉTALLOGÉNIE DE LA MINE CASA-BÉRARDI OUEST, ABITIBI, QUÉBEC

PAR

LUC THÉBERGE

Février 1997

14 1857

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

GÉOLOGIE STRUCTURALE ET MÉTALLOGÉNIE DE LA MINE CASA BERARDI-OUEST, ABITIBI, QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR

LUC THÉBERGE

FÉVRIER 1997

REMERCIEMENTS

Je voudrais d'abord remercier mes parents, pour m'avoir donné sans compter toutes les ressources et les encouragements à poursuivre mes études.

Je remercie Normand Goulet et Michel Jébrak, respectivement directeur et codirecteur de cette maîtrise, pour les visites sur le terrain, les commentaires et les discussions.

Un gros merci à Donald Trudel, géologue de production à Casa Berardi pour son dévouement enthousiaste et son implication soutenue dans cette recherche. Je remercie le personnel des Mines Casa Berardi inc. pour leur aide et le financement.

Merci à Sonia Audet (UQAT) pour les lames minces polies et à Michelle Laithier (UQAM) pour les nombreuses figures. Merci à Pierre Pilote du MRN pour avoir partagé son expérience et sa grande connaissance de la géologie de la propriété de Casa Berardi. Merci à Réal Daigneault (UQAC) et Jean-Yves Labbé (MRN) pour les commentaires sur la géologie de l'Abitibi.

Je vous remercie tous du fond du coeur; Dominique Plouffe, Denis Vaillancourt, Martin Roy, Martin Demers, Marilène Larocque et Yves Michaud pour votre amitié, votre support et vos encouragements.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS ii
LISTE DES FIGURES v
RESUME ix
INTRODUCTION GENERALE 1
ARTICLE: Evolution structurale et mise en place du gisement aurifère
de Casa Berardi-Ouest, Abitibi, Québec 3
RESUME 4
INTRODUCTION 5
GEOLOGIE GENERALE 9
GEOLOGIE LOCALE 12
Géologie de la propriété Casa Berardi 12
Géologie du gisement Casa Berardi-Ouest 13
Le domaine lithotectonique Nord 13
Le domaine lithotectonique Sud 16
Les zones aurifères 17
GEOLOGIE STRUCTURALE 18
Phases précoces et déformation majeure (D_1) 18
Schistosité et linéation 18
Plissements 22
Failles ductiles 26
Phases de déformations tardives (D_2-D_5) 27
Clivages de fractures et linéations 27
Plissements 28
Failles 32
Patrons d'interférence 34
Chronologie des veines 35
Le système de veines V_{1a} 35
Le système de veines V_{1b} 37
Les systèmes de veines V_3 et V_4 44
Morphologie des zones minéralisées 44
Morphologie reliée à D_1 45
Morphologie reliée à D_2 et D_3 45

Interprétation 46
Phase de déformation D_1 46
Phase de déformation D_2 47
Phase de déformation D_3 48
Phase de déformation D_4 49
Phase de déformation D_5 49
MINERALISATION ET ALTERATION 49
Description des faciès minéralisés 50
Veines de quartz 50
Les zones de remplacement aurifères 52
Lambeaux cherteux minéralisés 54
Associations minéralogiques de l'or 55
L'altération hydrothermale 56
DISCUSSION 59
Evolution tectonique 59
Mise en place veines aurifères 62
CONCLUSIONS 65
REMERCIEMENTS 66
BIBLIOGRAPHIE 67
CONCLUSIONS GENERALES 73

LISTE DES FIGURES

Figure — Page

1 Carte géologique de la Sous-province de l'Abitibi, modifiée de Chown et al., 1992. L'encadré montre la localisation du district minier de Casa Berardi 6

2 Géologie simplifiée de la région de Casa Berardi, modifiée de Pilote et al. (1990) et de Lacroix et al. (1990). *Domaines lithotectoniques*: DC, Cartwright; DD, Dieppe; DJR, Joutel-Raymond; DOD, Orvilliers-Desmazures; DT, Taïbi; UB, unité de Bradette. *Structures*: ZDCB, zone de déformation de Casa Berardi; ZDL, zone de déformation de Laberge; FCB, faille de Casa Berardi 7

3 Géologie de surface entourant les gisements de Casa Berardi. La zone de déformation de Casa Berardi couvre l'ensemble des lithologies sur la carte. Remarquer la présence des gisements uniquement à l'intérieur de l'unité de siltstones-mudstones, de même que l'association spatiale de la faille Casa Berardi avec les gisements. (Source : Les Mines Casa Berardi inc.) 8

4 Section composite nord-sud (10 750E-10 850E) du gisement Casa Berardi-Ouest montrant les différents éléments structuraux et la morphologie des zones minéralisées. Noter l'influence des plissements P_2 et les plis P_{1b} affectant les veines de quartz aux points P_{1b} marqués sur la figure 14

5 Géologie du niveau 250 mètres à Casa Berardi-Ouest, montrant 5 des 6 zones minéralisées formant le gisement. Remarquer la position des failles tardives F_2 et F_4 à l'intérieur des failles graphiteuses (protomylonites) F_1 et la répartition des faciès minéralisés dans les zones aurifères 15

6 Projections sur l'hémisphère inférieur (canevas à aires égales) des éléments structuraux principaux de la phase D_1 enregistrée dans la ZDCB à la mine Casa Berardi-Ouest: (A) pôles de S_1 dans le domaine Nord; (B) pôles de S_1 dans le domaine Sud; (C) linéations d'étirement L^1_1 dans le domaine Nord; (D) linéations d'étirement L^1_1 dans le domaine Sud. Remarquer la distribution très différente de S1 entre le domaine Nord (A) et le domaine Sud (B) 20

Figure page

7 Photographie du plafond (plan perpendiculaire à S_1 et L^1_1) montant une tectonite (faille F_1) intermédiaire entre la cataclasite et la protomylonite développée dans un schiste à graphite-chert-pyrite. Le chert et la pyrite forment des boudins allongés parallèles à L^1_1. Noter la présence de boudins de veines de quartz (**Q**) (Niveau 250m)..... 21

8 Zone mylonitique du domaine Nord montrant un rubannement tectonométamorphique bien développé. La partie centrale de la photo montre ce rubannement (subvertical) plissé sur lui-même, formant un pli P_{1b} isoclinal. Les boudins de veines V_{1a} en pseudo-rotation (**A**) sont très nombreux; leur asymétrie relativement à S_1 suggère un mouvement inverse (Bloc nord monte) tel que montré sur la photo. Remarquer les veines V_4 non-déformées. (Section verticale, vue vers l'ouest, niveau 150m).....23

9 Cartographie d'une section de galerie (mur est) dans la zone Nord-Est au niveau 150, montrant la zone de faille mylonitique et protomylonitique F_1 du domaine Nord. Cette zone de faille ductile possède une schistosité et un rubanement mylonitique S_1 N080° à pendage abrupt vers le nord. La présence de clivages en cisaillement (shear bands) pentés vers le nord (plus faiblement que S_1) jumelés à de nombreux boudins de veines de quartz (V_{1a}) subhorizontaux en pseudo-rotation témoignent d'un mouvement inverse à vergence vers le sud le long de cette zone de faille majeure 24

10 Plis P_{1a} asymétriques en Z affectant la stratification S_0, ici montrée par les lambeaux de cherts noirs dans un schiste à séricite. La schistosité mylonitique S_1 forme le plan axial. Au point **A** sur la figure on note la transposition de S_1 et d'une partie d'un lit de chert, suggérant l'amorce d'un pli P_{1b} et d'une nouvelle schistosité (S_1') dans une charnière de pli P_{1a}. (Section verticale, vue vers l'ouest, niveau 250m)..... 25

11 Projections sur l'hémisphère inférieur (canevas à aires égales) des éléments principaux des phases D_2 et D_3 enregistrées dans la ZDCB à la mine Casa Berardi-Ouest: (**A**) pôles de S_2; (**B**) pôles de S_3; (**C**) axes de plis P_2; (**D**) axes de plis P_3. Noter l'opposition de 180° dans l'orientation des axes P_2 et la relation orthogonale entre les pôles moyens des axes P_2 et P_3..... 29

Figure page

12 Gros plan sur une zone de charnière d'un pli P_2 faiblement plongeant vers l'ouest développé dans un schiste à séricite minéralisé. La surface S_1 (tracée en rouge) est plissée, de même que les veinules de quartz V_{1b}. Le clivage S_2 forme le plan axial. Noter au point **A** et **B** sur la photo, l'angularité entre les veinules V_{1b} et S_1. (Section verticale, vue vers l'ouest, niveau 250m) 30

13 Pli P_2 d'échelle plurimétrique. Ces plis affectent la schistosité S_1 ainsi que les zones minéralisées. Noter le plissement du rubannement parallèle à S_1 dans la veine de quartz (dans le bas à gauche de la photo). Les boulons d'ancrage au plafond de la galerie font 18 cm. (Vue vers l'est niveau 220m)..... 31

14 Photographie montrant une section perpendiculaire à l'axe long d'un boudin de veine V_{1a}. La section correspond au plan YZ de l'ellipsoïde de déformation finie, l'axe long du boudin étant parallèle à la linéation d'étirement subverticale. Remarquer la forme symétrique du boudin, la schistosité S_1 formant le plan miroir. (niveau 300m) 36

15 Veine de quartz V_{1b} concordante à S_1 comportant 10 à 20% d'enclaves de métasédiments graphiteux minéralisés et foliés. La foliation dans les enclaves est ici parallèle à la schistosité S_1 dans l'unité de schiste à séricite et cherts minéralisés à l'éponte supérieure. (Mur de galerie, vue vers le sud, niveau 265m) 38

16 Zone de charnière de pli P_{1b} affectant une veine de quartz aurifère V_{1b}. La schistosité S_1, parallèle à la veine sur les flancs du plis (points **C**), est plissée et recoupée avec la veine dans la charnière par une schistosité secondaire S_1' coplanaire à S_1 (en rouge aux points **A** et **B**). L'altération en séricite des métasédiments est typique de l'éponte supérieure (en bas et à gauche de la photo), tandis que la veine contient des fragments d'encaissant graphiteux. (Mur ouest de galerie, niveau 200m) 39

17 Coupe nord-sud montrant la relation angulaire entre les veines V_{1b} et S_1. La veine est plissée (P_{1a}) et la schistosité S_1 forme le plan axial dans la zone de charnière. Sur les flancs du pli, S_1 et les bordures de la veine forment toujours un angle de 10° à 30°. Le fait que la veine soit toujours à angle par rapport à S_1 malgré sa transposition, suggère que cette veine s'est probablement mise en place dans une structure en extension. (Vue vers l'est, niveau 220m)..... 40

Figure page

18 Veinules V_{1b} disposées à angle par rapport à S_1 (VT) et reliées à une veine V_{1b} subparallèle à S_1 (VC). Les veinules VT ont été transposées par S_1 tandis que la veine VC n'a été que boudinée. Cette relation VC et VT suggère un système déformé de veines en cisaillement (VC) jumelées à des veines de tensions (VT). Noter: 1) les textures de recristallisation et les stylolithes de graphite dans les veines 2) la veine de type V_3 (V3). (Section horizontale, niveau 250m) 41

19 Minéralisation de type brèchique développée dans un lambeau de chert. Les fragments de cherts montrent les évidences d'injections de quartz (V_{1b}) multiples, tel que suggéré en **A** et **B** sur la photo. La phase d'injection la plus ancienne montre des textures de recristallisation tectonique, alors que les phases tardives ne sont pas déformées. (Mur de galerie, vue vers l'ouest, niveau 275m) 43

20 Grain d'or de 88 micron (Au) dans un cristal de pyrite subautomorphe. Un petit grain de chalcopyrite (Cp) est associé avec l'or. Noter aussi la présence d'un cristal d'arsénopyrite (Ap) à l'intérieur de la pyrite..... 51

21 Microphotographie montrant des grains d'arsénopyrites (grains plus pâles) cataclasés entourés de pyrite subautomorphes moins fracturées. (Voir le texte pour les détails). Noter les nombreuses bordures de recristallisation sur les pyrites. (Grossissement 200X) 53

22 Diagrammes binaires montrant les corrélations linéaires entre l'or, l'argent, le cuivre, le zinc et le plomb 57

23 Modèle schématique (aucune échelle) de mise en place de la minéralisation aurifère à la mine Casa Berardi-Ouest parallèlement à l'évolution de la ZDCB au cours de la phase D_1 64

RESUME

Les minéralisations aurifères d'âge archéen de la région de Casa Berardi sont localisées au sein de la zone de déformation de Casa Berardi (ZDCB) dans le sillon Harricana-Turgeon de la Sous-province de l'Abitibi. Cette zone d'intense déformation orientée est-ouest (80 km x 5 km), affecte principalement les unités sédimentaires — conglomérats polygéniques, faciès détritiques distaux et formations de fer — et volcaniques de Taïbi, qui encaissent les minéralisations.

L'étude structurale effectuée à la mine Casa Berardi-Ouest montre l'évolution de la ZDCB et la mise en place des minéralisations aurifères durant la déformation régionale polyphasée ductile à cassante d'âge archéen. Dans un premier temps, une déformation ductile liée à un raccourcissement global inhomogène nord-sud développe une schistosité pénétrative S_1 est-ouest associée à la formation de plissements isoclinaux P_1 et de zones mylonitiques et protomylonitiques. Ces dernières ont permis la percolation syn- à tardi-D_1 des fluides hydrothermaux et la mise en place des minéralisations aurifères. Pendant leur mise en place, les veines de quartz et zones de remplacement aurifères sont en partie transposées subparallèlement à S_1 par cisaillement progressif sur S_1. Des indicateurs cinématiques retrouvés dans une zone de mylonite (F_1) au nord de la faille Casa Berardi montrent une remontée du bloc nord sur le bloc sud le long de la ZDCB au cours de D_1. Tardivement à D_1 dans le secteur de la mine Casa Berardi-Ouest, la schistosité S_1 aurait été déversée vers le nord (60°) au sud de la faille Casa Berardi. Les unités lithologiques ont par la suite été imbriquées et chevauchées vers le nord (D_2) à l'aide de failles cassantes F_2 utilisant la schistosité majeure S_1 comme plan préférentiel de glissement.

Des plis asymétriques en Z (P_2) associés à un clivage de fracture S_2 et plongeant faiblement vers le sud-ouest, plissent toutes les structures de même que les zones minéralisées. Ces plis sont eux-mêmes replissés de façon orthogonale par une troisième phase de plis ouverts P_3, créant des patrons d'interférence en dômes et bassins. Les plis P_2 et P_3, de même que les zones minéralisées et les failles ductiles D_1 sont visiblement recoupés par les failles inverses majeures telle la faille Casa Berardi, ce qui suggère que ces failles non pas de liens génétiques avec la mise en place de la minéralisation aurifère. La ZDCB est recoupée tardivement par des failles normales d'orientation nord-sud.

La présence d'une forte schistosité mylonitique pénétrative accompagnée d'une altération intense à l'intérieur d'un massif rocheux, sont des facteurs contribuant à augmenter sensiblement l'anisotropie des roches et à diminuer leurs compétence face à la déformation. Ces facteurs influant au niveau rhéologique, bien développés dans les métasédiments de la mine Casa Berardi-Ouest, ont dû favoriser la formation et le serrage des plis ayant affecté les zones minéralisées pendant et après leur mise en place au cours des phases D_1, D_2 et D_3 enregistrées dans la ZDCB. Les patrons d'interférences engendrés par la superposition des plis et les mouvements le long des failles tardives établissent les contrôles géométriques des zones minéralisées aurifères.

MOTS CLES: Casa Berardi, Abitibi, Nord-Ouest québécois, gisement aurifère, or, zone de déformation, cisaillement, géologie structurale, gîtologie, métallogénie

INTRODUCTION GENERALE

La découverte des minéralisations aurifères d'importance économique dans la Sous-province archéenne de l'Abitibi date du début du siècle. À cette époque et encore tout récemment, l'association spatiale entre les zones de cisaillement, les failles majeures et les gisements d'or était synonyme de constance. Le lien génétique entre la déformation et la mise en place de l'or était principalement basé sur cette association spatiale et sur l'abondance de gisements filoniens de quartz à l'intérieur d'un réseau de fractures.

Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que des preuves solides basées sur des relations structurales, la métallogénie régionale et plus récemment à l'aide des datations U-Pb précises sur zircons, que l'on a démontré des évidences de minéralisations aurifères synvolcaniques ou d'affinités magmatiques antérieures à la déformation régionale dans les ceintures de roches vertes à l'Archéen (Tourigny et al., 1989; Couture et al., 1994; Belkabir et Hubert, 1995; Gaboury et al., 1995; Morasse et al., 1995; Pilote, P. et Guha, J., 1996). Ces nouvelles données ont relancé bien des débats sur la mise en place des gisements d'or et l'origine des fluides minéralisateurs, de même que sur les métallotectes directs reliés génétiquement à l'or.

Cette recherche sur l'évolution structurale du gisement aurifère de Casa Berardi-Ouest a été entreprise dans le but de mieux connaître 1) la complexité géométrique interne des zones minéralisées, 2) leur répartition spatiale singulière relativement à la faille Casa Berardi comparativement aux autres gîtes sur la propriété et 3) la période de mise en place des minéralisations aurifères relativement à l'évolution de la ZDCB. Les données de cette étude proviennent de la cartographie des excavations souterraines, de la description de trous de sondage et d'analyses géochimiques. Une attention particulière a été portée sur les impacts des différentes phases de déformation sur la morphologie des structures aurifères.

Dans ce mémoire, la géologie régionale et locale de la mine Casa Berardi-Ouest est d'abord esquissée. Les éléments structuraux recensés dans le secteur étudié de la ZDCB, la chronologie des veines de quartz, la morphologie des zones minéralisées et les phases de déformation interprétées sont ensuite présentés. L'altération, les caractéristiques minéralogiques, texturales et géochimiques des zones minéralisées sont décrites, suivi d'une discussion sur l'évolution de la ZDCB et la période de mise en place de l'or.

Une partie de cette étude a été présentée sous forme de conférence et publiée (résumé) 1) à la réunion annuelle de l'AGC-AMC en mai 1994 (Théberge et al., 1994b) et 2) lors du séminaire d'information du ministère des ressources naturelles en novembre 1994 (Théberge et al., 1994c). Des résultats préliminaires ont aussi été exposés à l'aide d'affiches à deux reprises, soit lors du congrès annuel de l'APGGQ (Théberge et al., 1994a) et de l'atelier Lithoprobe en avril 1994.

Evolution structurale et mise en place du gisement aurifère de Casa Berardi-Ouest, Abitibi, Québec

Luc Théberge

Normand Goulet

Michel Jébrak

et

Donald Trudel

Département des Sciences de la Terre
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, succ. centre-ville
Montréal, Québec, H3C 3P8

RESUME

Les minéralisations aurifères d'âge archéen de la région de Casa Berardi sont localisées au sein de la zone de déformation de Casa Berardi (ZDCB) dans le sillon Harricana-Turgeon de la Sous-province de l'Abitibi. Cette zone d'intense déformation orientée est-ouest (80 km x 5 km), affecte principalement les unités sédimentaires — conglomérats polygéniques, faciès détritiques distaux et formations de fer — et volcaniques de Taïbi, qui encaissent les minéralisations.

L'étude structurale effectuée à la mine Casa Berardi-Ouest montre l'évolution de la ZDCB et la mise en place des minéralisations aurifères durant la déformation régionale polyphasée ductile à cassante d'âge archéen. Dans un premier temps, une déformation ductile liée à un raccourcissement global inhomogène nord-sud développe une schistosité pénétrative S_1 est-ouest associée à la formation de plissements isoclinaux P_1 et de zones mylonitiques et protomylonitiques. Ces dernières ont permis la percolation syn- à tardi-D_1 des fluides hydrothermaux et la mise en place des minéralisations aurifères. Pendant leur mise en place, les veines de quartz et zones de remplacement aurifères sont en partie transposées subparallèlement à S_1 par cisaillement progressif sur S_1. Des indicateurs cinématiques retrouvés dans une zone de mylonite (F_1) au nord de la faille Casa Berardi montrent une remontée du bloc nord sur le bloc sud le long de la ZDCB au cours de D_1. Tardivement à D_1 dans le secteur de la mine Casa Berardi-Ouest, la schistosité S_1 aurait été déversée vers le nord (60°) au sud de la faille Casa Berardi. Les unités lithologiques ont par la suite été imbriquées et chevauchées vers le nord (D_2) à l'aide de failles cassantes F_2 utilisant la schistosité majeure S_1 comme plan préférentiel de glissement.

Des plis asymétriques en Z (P_2) associés à un clivage de fracture S_2 et plongeant faiblement vers le sud-ouest, plissent toutes les structures de même que les zones minéralisées. Ces plis sont eux-mêmes replissés de façon orthogonale par une troisième phase de plis ouverts P_3, créant des patrons d'interférence en dômes et bassins. Les plis P_2 et P_3, de même que les zones minéralisées et les failles ductiles D_1 sont visiblement recoupés par les failles inverses majeures telle la faille Casa Berardi, ce qui suggère que ces failles non pas de liens génétiques avec la mise en place de la minéralisation aurifère. La ZDCB est recoupée tardivement par des failles normales d'orientation nord-sud.

La présence d'une forte schistosité mylonitique pénétrative accompagnée d'une altération intense à l'intérieur d'un massif rocheux, sont des facteurs contribuant à augmenter sensiblement l'anisotropie des roches et à diminuer leurs compétence face à la déformation. Ces facteurs influant au niveau rhéologique, bien développés dans les métasédiments de la mine Casa Berardi-Ouest, ont dû favoriser la formation et le serrage des plis ayant affecté les zones minéralisées pendant et après leur mise en place au cours des phases D_1, D_2 et D_3 enregistrées dans la ZDCB. Les patrons d'interférences engendrés par la superposition des plis et les mouvements le long des failles tardives établissent les contrôles géométriques des zones minéralisées aurifères.

MOTS CLES: Casa Berardi, Abitibi, Nord-Ouest québécois, gisement aurifère, or, zone de déformation, cisaillement, géologie structurale, gîtologie, métallogénie

INTRODUCTION

Les gisements d'or archéens de Casa Berardi (fig. 1) sont situés à 180 km au nord de Rouyn-Noranda, Abitibi, Québec. Ils consistent en des veines de quartz et des zones de remplacements mésothermales classiques (Roberts, 1988; Poulsen et Robert, 1989; Robert, 1990) localisées à moins de 300 mètres de la faille Casa Berardi (FCB), une structure cassante régionale. Toutes les minéralisations sont comprises dans la zone de déformation de Casa Berardi (ZDCB), un couloir de cisaillement est-ouest de 80 km de long, situé dans la partie centrale du sillon Harricana-Turgeon (fig. 2), dans la Zone Volcanique Nord de la Sous-province de l'Abitibi (Lacroix et al, 1990; Pilote et al, 1990; Chown et al, 1992).

La découverte de minéralisations aurifères par Inco Exploration dans le canton de Casa Berardi date de l'automne 1981. Depuis septembre 1988, 3 Mt de minerai à une teneur moyenne de 7 g/t Au (21 000 kg Au) ont été extraites des gisements Casa Berardi-Est et Ouest, (fig. 3). Le gisement Casa Berardi-Centre, en phase de développement, sera mis en production au cours de 1998. Les gisements sont exploités par Les Mines Casa Berardi inc., selon une entente entre TVX Gold inc. (60%) et Golden Knigth Ressources (40%).

Bien que les gisements d'or de la Province du Supérieur soient étudiés depuis près de cent ans, soit depuis les premières découvertes importantes dans le nord-est ontarien, la relation génétique entre la déformation et la mise en place des structures aurifères reste toujours d'actualité. La mise à jour dans la région de Hemlo (Ont.) et de Cadillac (Qc) de gisements de type pyriteux (Robert, 1990) à l'intérieur de zone de déformation majeure, a provoqué une profonde remise en question quand à l'importance de la relation déformation et gisements aurifères dans les ceintures de roches vertes archéennes (Valliant et Hutchinson, 1982; Tourigny et al., 1989; Marquis et al., 1990; Pan et Fleet, 1995). Des données géochronologiques récentes ont aussi contribué à cette remise en question (Couture et al., 1994; Morasse et al., 1995).

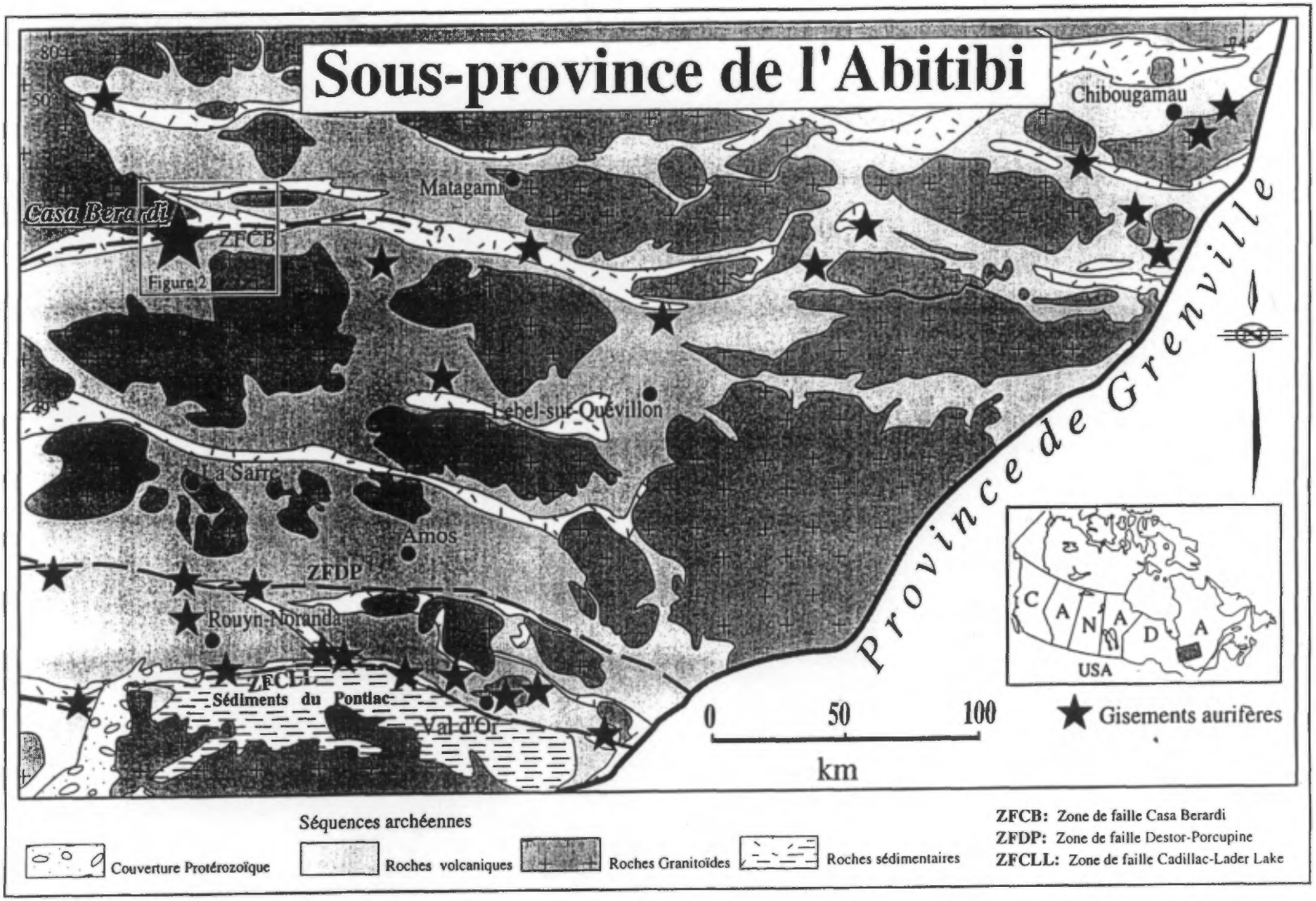
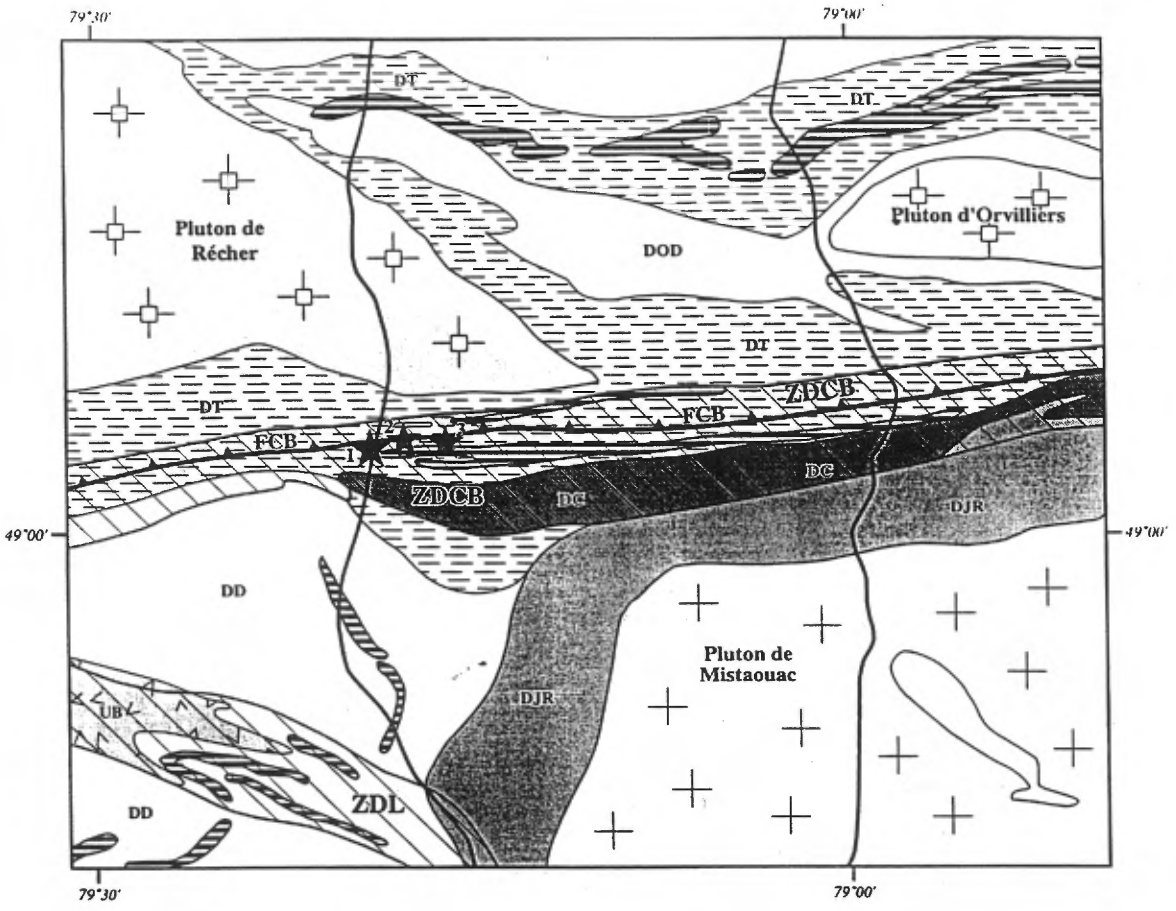


Figure 1: Carte géologique de la Sous-province de l'Abitibi, modifiée de Chown et al., 1992. L'encadré montre la localisation du district minier de Casa Berardi.



LEGENDE

- Zone de Déformation
- Pluton syntectonique
- Pluton synvolcanique
- Roches sédimentaires non-différenciées
- Formations de fer
- Basalte, Andésite, Rhyolite
- Andésite, Rhyolite
- Basalte
- Basalte, Komatiite
- Routes

0 5 10 km

1 Gisements Casa Berardi
1) Ouest, 2) Centre, 3) Est

Figure 2: Géologie simplifiée de la région de Casa Berardi, modifiée de Pilote et al. (1990) et de Lacroix et al. (1990). *Domaines lithotectoniques:* DC, Cartwright; DD, Dieppe; DJR, Joutel-Raymond; DOD, Orvilliers-Desmazures; DT, Taïbi; UB, Unité de Bradette. *Structures:* ZDCB, zone de déformation de Casa Berardi; ZDL, zone de déformation de Laberge; FCB, faille Casa Berardi.

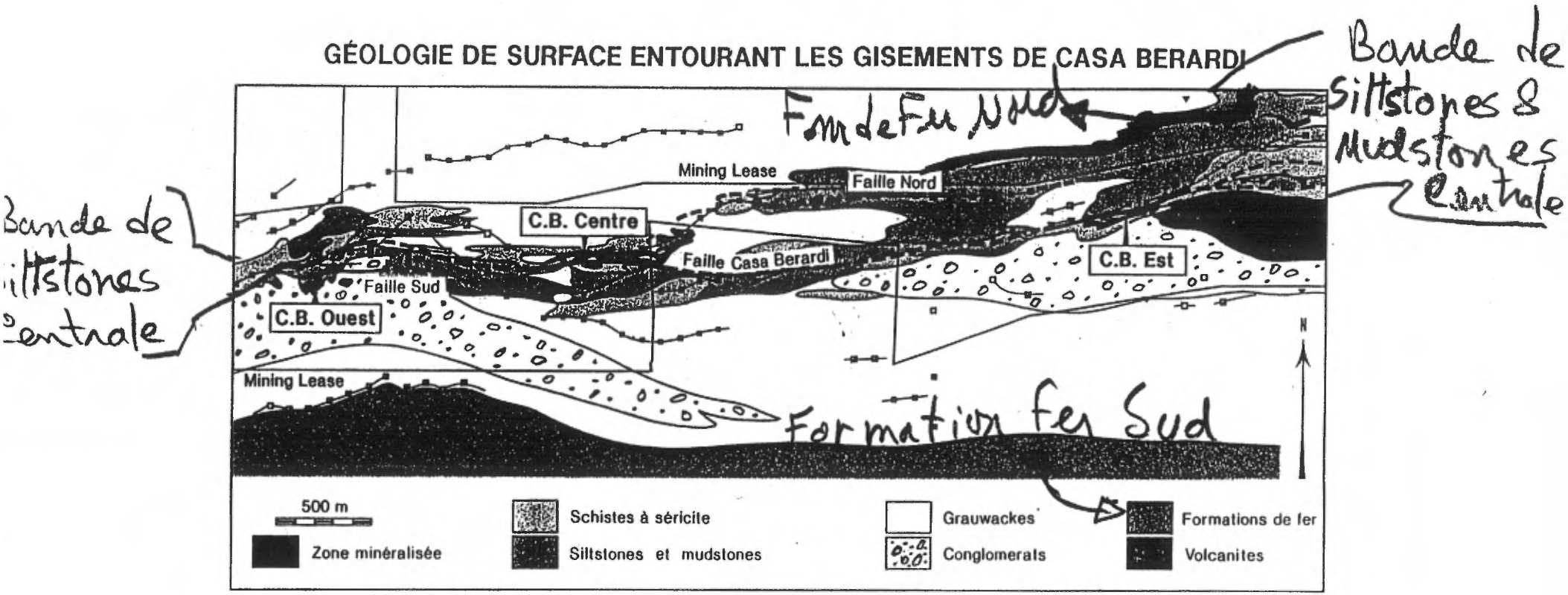


Figure 3: Géologie de surface entourant les gisements de Casa Berardi. La zone de déformation de Casa Berardi couvre l'ensemble des lithologies sur la carte. Remarquer la présence des gisements uniquement à l'intérieur de l'unité de siltstones-mudstones, de même que l'association spatiale de la faille Casa Berardi avec les gisements. (Source: Les Mines Casa Berardi inc.)

Depuis la découverte des premiers indices minéralisés, plusieurs études ont été entreprises sur la métallogénie et la mise en place de l'or à Casa Berardi. Pattison et al., (1986), reconnaissent un caractère épigénétique à la minéralisation. Ils situent la mise en place des structures aurifères dans un contexte distensif de type graben ou en bordure de caldeira. Une phase de compression subséquente permet la transposition des minéralisations et expliquerait leur attitude subparallèle aux unités lithologiques.

Pilote et al., (1990) montrent aussi le caractère épigénétique de la minéralisation, mais établissent une mise place tardimétamorphique et syn- à tarditectonique à l'intérieur de la ZDCB. Les veines aurifères seraient retrouvées dans les zones de forte déformation marquées par un clivage se surimposant à la schistosité mylonitique primaire et une altération spécifique.

Nos travaux sur l'évolution structurale du gisement Casa Berardi-Ouest ont été entrepris dans le but de mieux connaître 1) la complexité géométrique interne des zones minéralisées, 2) leur répartition spatiale singulière relativement à la FCB comparativement aux autres gîtes sur la propriété et 3) la période de mise en place des minéralisations aurifères relativement à l'évolution de la ZDCB. Les données de cette étude proviennent de la cartographie des excavations souterraines, de la description de trous de sondage et d'analyses géochimiques. Dans cet article, une attention particulière a été portée sur les impacts des différentes phases de déformation sur la morphologie des structures aurifères.

GEOLOGIE GENERALE

La région de Casa Berardi est située dans le nord-ouest de la Sous-province de l'Abitibi (fig. 1), dans la Province du Supérieur (Card, 1990; Hocq, 1990). Les assemblages volcanosédimentaires et les suites plutoniques archéennes de cette région (fig. 2) ont été décrits à l'intérieur du sillon Harricana-Turgeon (SHT) par de nombreux auteurs dont Remick (1969), Pilote (1989) et Lacroix et al. (1990). Selon le modèle paléogéographique retenu, le SHT est inclus dans la zone interne de Dimroth et

al. (1982) ou dans la Zone Volcanique Nord de Ludden et al. (1986) et de Chown et al. (1992).

L'âge des volcanites du secteur de Casa Berardi serait compris entre 2730 et 2725 Ma (cycle 1 de Chown et al., 1992). Deux suites plutoniques sont reconnues dans la région. Une suite dioritique-tonalitique synvolcanique (2728-2722 Ma) représentée par le batholite de Mistaouac et une suite syntectonique de granodiorite et de monzodiorite quartzifère (2701-2693 Ma) dont les plutons de Récher et d'Orvilliers font partie (Lacroix et al., 1990; Mortensen, 1993) (fig. 2). Le métamorphisme atteint le faciès schiste vert, sauf en bordure des plutons syntectoniques où il s'élève au faciès amphibolite inférieur.

En raison de la faible densité d'affleurement, aucune stratigraphie formelle n'a été établie dans cette partie de la Sous-province de l'Abitibi. Toutefois, les assemblages volcanosédimentaires du SHT ont été subdivisés en domaines lithotectoniques volcaniques ou sédimentaires par Lacroix et al. (1990). Dans le secteur de Casa Berardi, on retrouve notamment le domaine sédimentaire de Taïbi (Cycle 1 nord, Mueller et Donaldson, 1992), lequel encaisse les gisements (fig. 1 et 2). Il se compose de séquences de grès-siltstone-mudstone granoclassées, de conglomérats, d'argillites graphiteuses, de formations de fer et de cherts. Ces dépôts ont été interprétés comme des faciès turbiditiques et de coulées de débris mis en place en association avec des sédiments pélagiques en milieu marin profond (Mueller et Donaldson, 1992; Lacroix et Sawyer, 1995). Des volcanites, principalement des coulées et des tufs de composition mafique à intermédiaire, sont interstratifiées avec les séries sédimentaires.

Adjacent au domaine de Taïbi, on retrouve les domaines volcaniques de Dieppe, d'Orvilliers-Desmazures, de Cartwright et de Joutel-Raymond (fig. 2).

Les domaines de Dieppe et d'Orvilliers-Desmazures se composent de coulées de basaltes et de sills mafiques à ultramafiques d'affinités tholéiitiques. De nombreux horizons de formations de fer, de cherts, d'argilites et de tufs fins sont interstratifiés avec les coulées (Pilote, 1989). Un assemblage de volcanites felsiques, appelé l'unité

de Bradette occupe la partie centrale du domaine de Dieppe. Ce centre felsique est apparemment contemporain à l'épanchement des basaltes (Pilote et al., 1990). On associe la formation de ces domaines à un volcanisme sous-marin profond de type fissural (MORB).

Une association basaltique à komatiitique caractérise le domaine de Cartwright. Ce dernier forme une bande étroite de quelques kilomètres de large qui longe la partie sud du domaine de Taïbi. Les faciès de coulées sont généralement identiques aux associations basaltiques (ex. Dieppe) et l'on retrouve aussi des unités mineures d'andésites et de sédiments pélagiques. Comme pour les domaines de Dieppe et d'Orvilliers-Desmazure, le domaine de Cartwright est interprété comme une plaine de lave et/ou des volcans en bouclier s'apparentant aux environnements volcaniques sous-marins récents de type MORB (Lacroix et al., 1990).

Le domaine basaltique à rhyolitique de Joutel-Raymond est situé sur le pourtour du batholite de Mistaouac (fig. 2). Il se distingue par l'abondance d'unités andésitiques et rhyolitiques (Dubé, 1989). Les assemblages volcaniques de ce domaine sont très semblables aux volcanites archéennes de la région de Rouyn-Noranda (Lacroix et al., 1990) et s'apparenteraient aux ceintures orogéniques récentes (Dimroth et al., 1982; Ludden et al., 1986; Simard et al., 1990; Chown et al., 1992).

En général, les roches de la région de Casa Berardi montrent un degré de déformation faible, sauf à l'intérieur des zones de déformation (fig. 2) où les unités sont alors fortement transposées et schistosées (Pilote, 1990). Seule la zone de déformation de Casa Berardi porte des minéralisations aurifères. La ZDCB forme une structure est-ouest de 4 à 6 km de large faisant plus de 80 km de longueur, de son extrémité ouest en Ontario jusqu'au Québec où elle se divise en de nombreux embranchements dans sa partie est (Lacroix et al., 1990). Elle comprend les domaines de Taïbi et de Cartwright, de même qu'une mince frange du domaine de Dieppe. La ZDCB se caractérise par 1) une linéation d'étirement subverticale. 2) une forte schistosité mylonitique, 3) un réseau de cisaillements ductiles anastomosés et 4) des plissements isoclinaux intrafoliaux accompagnés de plis en fourreaux (Pilote, 1990).

GEOLOGIE LOCALE

Géologie de la propriété Casa Berardi

La géologie du domaine de Taïbi au niveau des gîtes de Casa Berardi (fig. 3) a été décrite par Pattison et al. (1986). Ils y ont décrit une séquence stratigraphique comprenant, de la base au sommet, des formations de fer (magnétite-chert), des conglomérats et des séquences de grauwackes-siltstones-argilites granoclassées (turbidites). Cette dernière unité comporte de nombreuses interdigitations de volcanites mafiques à intermédiaires et de formations de fer aux faciès variés (sulfure-graphite, oxyde-silicate et chert-sulfures). Toutes ces unités, d'une épaisseur de 2 km en moyenne, formeraient une séquence homoclinale est-ouest à pendage subvertical. Toutefois, le caractère répétitif de certaines unités sur toute la largeur de la ZDCB suggère la présence de traces axiales majeures, mettant en doute le caractère homoclinal et la puissance totale (qui serait surévaluée) de la séquence stratigraphique de Pattison et al. (1986) (P. Pilote et D. Trudel, comm. pers.).

A l'échelle mésoscopique, toutes les unités de cette séquence sont affectées par une déformation intense, marquée par des plissements isoclinaux, une schistosité et une linéation d'étirement moyennement à fortement développées et des zones de mylonite-protomylonite. Quelques grandes failles cassantes (fig. 3), occupent préférentiellement de minces bandes d'argilites et de schistes graphiteux qui peuvent être suivis sur quelques kilomètres. La faille Casa Berardi, qui fait partie de ce groupe, est spatialement associée aux trois gisements sur la propriété, soit Casa Berardi-Ouest, Centre et Est.

La propriété de Casa Berardi se distingue par une quasi-absence de roches plutoniques. En effet, malgré la proximité (±4 km) du pluton syntectonique de Récher (fig. 2), seuls quelques dykes mafiques de 5 à 20 cm d'épaisseur ont été recensés en forage (Pattison et al. 1986).

Géologie du gisement Casa Berardi-Ouest

Les roches sédimentaires constituent plus de 90% des unités à la mine Ouest. Elles contiennent toutes les zones minéralisées. Une unité de volcanite mafique complète le spectre lithologique du gisement. Aucune roche intrusive n'a été identifiée jusqu'à présent, ni dans les développements souterrains ni dans les forages.

Deux domaines lithotectoniques ont été identifiés à l'échelle de la mine Casa Berardi-Ouest. Ces domaines ont été définis sur la base de leurs associations lithologiques différentes et de leurs caractéristiques structurales spécifiques. La faille Casa Berardi marque la limite entre ces deux domaines (fig. 4).

Le domaine lithotectonique Nord

Le domaine Nord, situé sur le côté nord de la faille Casa Berardi, se compose en grande majorité de métagrauwackes feldspathiques, avec de minces lits (<25 cm) de cherts gris sombres à noirs et de schistes graphiteux. Une lentille de volcanites (non montrée) consistant en des laves massives mafiques, est retrouvée en forage dans sa partie sud-ouest, près de la FCB. L'épaisseur de cette unité volcanique varie entre 50 et 75 mètres.

Structuralement, il se caractérise par une zone mylonitique importante dans sa partie méridionale qui se distingue par un rubannement tectonique compositionnel (quartz-chlorite-ankérite-séricite-±graphite) subvertical bien marqué dans les métagrauwackes. Cette zone de mylonite est en contact graduel ou faillé avec une bande irrégulière et peu épaisse (< 6 m) de schistes graphiteux contenant la FCB (fig. 4 et 5). Cette dernière fait en moyenne 30 cm de large à la mine Ouest.

Dans tout le domaine Nord, la foliation mylonitique S_1 est subverticale à fortement inclinée (>80°) vers le sud (fig. 4). Les structures associées aux

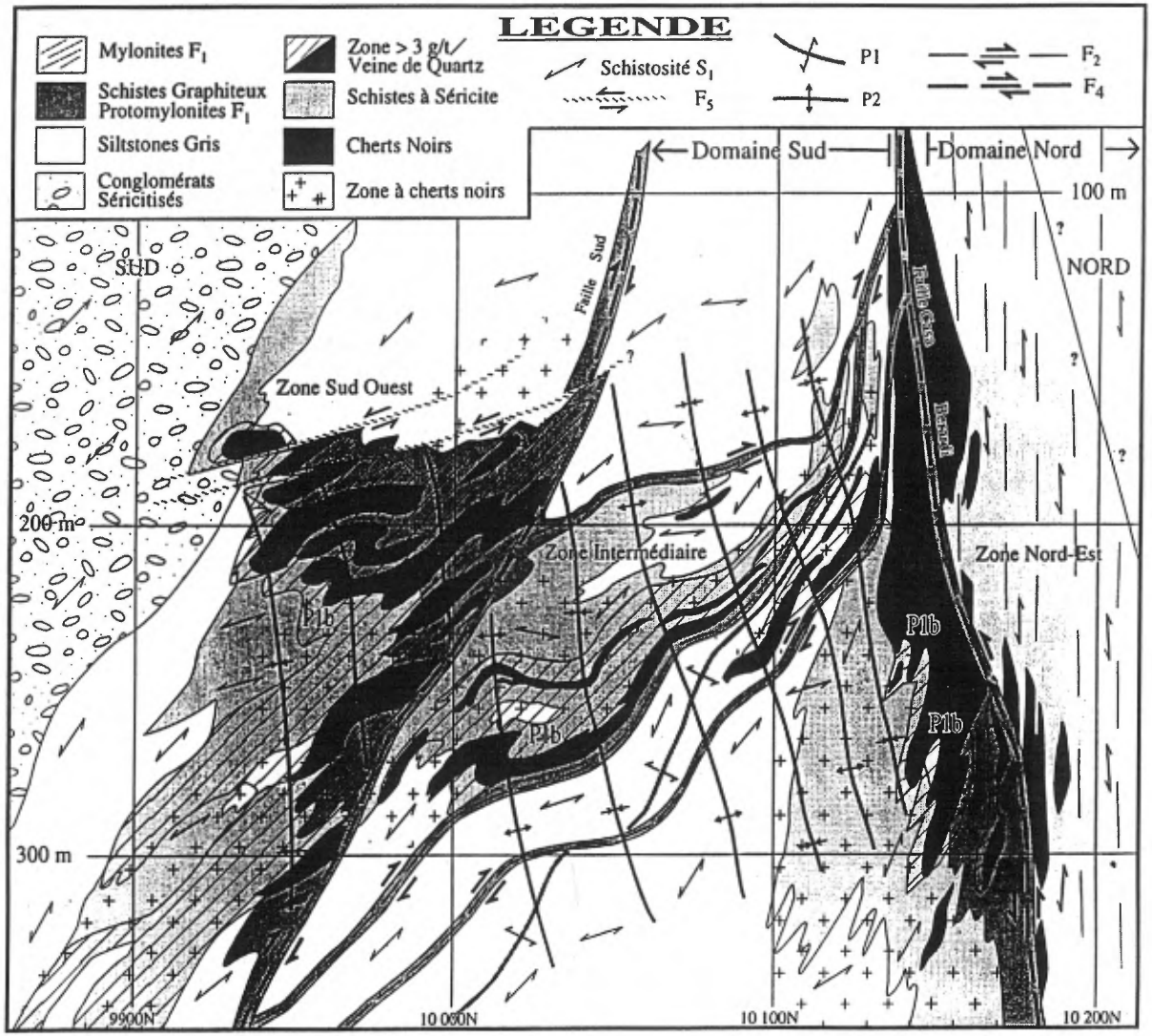


Figure 4: Section composite nord-sud (10 750E-10 850E) du gisement Casa Berardi-Ouest montrant les différents éléments structuraux et la morphologie des zones minéralisées. Noter l'influence des plissements P_2 et les plis P_{1b} affectant les veines de quartz aux points P1b marqués sur la figure.

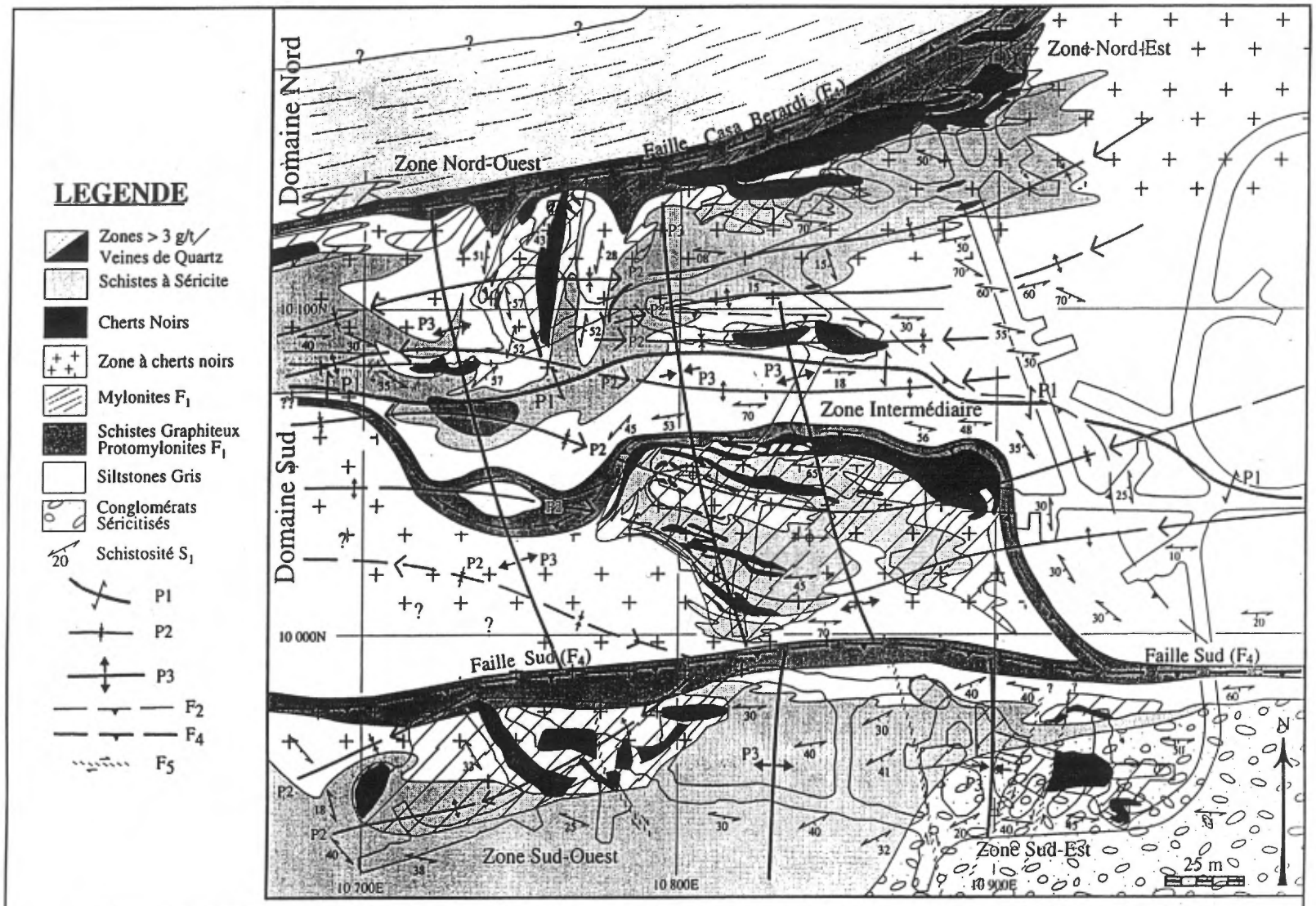


Figure 5: Géologie du niveau 250m à Casa Berardi-Ouest, montrant 5 des 6 zones minéralisées. Remarquer la position des failles F_2 et F_4 à l'intérieur des failles graphiteuses F_1, la répartition des faciès minéralisés et les patrons en dômes et bassins.

déformations tardives (D_2 et D_3) sont présentes sporadiquement et peu développées. Le débit de la roche est espacé en plaques minces centimétriques, bien que la roche soit très foliée. A l'exception des schistes graphiteux, la chlorite est le minéral métamorphique le plus abondant.

Le domaine lithotectonique Sud

Le domaine Sud représente la partie au sud de la faille de Casa Berardi (fig. 4 et 5). Il est constitué uniquement de roches sédimentaires schisteuses. On y retrouve dans sa partie méridionale une unité de conglomérat polygénique à cailloux et blocs non-jointifs (La Flèche et Camiré, 1996). On dénombre des clastes de roches sédimentaires détritiques, de volcanites mafiques et une faible proportion (2 à 3%) de clastes de chert-magnétite lités dérivés de formation de fer dans une matrice sablo-silteuse séricitisée. Les conglomérats sont invariablement non lités, mal triés, dépourvus de figures sédimentaires et de granoclassement (Pattison et al., 1986). Ces caractéristiques sont typiques des dépôts resédimentés par des coulées de débris laminaires (Mueller et Donaldson, 1992). Dans l'environnement immédiat de la mine Ouest, les conglomérats sont fortement altérés et déformés, ce qui a engendré leurs transformations en schistes à séricite, ankérite et chlorite. Seul les clastes de chert-magnétite ont résisté à cette altération.

Contrairement au domaine Nord, la majorité du domaine Sud se compose de métaturbidites à granulométrie fine, schisteuses et fissiles. Elles forment des alternances irrégulières d'argilites et de siltstones graphiteux, avec une proportion moindre de grauwackes fins. De minces horizons de schistes à graphite-quartz-pyrite-chert —schistes graphiteux (protomylonites F_1) sur les fig. 4 et 5— sont interlités avec cette séquence détritique. Une zone cartographiable comportant 15 à 40% de lits de cherts noirs se distingue dans cette séquence de dépôts flyschoïdes (fig 4 et 5). Ces lits en forme de crêpes irrégulières, varient en épaisseur de quelques centimètres à environ 4 mètres et peuvent faire plusieurs dizaines de mètres en longueur et en largeur.

A la différence des conglomérats, la séricitisation dans les sédiments fins est limitée à environ 35 mètres des zones minéralisées (fig. 4 et 5). Le graphite et la séricite sont les minéraux métamorphiques les plus abondants, la chlorite est rare sauf dans l'unité de conglomérat où elle n'affecte que les clastes de volcanites mafiques.

Au sein du domaine Sud, la foliation mylonitique S_1 est moyennement pentée (50 à 65°) vers le sud. Elle se redresse qu'en bordure de la FCB. Des zones protomylonitiques (voir plus bas) reliées à D_1 sont développées préférentiellement dans les unités de schistes à graphite-quartz-pyrite-chert ("schistes graphiteux", fig. 4 et 5). Les plis et crénulations associés aux déformations tardives D_2 et D_3 sont bien développés et affectent les zones minéralisées. La faille Sud, orientée est-ouest avec un pendage moyen de 60° vers le sud, constitue la structure cassante la plus importante du domaine sud.

Les zones aurifères

Les six zones minéralisées de la mine Casa Berardi-Ouest sont toutes spatialement associées aux failles ductiles (protomylonites) F_1 du domaine Sud (fig. 4 et 5). Les minéralisations économiques s'y répartissent sur une surface de 400 x 300 mètres et jusqu'à une profondeur connue de 600 mètres. Les zones Nord-Ouest et Nord-Est occupent l'éponte inférieure de la faille Casa Berardi, avec laquelle elles sont en contact. Les zones Intermédiaire et Intermédiaire Inférieure (non montrée) sont encaissées entre la FCB et la faille Sud. Les zones Sud-Ouest et Sud-Est sont localisées à l'éponte supérieure de la faille Sud.

Des petites zones économiques sont recensées au sein du domaine Nord à l'intérieur de la zone mylonitique et dans les schistes graphiteux en bordure de la faille Casa Berardi. Ces minéralisations ne forment toutefois pas des volumes importants et sont très irrégulières tant au niveau de la teneur en or que de leur continuité latérale.

Toutes les zones minéralisées sont formées en majorité de veines et d'amas de quartz déformés à pas déformés, contenant moins de 2% de pyrite et d'arsénopyrite. Les veines sont accompagnées de bordures d'altération ou zone de remplacements consistant en des schistes à séricite ou à des schistes graphiteux contenant des quantités variables de quartz sous forme de veinules en stockwerk, d'ankérite, de pyrite, d'arsénopyrite et d'or. Certaines zones minéralisées possèdent des unités de cherts brèchifiés par des veines de quartz-carbonates-pyrite-arsénopyrite. La teneur en or des zones minéralisées varie entre 4,5 et 12 g/t, avec une teneur moyenne de 7 g/t.

GEOLOGIE STRUCTURALE

Phases précoces et déformation majeure (D_1)

Schistosité et linéation

L'élément structural dominant autour du gisement de Casa Berardi-Ouest est la forte schistosité mylonitique S_1. Cette surface planaire très pénétrative dans toutes les unités lithologiques, se définit par l'alignement préférentiel des phyllosilicates et l'aplatissement des silicates et des carbonates. Les assemblages minéralogiques formant cette schistosité varient selon la composition de la roche affectée et le degré d'altération hydrothermale qu'elle a subi. Dans les unités métasédimentaires peu altérées du domaine Sud, la schistosité S_1 est surtout marquée par le graphite, tandis qu'à l'intérieur des métavolcanites et des métagrauwackes du domaine Nord, elle se matérialise par l'abondance de chlorite. Lorsqu'elles sont fortement affectées par le passage des fluides hydrothermaux, ces mêmes unités se transforment graduellement en schiste à séricite près des zones minéralisées, avec des quantités variables de quartz, carbonate, chlorite, graphite, pyrite, arsénopyrite, et fuschite. Le rubannement métamorphique est composé de quartz, feldspath, carbonate, chlorite, graphite, séricite, leucoxène représentatif du faciès schiste vert inférieur (Pattison et al, 1986). Ce rubannement ainsi que les éléments stratigraphiques (S_0) sont parallèles au plan S_1.

L'orientation moyenne de la schistosité S_1 varie selon les domaines structuraux. Dans le domaine Nord, elle s'oriente de N050° avec un pendage moyen de 80° vers le sud-est dans la partie nord du domaine, à N075° avec un pendage subvertical dans la partie sud adjacente à la faille Casa Berardi (fig. 6A). Dans le domaine Sud, S_1 est orientée est-ouest avec un pendage moyen de 55° vers le sud. Ce pendage moyen vers le sud de la foliation S_1 est exceptionnel dans la ZDCB et ne se rencontre que dans le domaine Sud de la mine Casa Berardi-Ouest et dans un petit secteur au N-E de la mine Casa Berardi-Est. Dans la partie nord du domaine Sud, les pôles des plans S_1 sont distribués dans la partie centrale et moyenne du canevas de Schmidt (aires égales). Cette distribution est le résultat des patrons d'interférences formés par la superposition des plis P_2 et P_3 affectant S_1 (fig. 6B).

Les linéations d'étirement L_1 contenues dans le plan de S_1 sont bien développées dans l'unité de conglomérat située dans la partie sud de la mine (domaine Sud). Cette linéation, plongeant moyennement à fortement vers l'est-sud-est (fig. 6C et 6D) est défini par l'allongement en forme de cigare de clastes de formation de fer (chert-magnétite). Les linéations minérales dans cette même unité sont subparallèles aux linéations d'étirement. Elles sont identifiables sur le plan S_1 (séricite) par des agrégats de chlorite allongés. Elles représentent possiblement des fantômes de clastes de volcanites mafiques ayant subi une intense altération hydrothermale.

Des linéations d'étirement L_1 sont aussi présentes dans des unités lenticulaires de schiste à graphite contenant des fragments étirés de pyrite et de quartz cherteux. La direction et la plongée de l'allongement des fragments sont identiques à celles mesurées sur les cailloux de formation de fer dans les conglomérats (fig. 7).

A l'intérieur de la zone mylonitique au nord de la FCB (domaine Nord), les linéations minérales L_1 plongent de 70° vers l'est à 85° vers l'ouest sur le plan de S_1 (fig. 6c). Ces linéations sont orthogonales à l'axe subhorizontal des boudins de veines de quartz en pseudo-rotation ("back rotated boudins"). Ces boudins de quartz sont présents en grand nombre dans tout le couloir mylonitique au nord de la FCB.

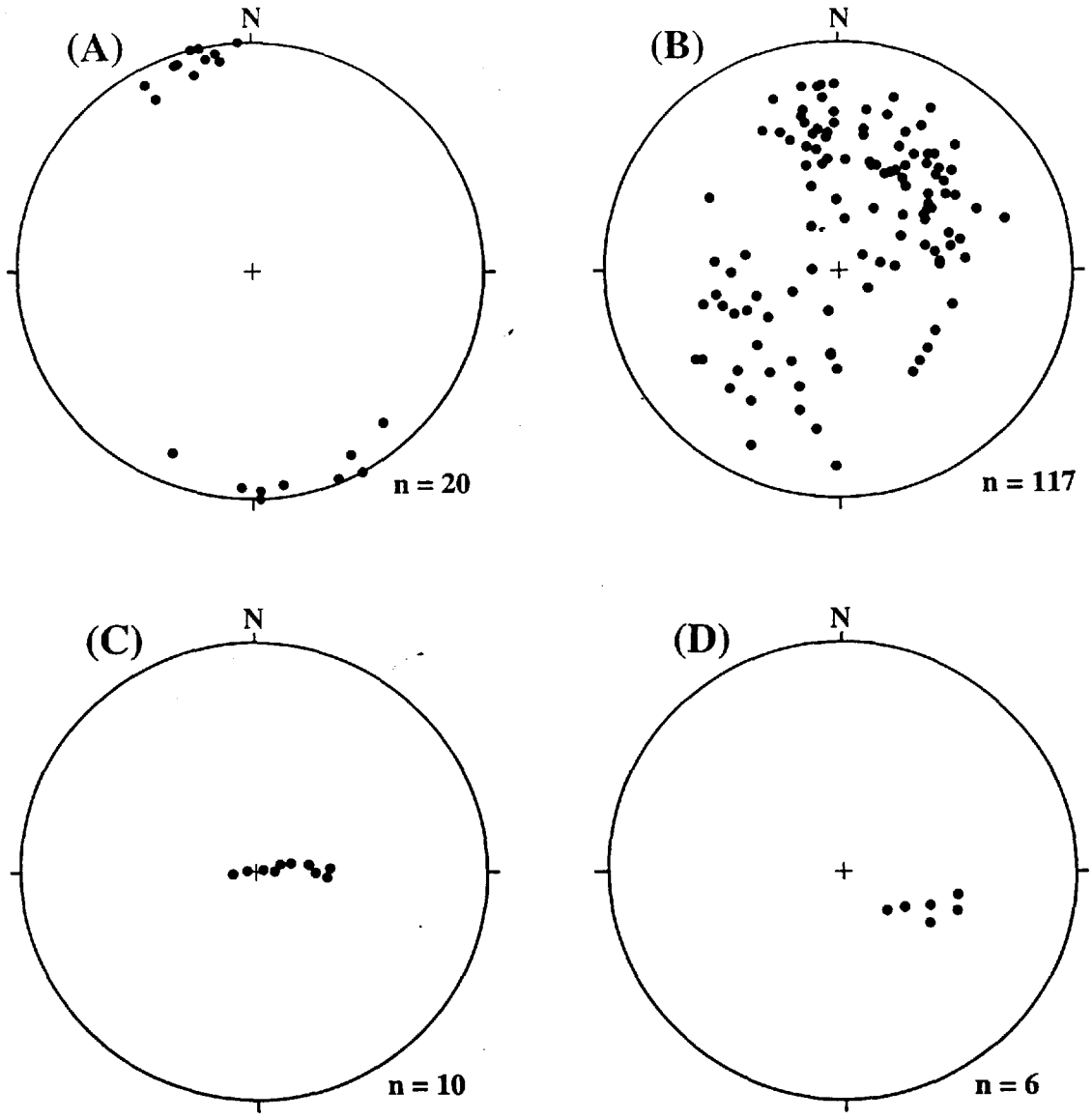


Figure 6: Projections sur l'hémisphère inférieur (canevas à aires égales) des éléments structuraux principaux de la phase D_1 enregistrée dans la ZDCB à la mine Casa Berardi-Ouest: (**A**) pôles de S_1 dans le domaine Nord; (**B**) pôles de S_1 dans le domaine Sud; (**C**) linéations d'étirement L_1^1 dans le domaine Nord; (**D**) linéations d'étirement L_1^1 dans le domaine Sud. Remarquer la distribution très différente de S_1 entre le domaine Nord (**A**) et le domaine Sud (**B**).

Ils montrent des formes asymétriques par rapport à S_1 et correspondent au type II selon Hanmer (1984) (fig. 8). Ces boudins représentent des veines de quartz originellement parallèles à la foliation mylonitique ayant subi une rotation antihoraire contrôlée par la présence de clivages en cisaillement ou "shear bands" synthétiques (Platt et Vissers, 1980) tels qu'illustrés sur la cartographie présentée à la figure 9.

Plissements

A la mine Ouest, les plis P_1 reconnus au sud de la FCB sont isoclinaux à très serrés. Ils sont asymétriques en Z ou en S et possèdent des axes subhorizontaux ou légèrement inclinés vers l'ouest. La schistosité S_1 est coplanaire avec le plan axial. Dans la majorité des secteurs, la stratification est fortement affectée par le démembrement et une transposition intense. Les plis deviennent alors difficilement identifiables. Les charnières de plis P_1 observées sont généralement déduites par un contraste de tons de gris entre des bandes de siltstones graphiteux, par la présence de minces lits de cherts d'épaisseur centimétrique à décimétrique ou de veines et veinules de quartz. Les charnières se caractérisent fréquemment par une transposition importante en pics serrés par la schistosité S_1 ou par un fort bourrage des unités incompétentes qui entraîne souvent leur démembrement le long des flancs et l'isolement des charnières (Gidon 1987, p. 95) tel que montré à la figure 10. Ces observations démontrent qu'un niveau de déformation très avancé est atteint au cours de la formation des plis P_1 par cisaillement le long de S_1 (Nicolas 1989, p. 91 et Turner & Weiss 1963).

Un pli antiforme P_1 d'échelle infra-kilométrique est mis en évidence dans le domaine Sud par la répétition d'une "unité à cherts" orientée est-ouest et qui se referme pour former une zone de charnière près de la zone minéralisée Nord-Ouest, dans la partie ouest de la mine (fig. 5). Des plis parasites asymétriques en S caractérisent le flanc sud tandis que des plis en Z sont observés sur le flanc nord. La faible plongée apparente de l'axe de pli majeur vers l'ouest identique aux plis parasites P_1 renforce l'idée d'un antiforme plongeant vers l'ouest. Le pendage vers le sud des flancs de ce plis montre un plan axial déjeté vers le nord. (fig. 4)

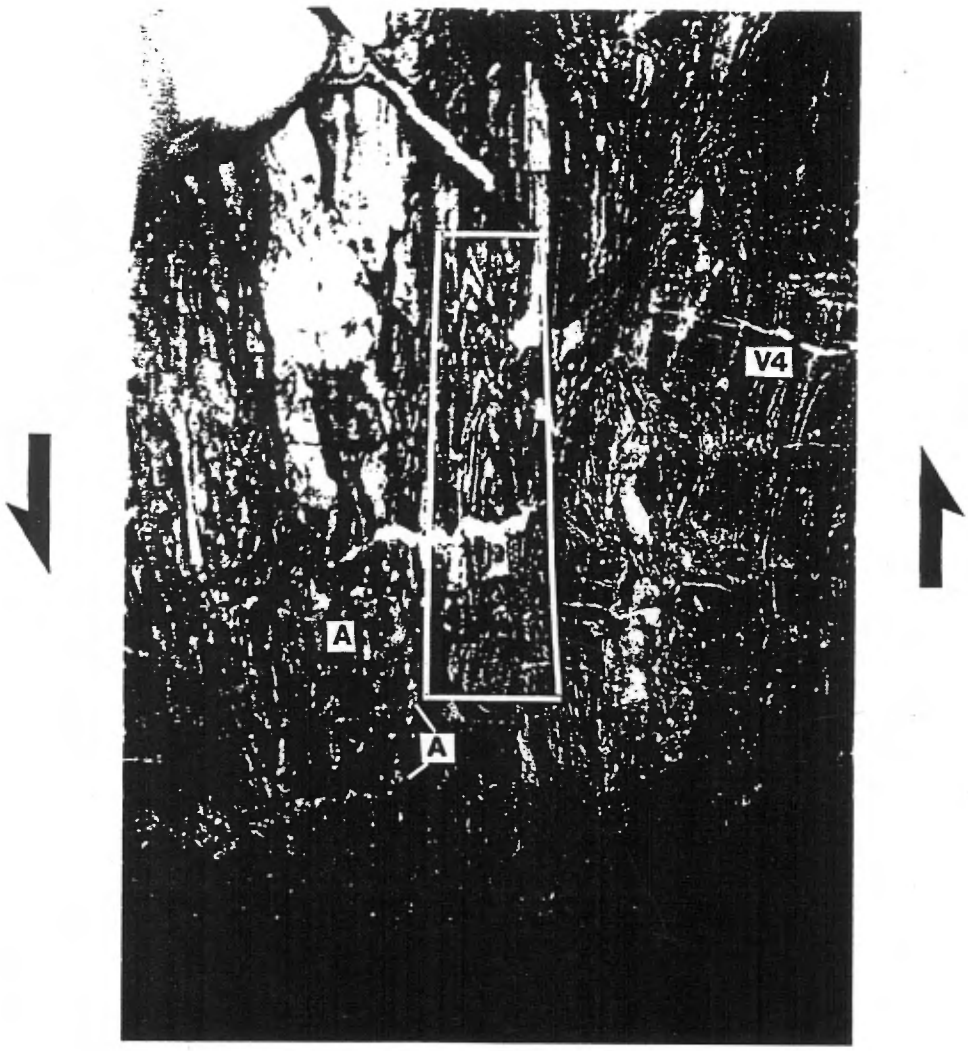


Figure 8: Zone mylonitique du domaine Nord montrant un rubannement tectonométamorphique bien développé. La partie centrale de la photo montre ce rubannement (subvertical) plissé sur lui-même, formant un pli P_{1b} isoclinal. Les boudins de veines V_{1a} en pseudo-rotation (**A**) sont très nombreux; leur asymétrie relativement à S_1 suggère un mouvement inverse (Bloc nord monte) tel que montré sur la photo. Remarquer les veines V_4 non-déformées. (Section verticale, vue vers l'ouest, niveau 150m).

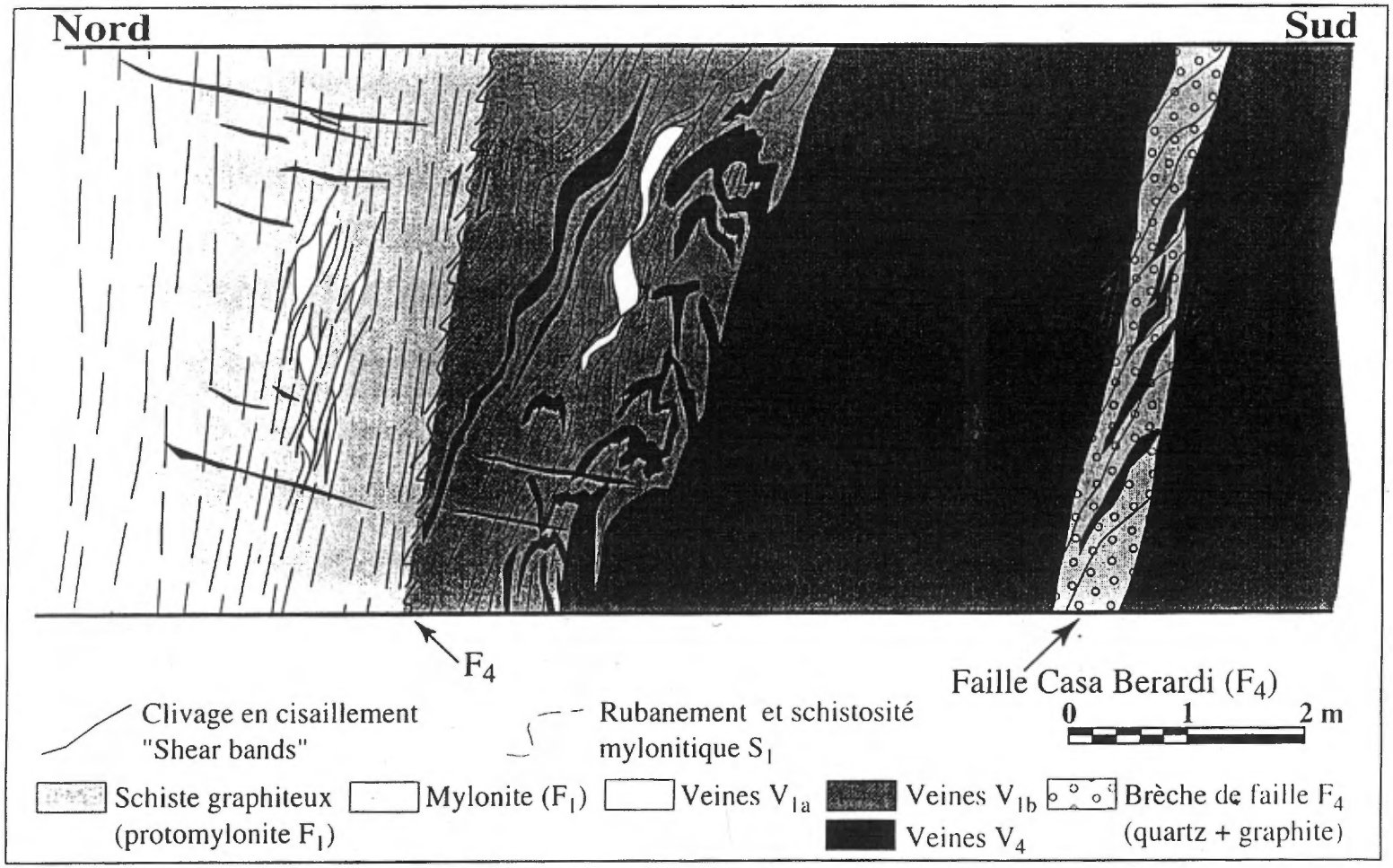


Figure 9: Cartographie d'une section de galerie (mur est) dans la zone Nord-Est au niveau 150, montrant la zone de faille mylonitique et protomylonitique F_1 du domaine Nord. Cette zone de faille ductile possède une schistosité et un rubanement mylonitique S_1 N080° à pendage abrupt vers le nord. La présence de clivages en cisaillement (shear bands) pentés vers le nord (plus faiblement que S_1) jumelés à de nombreux boudins de veines de quartz (V_{1a}) subhorizontaux en pseudo-rotation témoignent d'un mouvement inverse à vergence vers le sud le long de cette zone de faille majeure.

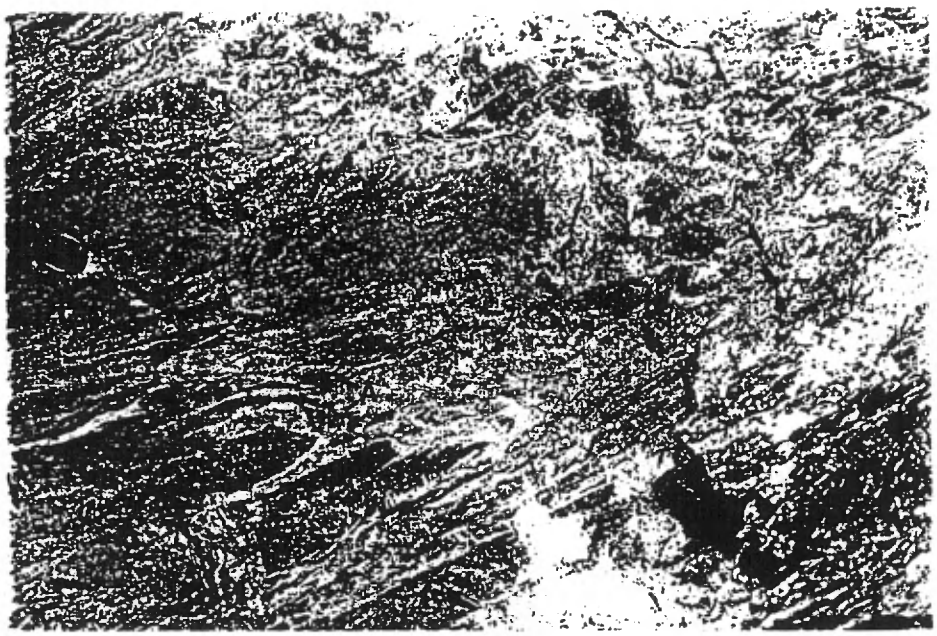


Figure 10: Plis P_{1a} asymétriques en Z affectant la stratification S_0, ici montrée par les lambeaux de cherts noirs dans un schiste à séricite. La schistosité mylonitique S_1 forme le plan axial. Au point **A** sur la figure on note la transposition de S_1 et d'une partie d'un lit de chert, suggérant l'amorce d'un pli P_{1b} et d'une nouvelle schistosité (S_1') dans une charnière de pli P_{1a}. (Section verticale, vue vers l'ouest, niveau 250m).

Dans le domaine Nord et Sud, la schistosité S_1 et le rubannement mylonitique sont plissés de manière à former des plis intrafoliaux isoclinaux d'échelle décimétrique à centimétrique (fig. 8 et 10). Leurs plans axiaux sont parallèles à l'attitude moyenne de S_1. Une faible schistosité secondaire parallèle à S_1, dite S_1', semble vouloir se développer dans certaines charnières P_{1b}, notamment dans le domaine sud (fig. 10). La plongée des axes de ces plis varie de 60 à 90° vers l'ouest dans le domaine Nord, alors que dans le domaine Sud la plongée est faible et généralement subhorizontale.

Ce type de plissement de la foliation mylonitique S_1 permet de déduire que deux phases de plis ont affecté la ZDCB au cours de D_1. Une première phase de plis précoces dit P_{1a}, plus important en terme d'échelle et d'implication tectonique et dont le plan axial est formé par la foliation mylonitique S_1 et une phase de deuxième génération, dit P_{1b}, plissant la foliation mylonitique et les plis déjà existants.

Ces plis (P_{1b}) semblent géométriquement similaires aux plis "F_{1b}" décrits dans la zone tectonique de Cadillac au sud-est de Val d'Or par Robert (1989b) et dont la chronologie et la nomenclature est retenu ici. On attribue la formation de tels plis par un mouvement de glissement cisaillant continu sur la foliation mylonitique préexistante (Platt, 1983). Des plis en fourreau sont fréquemment générés dans un tel contexte tectonique (régime ductile en cisaillement). Aussi, la plongée variable des axes de plis P_{1b} (subverticale à subhorizontale) comparativement aux plongées régulières des linéations d'étirement vers l'est suggère une nature en fourreau pour les plis P1b dans le secteur de la mine Casa Berardi-Ouest.

Failles ductiles

La partie sud du domaine Nord est caractérisée par une bande de roches très altérée et montrant une intensité de déformation plus élevée comparativement à l'ensemble de la zone étudiée (fig. 4, 5, 8 et 9). La largeur de cette zone interprétée comme une faille ductile majeure (F_1) est incertaine; elle dépasse les 50 m en largeur et pourrait faire jusqu'à 150m. Les extensions latérales sont mal connues mais

possiblement d'ordre kilométrique. La foliation mylonitique S_1 est subverticale et très bien développée, de même qu'un rubannement minéralogique millimétrique (jusqu'à 15 mm) où alternent des bandes composées de quartz-séricite-chlorite-ankérite-graphite en proportions variables. Des boudins de veines de quartz subhorizontaux en pseudo-rotation (Hanmer et Passchier 1991; Nicolas, 1989), des cisaillements secondaires C' ou "shear bands" synthétiques (Platt et Vissers 1980) pentés fortement vers le nord, jumelés à des linéations minérales subverticales sur le plan de schistosité S_1 suggèrent un mouvement inverse du bloc nord sur le bloc sud le long de la structure mylonitique est-ouest. Des plissements tardifs (P_{1b}) décrits plus haut plissent de façon tardicinématique la foliation mylonitique.

On retrouve dans le domaine Sud quelques zones de failles ductiles à ductiles-cassantes F_1 représentées par des schistes graphiteux avec de très nombreux boudins, nodules ou fragments étirés de quartz cherteux et de pyrite massive (fig. 7). Ces unités, décrites comme des formations de fer exhalatives sulfurées graphiteuses par Pattison et al., (1986), semblent dessiner un patron anastomosé en plan et en section (fig. 4 et 5). Elles ont été fortement déformées comme le montre la fragmentation, le boudinage et l'étirement des lits de cherts et de pyrite. La grande différence de compétence entre les lits de chert et de pyrite comparativement aux lits de schistes graphiteux pourrait être la cause de la fragmentation des niveaux compétents et de la formation d'une texture d'apparence cataclastique plutôt que mylonitique comme dans le cas de la zone de mylonite du Domaine Nord. Le terme protomylonite pourrait s'appliquer à ces zones de failles F_1 du domaine Sud.

Phases de déformations tardives (D_2-D_5)

Clivages de fractures et linéations

À la mine Ouest, deux clivages de crénulation affectent la schistosité S_1 (fig. 11a et 11b). Le premier, S_2, est un clivage de crénulation espacé de 1 à 5 millimètres. Il possède une direction moyenne vers le sud-ouest et un pendage fort à moyen vers le

nord-ouest. Il est retrouvé partout au sud de la FCB où il affecte notamment les unités silto-argileuses riches en graphite et les unités séricitisées plus schisteuses. Le clivage S_2 est particulièrement bien développé dans les charnières de plis P_2 où il forme le plan axial de ces plis (fig. 12). Il est alors fréquemment réfracté et son attitude varie grandement, surtout le pendage qui peut osciller de 80° vers le sud-est à 60° vers le nord-ouest. La linéation L^1_2 plongeant en moyenne à 35° vers N235° est colinéaire avec les axes de pli P_2.

Un troisième clivage S_3 orienté N340°/80° est aussi observé sur S_1, mais de façon plus modeste. Sa présence est locale et généralement restreinte aux charnières de plis P_3 dont il forme les plans axiaux (fig. 11b). Les clivages S_2 et S_3 ne sont que très faiblement développés dans le domaine Nord.

Plissements

Une série de plis asymétriques en Z P_2, orientés N070°-N250°, est associée au clivage de crénulation S_2 (fig. 11a). Ils plissent la foliation mylonitique S_1 ainsi que les zones minéralisées (veines de quartz V_{1b} et zones de remplacements; fig. 4 et 13). Ces plis sont ouverts à fermés, non-cylindriques et possèdent une longueur d'onde variant de la dizaine de centimètres jusqu'à une quinzaine de mètres. Les plans axiaux sont déjetés vers le sud et les axes de plis moyens plongent modérément à 35° vers le sud-ouest ou plus rarement vers l'est-nord-est (fig. 5 et 11c). Cette opposition de la direction des axes de plis P_2 est causée par une troisième phase de plis ouverts P_3 qui replisse toutes les structures préexistantes. Ces plis P_3, de nature cylindrique, ont des axes de plis plongent faiblement (20° à 30° en moyenne) vers le sud-sud-est (fig. 5 et 11d). Les axes P_3 sont colinéaires avec les axes de plis en kink, ces kinks formant des structures en bandes ("kink bands") conjuguées.

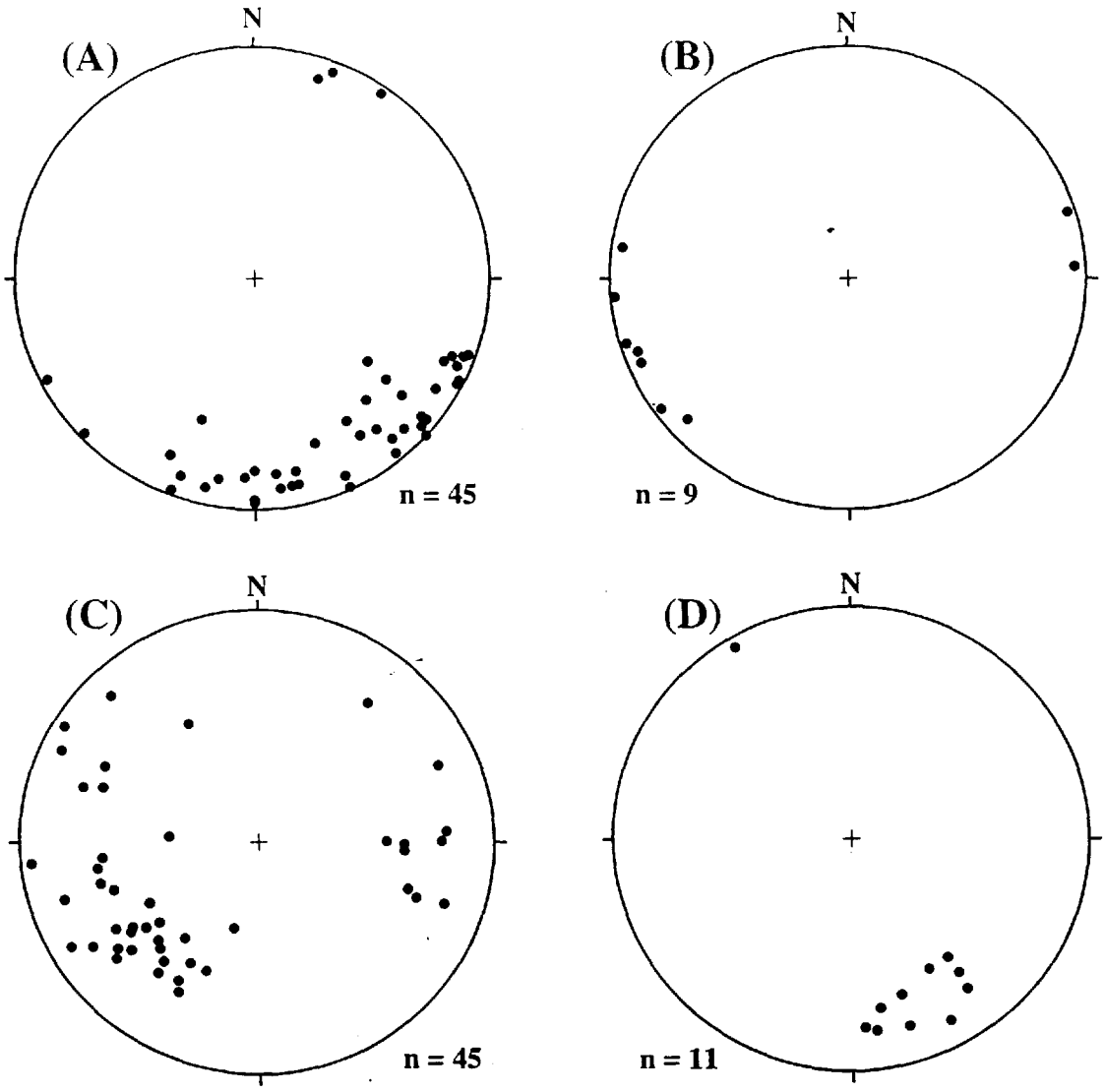


Figure 11: Projections sur l'hémisphère inférieur (canevas à aires égales) des éléments structuraux principaux des phases D_2 et D_3 enregistrées dans la ZDCB à la mine Casa Berardi-Ouest: (**A**) pôles de S_2 ; (**B**) pôles de S_3 ; (**C**) axes de plis P_2 ; (**D**) axes de plis P_3. Noter l'opposition de 180° dans l'orientation des axes P_2 et la relation orthogonale entre les pôles moyens des axes P_2 et P_3.

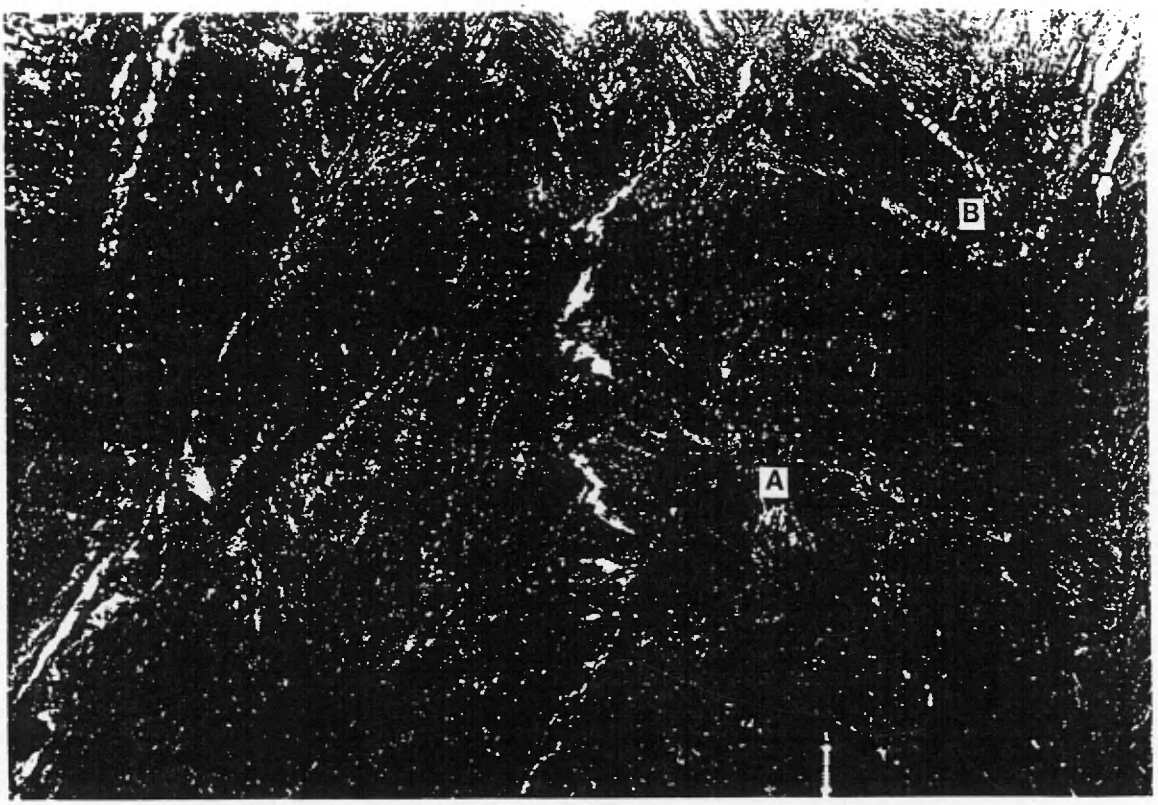


Figure 12: Gros plan sur une zone de charnière d'un pli P_2 faiblement plongeant vers l'ouest développé dans un schiste à séricite minéralisé. La surface S_1 (tracée en rouge) est plissée, de même que les veinules de quartz V_{1b}. Le clivage S_2 forme le plan axial. Noter au point **A** et **B** sur la photo, l'angularité entre les veinules V_{1b} et S_1. (Section verticale, vue vers l'ouest, niveau 250m).

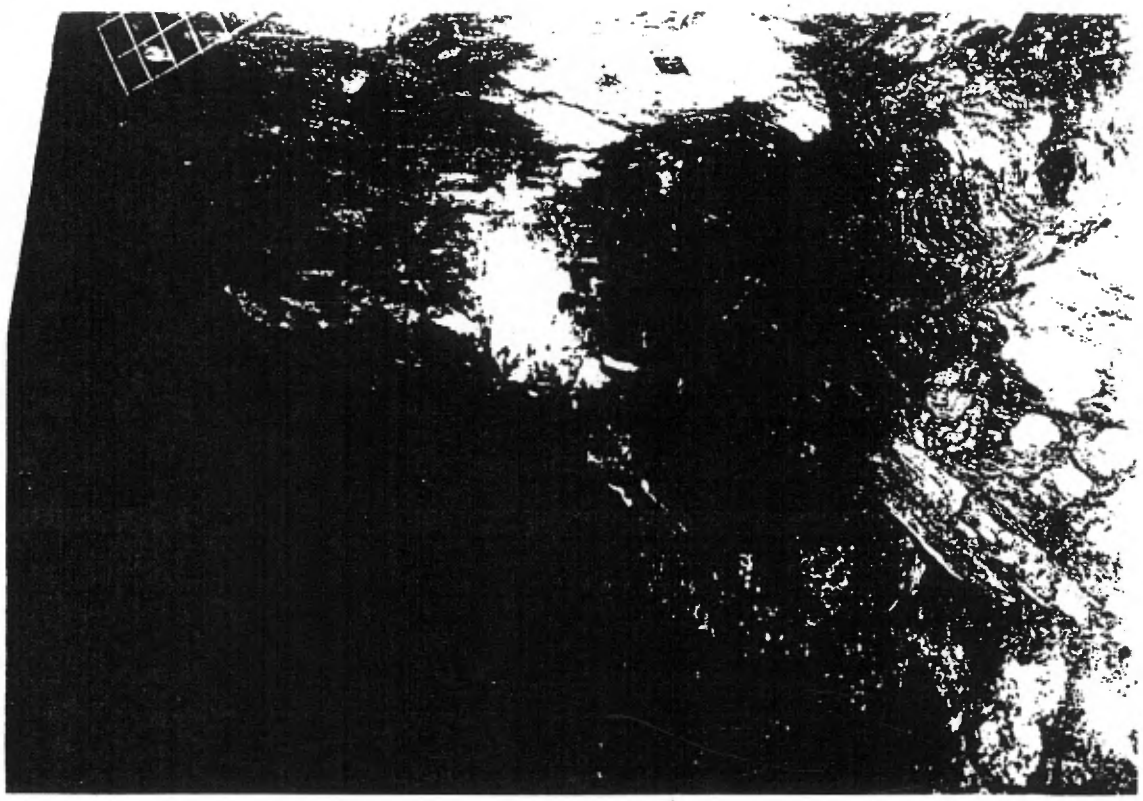


Figure 13: Pli P_2 d'échelle plurimétrique. Ces plis affectent la schistosité S_1 ainsi que les zones minéralisées. Noter le plissement du rubannement parallèle à S_1 dans la veine de quartz (dans le bas à gauche de la photo). Les boulons d'ancrage au plafond de la galerie font 18 cm. (Vue vers l'est niveau 220m).

Failles

Quatre périodes de fracturation marquées par le développement de failles fragiles-ductiles (F_2 à F_5) se sont succédé à la mine Ouest. La famille F_2 (restreinte au domaine Sud) est représentée par de nombreux plans de failles parallèles à subparallèles à la schistosité S_1 (fig. 4 et 5). Elles sont postérieures aux structures reliées à D_1 et à la mise en place des veines de quartz aurifères mais plissées par les plis P_2. Les plans de failles sont généralement minces, souvent inférieurs à 3 cm, mais pouvant aller jusqu'à 20 cm dans de rares cas. L'épaisseur variable des plans de failles est souvent proportionnelle au contenu en graphite de la roche fracturée; un contenu élevé en graphite facilitant le broyage de la roche et la formation de plans de failles plus épais. Les indicateurs cinématiques, tel les plis d'entraînement et des lambeaux préservés dans la brèche de faille montrant des structures C/S suggèrent des mouvements inverses à vergence vers le nord. Les rejets de ces failles sont variables, pouvant aller de la dizaine de centimètres à 20 ou 30 mètres, mais ne sont pas connus de façon exacte par manque de repères fiables. Une fois plissées par P_2, ces failles F_2 dessinent à l'échelle métrique des structures anastomosées ou des chevauchements imbriqués de type rampes et paliers (Mercier et Vergely 1992). Certaines représentent probablement des plans de fractures de glissement reliés à la formation des plis P_2.

Dans de rares cas, des veines de quartz et de carbonates (ne portant pas de valeurs aurifères) s'injectent dans des failles est-ouest décrochantes dextres ou senestres parallèles au plan axial des charnières de plis P_2 (70 à 80° vers le nord). Ces failles mineures (F_3) à rejets métriques sont postérieures aux plis P_3 et probablement antérieures aux failles normales F_5 (voir plus loin). Leurs relations temporelles avec les grandes failles cassantes régionales telles la FCB et la faille Sud (F_4) ne sont pas connues de façon précise, puisque aucune relation de recoupement n'a pu être observée.

En certains endroits où les plis P_2 sont plus serrés, ils sont recoupés parallèlement par une série de failles fragiles-ductiles (F_4) de direction est à est-nord-est. Ces failles, bien que moins nombreuses que les failles pré-P_2, sont beaucoup plus

importantes en termes de continuité et de rejet. La faille Sud et la faille Casa Berardi (fig. 4 et 5), font partie de ce groupe. Les stries de glissement verticales et les structures C/S préservées dans les plans de ces failles montrent des rejets inverses.

Dans le domaine Sud, les failles F_4 s'inclinent vers le sud mais plus fortement que la schistosité S_1, soit 65° en moyenne. La faille Sud, qui fait environ 4 Km de long, est la plus importante des failles du domaine Sud. La faille Casa Berardi qui s'étend en longueur sur au-delà de 40 Km (Lacroix et Sawyer 1995), a un pendage de 80° vers le Nord dans le secteur de la mine Ouest. Vers le niveau 450 mètre sous-terre, le pendage de la FCB s'incurve et passe de subvertical à 80° vers le sud. La valeur exacte des rejets verticaux de la FCB et de la faille Sud ne sont pas connus en raison de l'absence de repère stratigraphique. Pour la FCB, il est évalué qualitativement à un minimum de 500 mètres en raison de la nette disparité entre les éléments structuraux et lithologiques du domaine Nord et du domaine Sud situés de part et d'autre de cette faille à la mine Casa Berardi-Ouest.

Le serrage plus important des plis P_2 près de ces failles suggère *i)* que ces plis ont soit été réutilisés en plis d'entraînement lors du chevauchement ou *ii)* que ces failles auraient été activées avant la fin du plissement P_2 comme un système de plis-failles en relation continue. Deux arguments militent en faveur de la première hypothèse.

Premièrement, on note que dans le domaine Sud, les failles inverses de type failles Sud (F_4) sont inclinées de 55 à 70° vers le Sud et recoupent les plans axiaux P_2 pentés fortement vers le Nord (fig. 4). Bien que la faille Casa Berardi soit parallèle aux plans axiaux P_2, les données provenant des trous de sondage montrent que la FCB recoupe la faille Sud à 400 mètres à l'ouest par rapport au centre du gisement.

Deuxièmement, les plis P_3 associés à une compression est-ouest et orthogonaux aux plis P_2 sont recoupés par les failles inverses de type failles Sud et FCB (F_4) associées à une compression nord-sud. Ces relations de recoupement montrent que ces failles importantes au niveau local et régional sont des événements cassants tardifs n'ayant que peu de relations avec la phase plicative P_2 et que ces derniers ont

probablement été seulement réactivés en plis d'entraînement au voisinage des failles inverses tardives.

Les failles post P_2 et P_3 ont utilisé des zones à fort contraste de compétence propices à leur mise en place comme la présence de bandes graphiteuses, une orientation favorable du grain tectonique ou d'autres structures préexistantes telles les zones de charnières P_2.

Un système conjugué de failles normales orientées nord-sud (F_5) recoupent toutes les structures enregistrées par la ZDCB observées à la mine (fig. 4 et 5). Les failles pentées vers l'ouest possèdent une composante mineure senestre, tandis que les failles pentés vers l'est possèdent une composante mineure dextre. Les rejets sont de 4 à 6 mètres en moyenne, bien que certains pourraient faire quelques dizaines de mètres.

Patrons d'interférence

Deux types de patrons d'interférence sont générés par la superposition des plis P_2 sur P_1 et des plis P_3 sur P_2.

L'interférence des plis en Z P_2 sur les plis P_1 forme un style de patron apparenté aux types intermédiaires 3F (convergent-divergent) et 1B (dôme et bassin) de Ramsay et Huber (1987). Ce patron d'interférence P_2/P_1 est déduit de l'angle formé (25 à 50° antihoraire) entre les plans axiaux et les axes de pli de la phase P_2 qui se surimpose à la phase P_1. Cette relation P_2/P_1 est aussi reconnaissable en plan à l'échelle de la mine par les ondulations en Z de l'unité à cherts, unité qui matérialise un pli antiforme P_1 majeur (fig. 4 et 5). La schistosité S_1 et la trace axiale P_1 montre également les mêmes ondulations. L'identification d'un patron d'interférence clair marquant une tendance vers le type 3 ou vers le type 1 de Ramsay et Huber (1987) est difficile en raison des nombreuses failles chevauchantes F_2 qui délamine l'unité à cherts avant la phase de plissement P_2 et de la superposition des plis P_3 sur les patrons P_2/P_1.

Le plissement des plis P_2 par les plis P_3, suborthogonalement à leurs plans axiaux et axes de plis, produit des ébauches de patrons d'interférence en "dômes et bassins" (type 1, Ramsay et Huber, 1987). La schistosité S_1, les veines de quartz et les contacts entre les différentes zones d'altération visibles matérialisent les effets de dômes et de bassins tel que montré à la fig. 5. Les traces axiales des plis P_2 demeurent la plupart du temps rectilignes en vue de plan, bien qu'elles soient parfois légèrement ondulantes (zone Intermédiaire, fig. 5), ce qui montre la relation orthogonale entre P_3 et P_2 n'est pas toujours respectée et que des patrons d'interférence de type mixtes sont alors créés. Toutefois, la nature asymétrique et la position dans l'espace des plis P_2 à la mine Casa Berardi-Ouest ne permet pas d'observer le phénomène de fermeture parfaite des dômes et des bassins en vue de plan commune à la cartographie dans les mines. Une section parallèle à la surface enveloppante des plis P_2 serait plus adéquate pour obtenir la meilleure vue possible des patrons d'interférence P_3/P_2.

Chronologie des veines

Le système de veines V_{1a}

Les veines V_{1a} sont des veines stériles en or composées de quartz blanc ou grisâtre avec 5 à 15% de carbonates. Elles sont peu épaisses, soit de 0,5 à 3 cm en moyenne avec un maximum de 15 cm. Toujours fortement déformées, les veines V_{1a} sont habituellement subparallèle à S_1 et montre un boudinage important; les boudins sont moulés par S_1 et très fréquemment détachés les uns des autres (fig. 8, 9 et 14). Pour cette raison, leur longueur moyenne n'est pas connue. L'axe long des boudins de veines V_{1a} est soit parallèle ou perpendiculaire à la linéation d'étirement L_1. Les boudins perpendiculaires à L_1 sont très souvent obliques par rapport à la trace de la veine (fig. 9). Cette relation angulaire est due à la rotation antihoraire des boudins (pseudo-rotation) relativement à la rotation horaire de la veine et de la roche encaissante (Hanmer et Passchier, 1991; Nicolas, 1989) dans le plan XZ de l'ellipsoïde de déformation D_1 (section nord-sud). Les boudins de veines V_{1a} parallèles à L_1 ne montre pas d'obliquité et possèdent la plupart du temps une forme symétrique en coupe



Figure 14: Photographie montrant une section perpendiculaire à l'axe long d'un boudin de veine V_{1a}. La section correspond au plan YZ de l'ellipsoïde de déformation finie, l'axe long du boudin étant parallèle à la linéation d'étirement subverticale. Remarquer la forme symétrique du boudin, la schistosité S_1 formant le plan miroir. (niveau 300m).

perpendiculaire à leur allongement, ce qui suggère que la composante directionnelle du cisaillement était minime au cours de D_1 (fig. 14).

Dans le cas où les veines et veinules V_{1a} sont à angle avec S_1, celles-ci sont alors fortement lacérées et plissées isoclinalement par S_1. Ces plissements sont asymétriques et leurs axes habituellement subhorizontaux. Les veines V_{1a} plissées étaient probablement des veines qui au départ formaient un angle prononcé par rapport à S_1 et plissées ensuite par le raccourcissement nord-sud continu sur S_1.

Le système de veines V_{1b}

Les veines V_{1b} possèdent de nombreuses similitudes géométriques avec les veines V_{1a}. Elles sont toutefois aurifères et forment la majeure partie (50-85%) du volume des zones économiques. Les veines V_{1b} se composent de quartz, graphite, ankérite, séricite, pyrite et arsénopyrite. Elles possèdent, contrairement aux veines V_{1a}, des zones d'altération hydrothermale visible à leurs bordures et comprennent aussi de nombreux fragments de roches encaissantes (fig. 15 à 19). Habituellement de forme lenticulaire, leurs dimensions sont très variables; l'épaisseur pouvant faire quelques centimètres à une dizaine de mètres, la longueur variant de quelques mètres jusqu'à cent cinquante mètres. La grande majorité des veines V_{1b} semblent spatialement associées à des zones de failles protomylonitiques localisées dans des unités de schistes à graphite-quartz-pyrite fortement déformées du domaine Sud. Les veines recoupent les contacts lithologiques (ex. zone Sud-Est, fig. 5), ainsi que les plis majeurs P_{1a} (fig. 4).

Les veines V_{1b} montrent de nombreuses évidences texturales et structurales de déformation d'intensités variables acquises pendant la phase D_1. Elles possèdent un rubannement mylonitique important parallèle à S_1 (fig. 15) et sont de plus boudinées parallèlement et perpendiculairement à L_1, bien que moins fortement que les veines V_{1a}. Les veines V_{1b} sont concordantes en plan à S_1, mais subparallèles à nettement discordantes en coupe nord-sud perpendiculaire à S_1. Cette relation angulaire V_{1b}-S_1 en section (plan XZ de l'ellipsoïde de déformation) est causée par des plissements

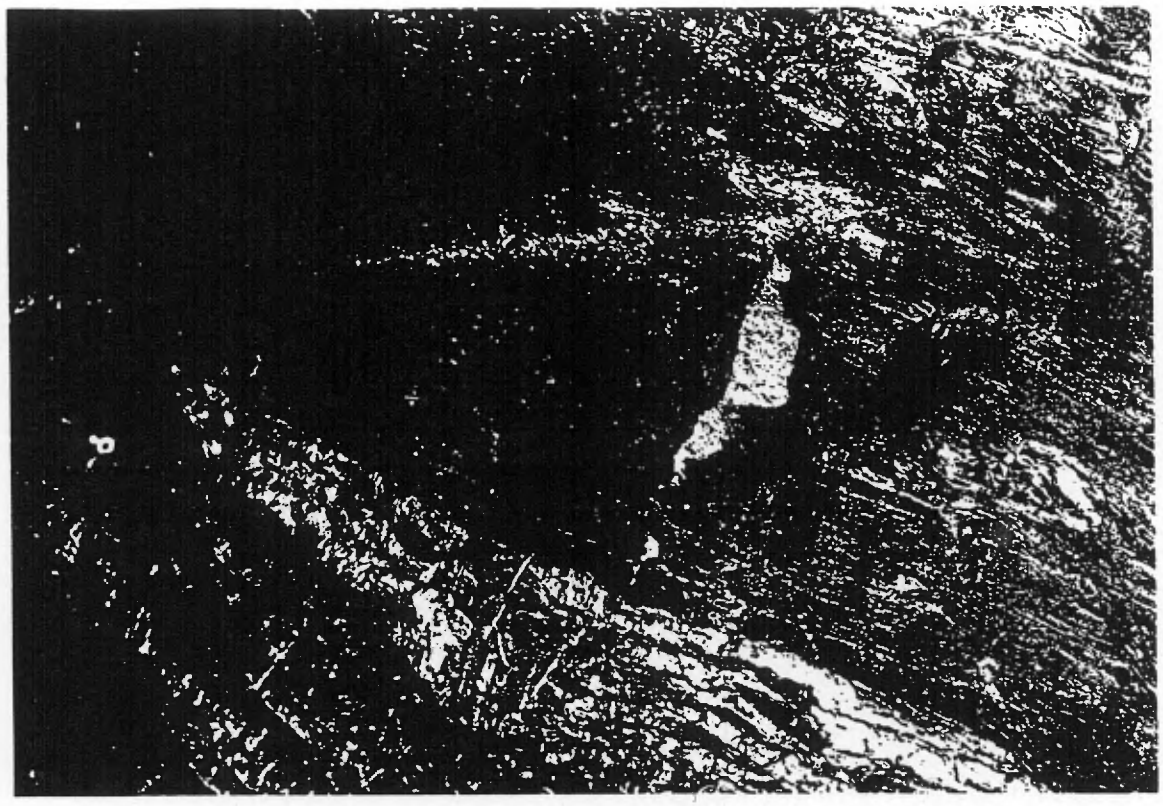


Figure 15: Veine de quartz V_{1b} concordante à S_1 comportant 10 à 20% d'enclaves de métasédiments graphiteux minéralisés et foliés. La foliation dans les enclaves est ici parallèle à la schistosité S_1 dans l'unité de schiste à séricite et cherts minéralisés à l'éponte supérieure. (Mur de galerie, vue vers le sud, niveau 265m).

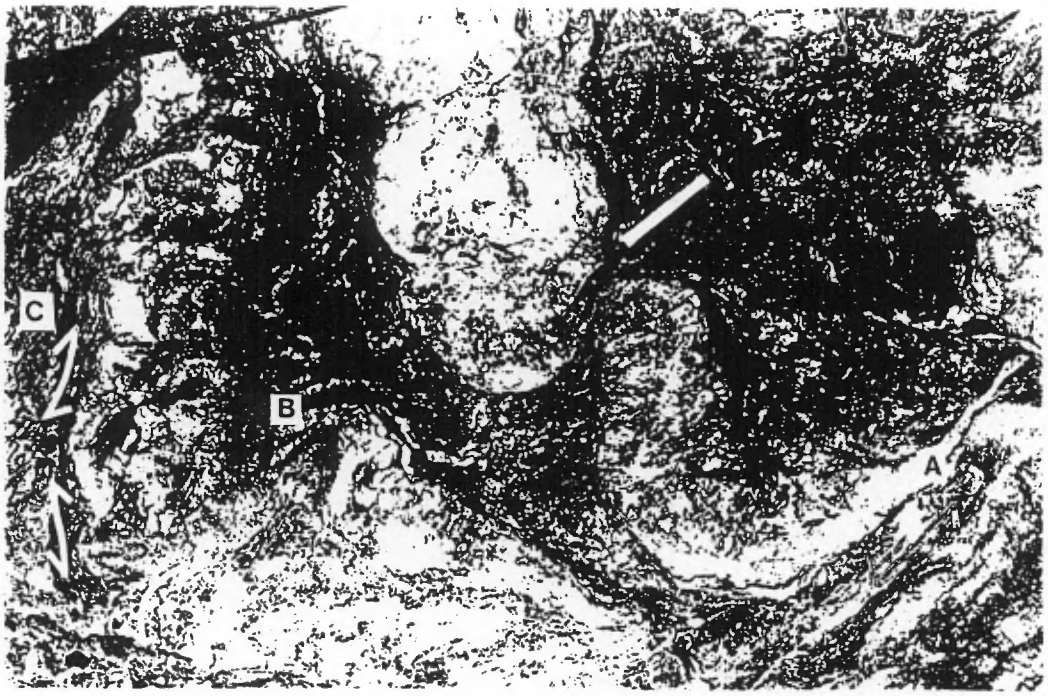


Figure 16: Zone de charnière de pli P_{1b} affectant une veine de quartz aurifère V_{1b}. La schistosité S_1, parallèle à la veine sur les flancs du plis (points **C**), est plissée et recoupée avec la veine dans la charnière par une schistosité secondaire S_1' coplanaire à S_1 (en rouge aux points **A** et **B**). L'altération en séricite des métasédiments est typique de l'éponte supérieure (en bas et à gauche de la photo), tandis que la veine contient des fragments d'encaissant graphiteux. (Mur ouest de galerie, niveau 200m).

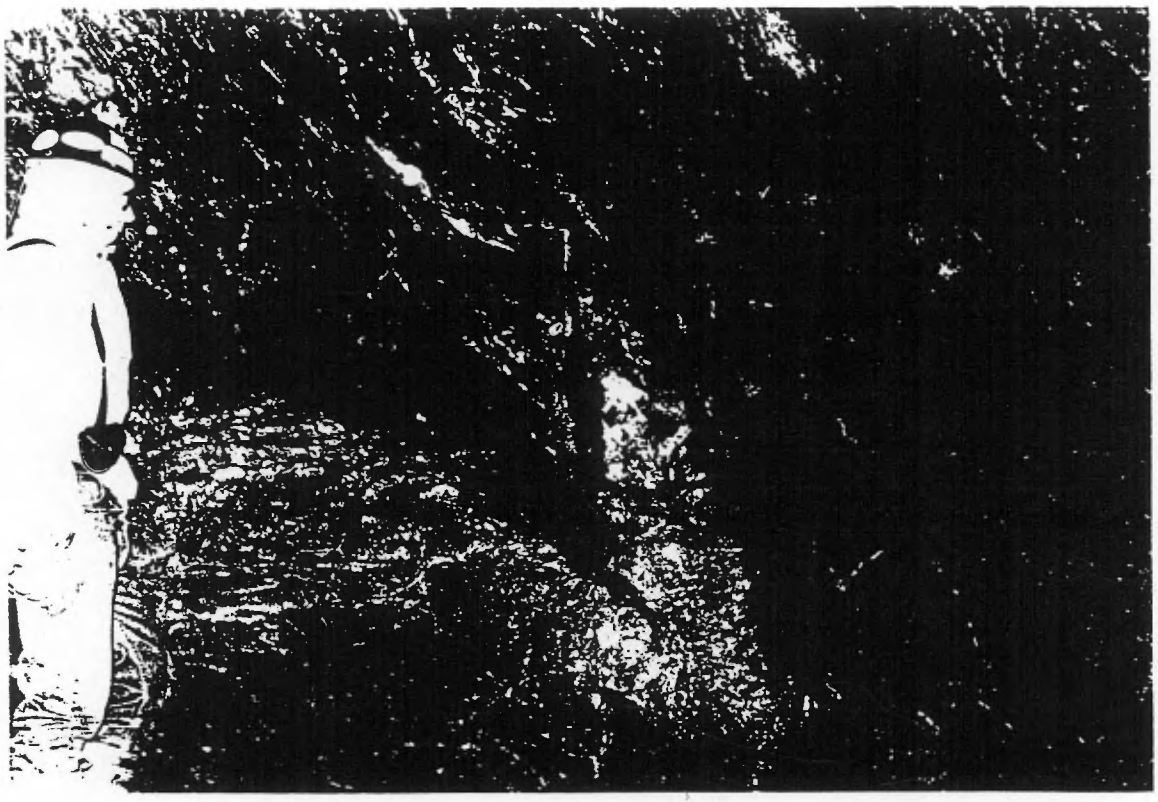


Figure 17: Coupe nord-sud montrant la relation angulaire entre les veines V_{1b} et S_1. La veine est plissée (P_{1a}) et la schistosité S_1 forme le plan axial dans la zone de charnière. Sur les flancs du pli, S_1 et les bordures de la veine forment toujours un angle de 10° à 30°. Le fait que la veine soit toujours à angle par rapport à S_1 malgré sa transposition, suggère que cette veine s'est probablement mise en place dans une structure en extension. (Vue vers l'est, niveau 220m).

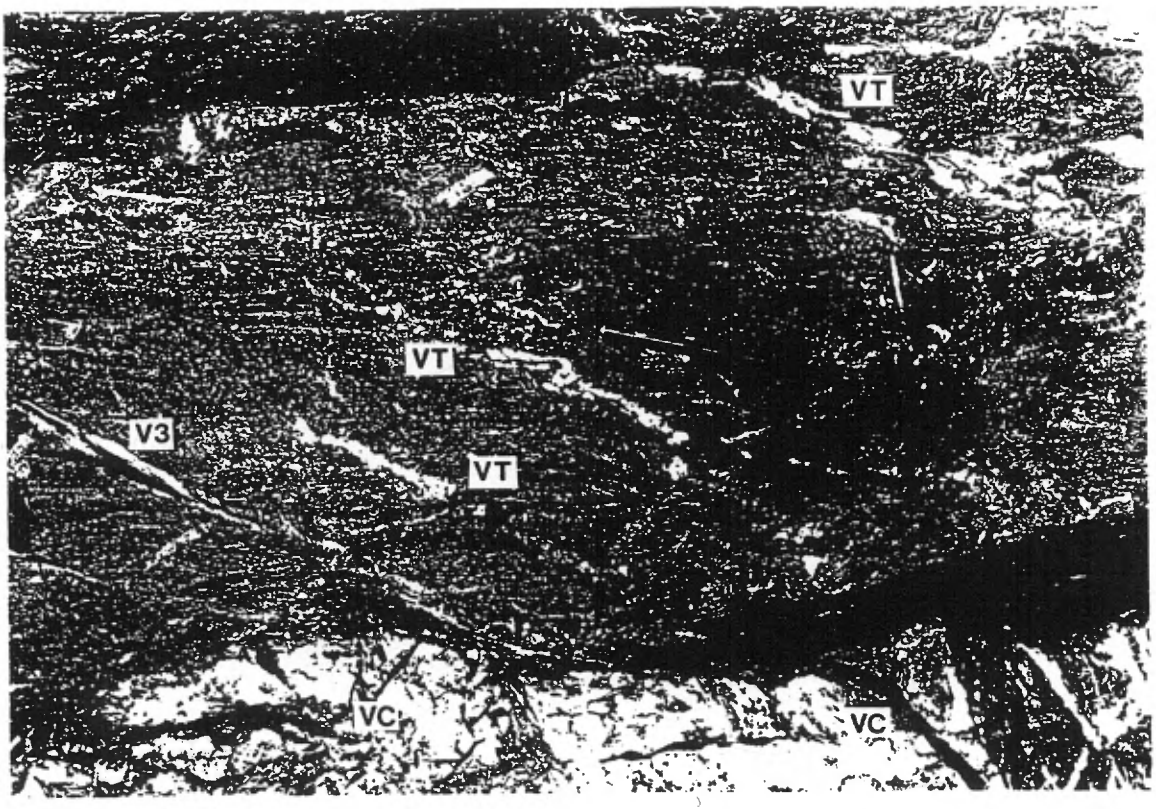


Figure 18: Veinules V_{1b} disposées à angle par rapport à S_1 (VT) et reliées à une veine V_{1b} subparallèle à S_1 (VC). Les veinules VT ont été transposées par S_1 tandis que la veine VC n'a été que boudinée. Cette relation VC et VT suggère un système déformé de veines en cisaillement (VC) jumelées à des veines de tensions (VT). Noter: 1) les textures de recristallisation et les stylolithes de graphite dans les veines 2) la veine de type V_3 (V3). (Section horizontale, niveau 250m).

asymétriques plus ou moins forts et distribués irrégulièrement le long des veines V_{1b} (fig. 16 et 17). La schistosité S_1 est fréquemment plissée en partie avec les veines V_{1b} ou réfractée en bordure des veines dans les zones de charnières (fig. 16). Dans ce cas, les veines sont toutefois parallèles à S1 sur les flancs. Ces plis affectant les veines V_{1b} seraient donc majoritairement apparentés au type P_{1b}. La schistosité formant le plan axial dans les charnières de ces plis serait donc possiblement un type de schistosité secondaire S_1' tel que discuté plus haut (p. 26). Cette transposition des veines V_{1b} est visible autant en lame mince qu'à l'échelle métrique (fig. 16) et décamétrique (fig. 4).

Ce type de plissement est aussi montré par l'entrainement et la transposition par S_1 de veinules et de veines disposées et reliées à angle fort à des veines V_{1b} plus épaisses et subparallèles à S_1 (fig. 17 et 18). Cette géométrie s'apparente idéalement à un système de veines en extension et en cisaillement déformé et plissé dans un contexte de cisaillement ductile à ductile-fragile.

Plus rarement, les veines V_{1b} forment la matrice de brèches hydrauliques ou des réseaux de veines (stockwerks) développés à l'intérieur de lambeaux d'horizons de cherts (10 à 200 cm d'épaisseur) boudinés et transposés par S_1 (fig. 19). Les fragments de cherts dans ces structures de brèches possèdent ces évidences de déformation (recristallisation, foliation mylonitique) alors que la texture des brèches et des réseaux de veines et de veinules minéralisées n'ont subi que peu ou pas de déformation. La nature plus compétente des horizons de cherts relativement aux métaturbidites très schisteuses au moment de la mise en place du système de veines V_{1b}, expliquerait la formation de textures de veines de type fragile à l'intérieur des lambeaux de cherts et la bonne préservation de ces textures de la déformation subséquente.

Enfin, la présence de fragments déformés et schisteux à l'intérieur de brèches hydrauliques ne montrant que peu ou pas de déformation, jumelée aux évidences de plissements reliés à D_1 dans les cas des veines encaissées dans les métaturbidites, tendent à démontrer que la mise en place du système de veines V_{1b} aurifères à la mine Casa Berardi-Ouest s'est probablement déroulée pendant la phase de déformation D_1.

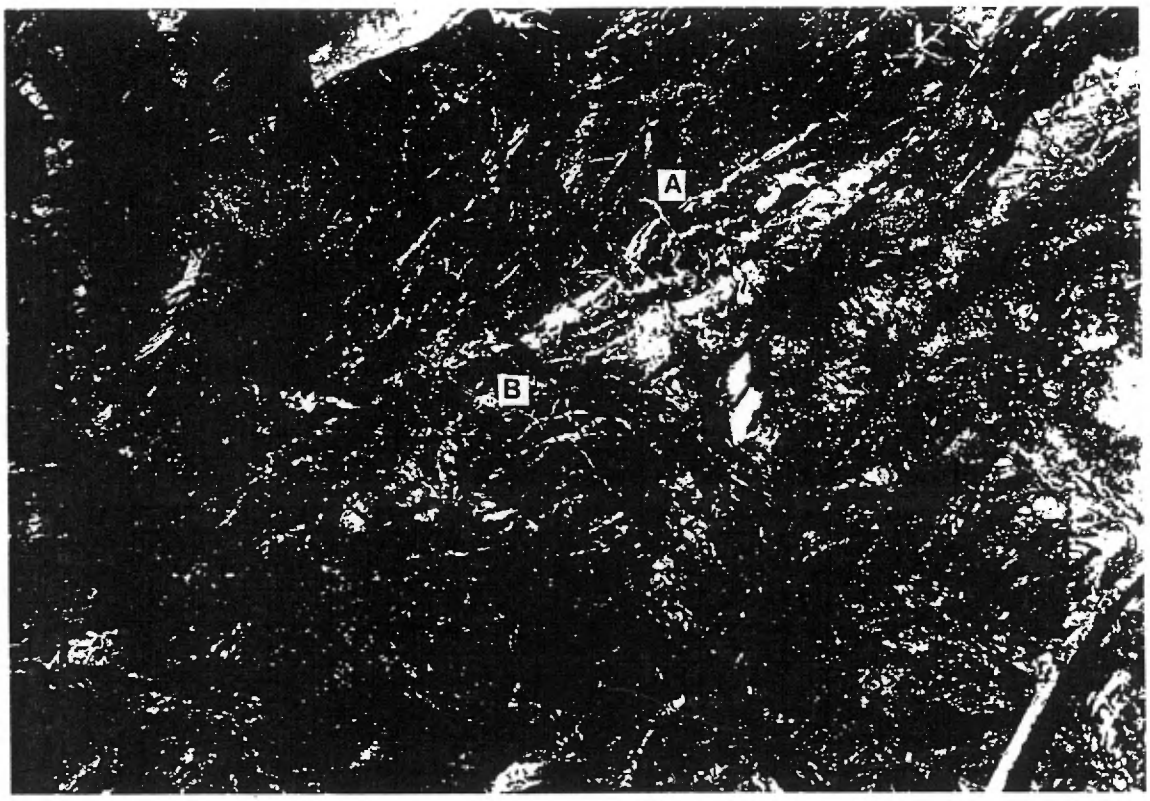


Figure 19: Minéralisation de type brèchique développée dans un lambeau de chert. Les fragments de cherts montrent les évidences d'injections de quartz (V_{1b}) multiples, tel que suggéré en **A** et **B** sur la photo. La phase d'injection la plus ancienne montre des textures de recristallisation tectonique, alors que les phases tardives ne sont pas déformées. (Mur de galerie, vue vers l'ouest, niveau 275m).

Les systèmes de veines V_3 et V_4

Les veines V_3 sont des veines non aurifères composées en grande majorité d'ankérite et de moins de 15% de quartz (fig. 18). Elles sont rarement plus épaisses de 2 cm et ne dépassent qu'exceptionnellement les dix mètres de longueur. On les retrouve dans les zones de charnières des plis P_2 où elles occupent le plan des failles F_3 et des joints subparrallèles au clivage S_2. La période de mise en place des veines V_3 reste cependant ambiguë. Elles peuvent avoir été générées tardivement à la phase D_2, soit au moment de l'ouverture de fentes d'extension dans la zone d'extrados de la charnière des plis P2. Les veines V3 auraient ensuite été recoupées par les failles F_3. Une autre interprétation suggérerait une mise en place des veines V_3 tardivement à la phase D_3 pendant la formation des failles F_3 et d'une famille de joints parallèles aux clivages S_2.

Les veines V_4 sont des veines d'ankérite et de quartz stériles en or non déformées et de petites dimensions (épaisseur $\leq$ 3 cm, longueur $\leq$ 6 m) retrouvées de chaque côté de la FCB (fig. 8 et 9). Ces veines représentent vraisemblablement le remplissage de fentes d'extension subhorizontales parallèles au plan YZ de l'ellipsoïde de déformation reliée au raccourcissement nord-sud de la phase D_4, phase de déformation à laquelle est associée le mouvement inverse de la FCB. Cette dernière correspond au plan XY de l'ellipsoïde D_4. Cette interprétation est renforcée par le fait que ces veines subhorizontales ne sont pas plissées par les plis P_3 associés à D_3. En tenant compte des ces relations, la mise en place des veines V_4 est donc attribuée à la phase de déformation D_4, tardivement à la formation de la FCB.

Morphologie des zones minéralisées

La morphologie des zones minéralisées à la mine Casa Berardi-Ouest est héritée en grande partie des trois premières phases de déformation, auxquelles se rattachent trois phases de plissements distincts. Certains secteurs de la mine ne sont affectés que par une seule phase de plissement, tandis que d'autres ont subi les trois phases, créant

des patrons d'interférences ayant un impact important sur la géométrie des corps minéralisés.

Morphologie reliée à D_1

En l'absence de structures plicatives P_2 et P_3, le système de veines V_{1b} et les zones de remplacement hydrothermales aurifères forment des corps lenticulaires ovoïdes ou allongés subparallèles à la schistosité mylonitique S_1 en plan horizontal (fig. 5). Dans ce plan, les rapports longueur sur largeur des zones économiques varient en moyenne de 2 à 18.

En section nord-sud, les veines et les remplacements minéralisés forment des enveloppes subparallèles à nettement discordante par rapport à S_1. Cette relation angulaire est due en grande partie à la géométrie initiale des veines du système V_{1b} et à la transposition et au plissement des corps minéralisés et par P_{1b}. Ces plis cartographiables (fig. 16) sont bien montrés à l'échelle des zones minéralisées sur la figure 4, notamment vers les niveaux 235 et 265 dans la zone Nord-Est et entre les niveaux 200 et 230 de la zone Sud-Ouest. Il est important de noter que les zones minéralisées recoupent les contacts stratigraphiques en plan et en section, de même que la structure antiforme majeures P_{1a} (fig 4 et 5).

Morphologie reliée à D_2 et D_3

Dans la majorité des secteurs de la Mine Casa Berardi-Ouest, la schistosité S_1, les veines de quartz et les zones de remplacements subparallèles à S_1 sont plissées par des plis P_2 asymétriques en Z d'amplitude décamétrique (fig. 13). Ces ondulations en Z causent un décalage en plan des zones minéralisées vers le nord lorsque l'on progresse vers l'ouest (fig. 5), les zones minéralisées étant orientées est-ouest à pendage modéré vers le sud sur les flancs longs des plis P_2 et nord-ouest sud-est à nord-sud avec un pendage faible vers l'ouest sur les flancs courts.

Les plis P_3 orientés en moyenne N340°, replissent perpendiculairement les plis P_2. Cette relation géométrique entre P_2 et P_3 amène la foliation mylonitique S_1 et les zones minéralisées à former des patrons d'interférences en dômes et bassins d'échelle décamétrique dans les secteurs où les deux phases P_2 et P_3 sont développées.

La géométrie globale du gisement Casa Berardi-Ouest est donc le résultat d'une tectonique polyphasée caractérisée principalement par trois phases de plissement. Les plis P_{1a} et les patrons en dômes et bassins, formés par l'interférence des plis P_3 sur les plis P_2, représentent les structures majeures contrôlant la morphologie des zones minéralisées.

Interprétation

Phase de déformation D_1

La première phase de déformation D_1 est marquée par le développement d'une foliation mylonitique pénétrative S_1 est-ouest très importante et parallèle à la zone de déformation de Casa Berardi. Cette schistosité S_1, de même qu'une schistosité secondaire S_1', sont associées à la transposition et aux plis isoclinaux P_1 (P_{1a} et P_{1b}) très intenses qui ont affecté les roches autour du gisement Casa Berardi-Ouest, et dans une moindre mesure, les veines de quartz et zones minéralisées aurifères. La formation de la zone mylonitique F_1 au nord de la FCB est reliée à la phase D_1.

Des linéations minérales et d'étirement subverticales à modérément plongeantes vers l'est mesurées sur la schistosité mylonitique S_1 (fig. 6) témoignent qu'une élongation verticale fut associée à une période de raccourcissement nord-sud. Cette élongation verticale jumelée à des indicateurs cinématiques tels des zones abritées, des boudins de veines quartz subhorizontaux en pseudo-rotation et des cisaillements secondaires C' synthétiques subverticaux (fig. 9) démontrent qu'un mouvement

inverse à composante mineure senestre à vergence sud s'est développé pendant la période de raccourcissement nord-sud D_1.

Tardivement, une phase de plis dits P_{1b}, montrant le plissement de la foliation mylonitique sur elle-même, sont générés dans un contexte de cisaillement continu. C'est aussi lors de ses événements tardifs que la schistosité mylonitique principale S_1 aurait été déversée vers le nord dans le domaine Sud, cette dernière devenant progressivement verticale puis déversée vers le sud en profondeur formant une structure listrique typique des grandes zones de failles de la Sous-province de l'Abitibi (Cadillac-Larder Lake —Green et al., 1990, Jackson et al., 1990; Porcupine-Destor-Manneville —Daigneault et al., 1992) et tel que proposé pour la ZDCB par Chown et al. (1992), Sawyer et Benn (1993) et Lacroix et Sawyer (1995). Il est à noter que les mouvements enregistrés dans le domaine Sud au cours de la phase D_1 sont normaux apparents et ce dû au déversement de S_1 vers le nord.

En résumé, la phase de déformation majeure D_1 est interprétée —au niveau de la mine Casa Berardi-Ouest— comme une période de cisaillement intense associée à une déformation progressive au sein de la zone de déformation de Casa Berardi. Ce cisaillement est caractérisé par un mouvement principalement inverse montrant un transport tectonique global à vergence vers le sud associé à un événement compressif nord-sud.

Phase de déformation D_2

La phase de déformation D_2 se distingue par la formation de plis en Z asymétriques non-cylindriques faiblement plongeant vers le sud-ouest. Ces plis sont associés à une crénulation S_2 nord-est—sud-ouest qui recoupe la foliation mylonitique S_1. Ces plis P_2 montrent un entraînement dextre en plan (fig. 5) et inverse vers le nord en section nord-sud (fig. 4). La géométrie asymétrique des plis P_2 de même que la plongée variable de leurs axes montrent qu'ils ont été formés sous un régime de déformation non-coaxiale par cisaillement simple. On note à l'échelle métrique une

angularité anti-horaire de 10 à 15° entre la schistosité S_2 et le plan axial des plis P_2, ce qui est aussi en accord avec un régime de déformation non-coaxiale avec un mouvement inverse dextre.

Tôt dans la phase D_2 au sein du domaine Sud, des failles inverses (F_2) subparallèles à S_1 à vergence vers le nord sont plissées par la phase plicative P_2 (fig. 4). Certaines de ces failles sont probablement des structures de glissement reliées à la formation des plis P_2, tandis que d'autres, plus importante, montrent qu'une période de chevauchements à vergence nord (postérieurs à la mise en place de la minéralisation aurifère et au basculement de la foliation mylonitique S_1) a eu lieu après la phase D_1, mais avant la phase de plis P_2 reliés à D_2. La vergence vers le nord des failles chevauchantes plissées F_2 est compatible avec la vergence des plis P_2, ce qui suggèrent que la formation des failles et des plis pourrait s'être déroulée dans un continuum, tel un système de pli-faille, au cours de la phase de déformation D_2 et ce, sous l'influence d'une compression nord-ouest—sud-est.

Phase de déformation D_3

Des plis ouverts P_3 de direction sud-sud-est, avec lesquels est associée une faible crénulation S_3 de plan axial subverticale, replissent les plis P_2. La superposition des plis P_3 sur les plis P_2 forme des patrons d'interférence en dômes et bassins avec la schistosité S_1 et les zones minéralisées subparallèles à S_1 (fig. 5). La formation des plis P_3 est associée à une phase de compression D_3 orientée est-nord-est—ouest-sud-ouest.

Des failles cassantes est-ouest (F_3), en décrochement dextre ou senestre et qui déplacent sur quelques mètres les traces axiales P_3, sont compatibles avec l'orientation des contraintes de la phase D_3. Ces observations nous permettent de supposer qu'elles se sont formées à la fin de la phase de déformation D_3, bien qu'aucune relation de recoupement avec des structures D_4 n'ai été reconnue pour appuyer formellement cette déduction.

Phase de déformation D_4

La 4e phase de déformation (D_4) est un épisode de compression nord-sud marqué par le développement des failles inverses F_4 orientées est-ouest. On note aussi un reserrage important des plis P_2 causé par leur réactivation en plis d'entraînement au voisinage immédiat des failles F_4 majeures, telles la FCB et la faille Sud. Ces failles, bien que spatialement associées aux gisements (fig. 3), recoupent nettement les zones minéralisées, les structures de plissement P_2 et P_3 de même que plusieurs familles de failles postérieures à la mise en place des minéralisations aurifères (fig. 4 et 5). Ces relations de recoupement démontrent que ces grandes failles cassantes se sont formées tardivement dans l'évolution structurale de la ZDCB et ne possèdent aucun lien génétique avec la mise en place des minéralisations aurifères.

Phase de déformation D_5

Des failles normales nord-sud (F_5) avec des composantes dextres ou senestres déplacent toutes les structures préexistantes au cours de la phase D_5 (fig. 4 et 5). Ces failles normales modérément inclinées ont peu de déplacement au niveau du secteur étudié, soit inférieur à 10m. Toutefois certaines peuvent avoir des déplacements importants à l'échelle régionale, notamment dans la partie ouest de la ZDCB (Pilote et al 1990, fig. 2).

MINERALISATION ET ALTERATION

Les veines ou amas de quartz (système V_{1b}) et les zones de remplacement développées à leurs bordures constituent l'essentiel du minerai des six zones minéralisées à la mine Casa Berardi-Ouest. Des lambeaux de cherts minéralisés retrouvés dans les zones de remplacement ou à l'intérieur des veines constituent par endroits jusqu'à 15% de la minéralisation, notamment dans les zones Intermédiaire et Nord-Ouest.

Les veines de quartz sont fréquemment disposées en groupes de plusieurs veines en échelons subparallèles entre elles séparées par quelques dizaines de centimètres à quelques mètres (ex. zone Sud-Ouest, fig. 5). Avec les zones de remplacement adjacentes et entre les veines, les épaisseurs moyennes des zones économiques varient entre 6 et 30 m, pour une continuité latérale entre 50 et 160 m et verticale de 140 à 200 m.

Description des faciès minéralisés

Veines de quartz

La minéralogie des veines-amas de quartz aurifères (système V_{1b}) est relativement simple. Elles sont constituées de quartz (70 à 97%), ankérite (2 à 12%), graphite (1 à15%), séricite (1 à 10%), pyrite (0,1 à 8%), arsénopyrite (0,1 à 7%) et de traces de fuschite, chlorite, leucoxène et d'or (0,1 à 200 ppm). La pyrite et l'arsénopyrite forment en général des grains de 0,25 à 4 mm de diamètre. D'autres sulfures, telle la chalcopyrite, la pyrrhotite et la sphalérite, ne sont observés qu'en traces sous forme de fines inclusions (< 100 µm) dans ou près des cristaux de pyrite (fig. 20). Rarement, quelques petits points de chalcopyrite inférieurs à 1,5 mm de diamètre, sont observés dans le quartz en association avec des stylolithes graphiteux, la pyrite et l'arsénopyrite. La chalcopyrite est aussi retrouvée dans des microfractures affectant la pyrite et l'arsénopyrite. Les teneurs en or ne sont pas proportionnelles au contenu en pyrite et arsénopyrite dans les veines de quartz.

Des fragments d'épontes altérés et minéralisés constituent une partie parfois importante des veines de quartz qui forment alors la matrice d'une minéralisation de type brèchique. Les fragments sont habituellement de formes variées, allant de lentilles amiboïdes allongées à de minces feuillets de longueur centimétrique à métriques (fig. 15 et 16). On les retrouve aussi plus rarement sous forme de blocs sub-anguleux (fig. 19). Ces enclaves sont beaucoup plus minéralisées en pyrite et arsénopyrite (jusqu'à 25%) que les veines elles-mêmes, qui elles en contiennent moins de 2%. Les fragments

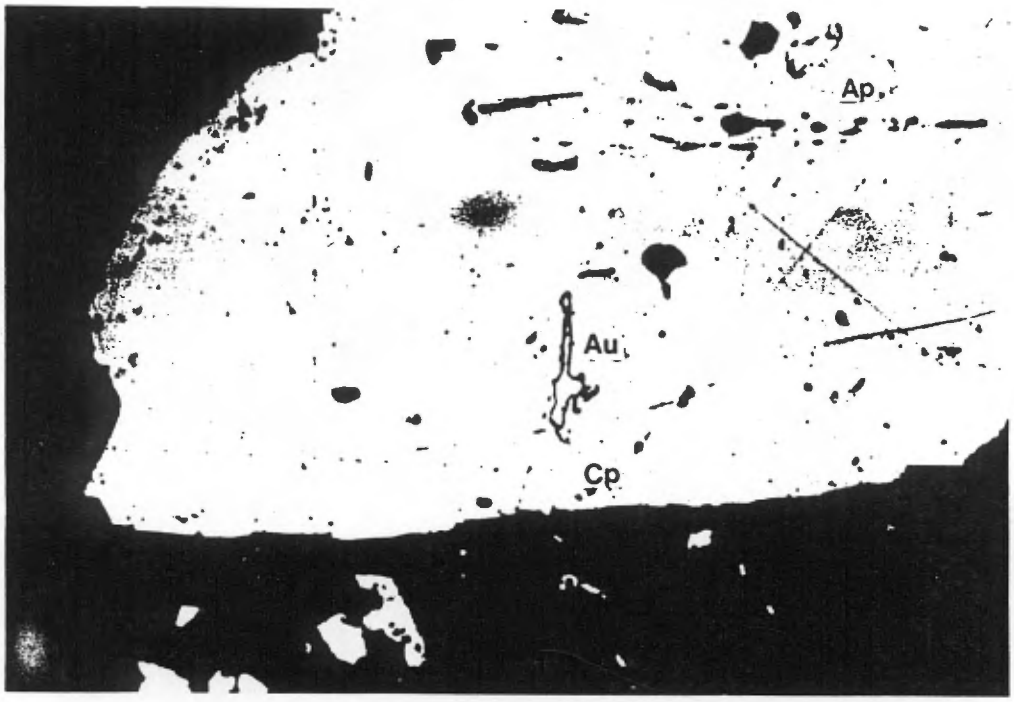


Figure 20: Grain d'or de 88 micron (Au) dans un cristal de pyrite subautomorphe. Un petit grain de chalcopyrite (Cp) est associé avec l'or. Noter aussi la présence d'un cristal d'arsénopyrite (Ap) à l'intérieur de la pyrite.

d'épontes possèdent une forte schistosité interne et cette schistosité est fréquemment parallèle à l'axe long des fragments et à la schistosité S_1 dans la roche encaissante. La présence d'enclaves foliées dans les veines de quartz suggère que les veines se sont mise en place en partie après le début de la formation de S_1.

Les veines sont généralement en forme de crêpes ou de lentilles allongées plus ou moins boudinées et parfois plissées. Toutes sans exceptions montrent des textures de remobilisation, de brèchification par auto-fragmentation (recristallisation tectonique: Dowling et Morrison, 1988; fig. 16, 17 et 18) et possèdent une foliation moyenne à forte définie par un rubannement parallèle à la schistosité mylonitique S_1 (fig. 15). Ce rubannement tectonique dans les veines est formé par l'alternance de bandes irrégulières de quartz brèchique gris foncé à blanc avec des lamines ou des stylolithes de graphite, de minéraux insolubles (leucoxène, hématite), de séricite, de sulfures ou de fragments d'encaissant lessivés et foliés.

Le quartz et les sulfures des veines aurifères ont été fortement déformés comme le montre leur fracturation, rotation et recristallisation. Le quartz, et la pyrite ont subi une déformation majoritairement plastique manifestée en lame mince par des bordures de recristallisation et un aplatissement important des grains parallèlement au rubannement de la veine. La texture framboïdale est aussi caractéristique de la pyrite, alors que le quartz possède des bordures de grains suturés et une forte extinction roulante. L'arsénopyrite est le plus souvent retrouvée en cristaux automorphes à subautomorphes cataclasés (fig. 21).

Les zones de remplacement aurifères

Les schistes à séricite et les schistes à graphite constituent les deux faciès de minéralisation de remplacement hydrothermal développés au pourtour des veines minéralisées à la mine Casa Berardi-Ouest (fig. 4 et 5). Le quartz (10 à 70%), l'ankérite (5 à 20%), la pyrite (0,5 à 20%), l'arsénopyrite (0 à 15%) le leucoxène (≈ 1%), la fuschite (0 à 2%), la chlorite (0 À 1%) et l'or (0,05 à 20 ppm) complètent

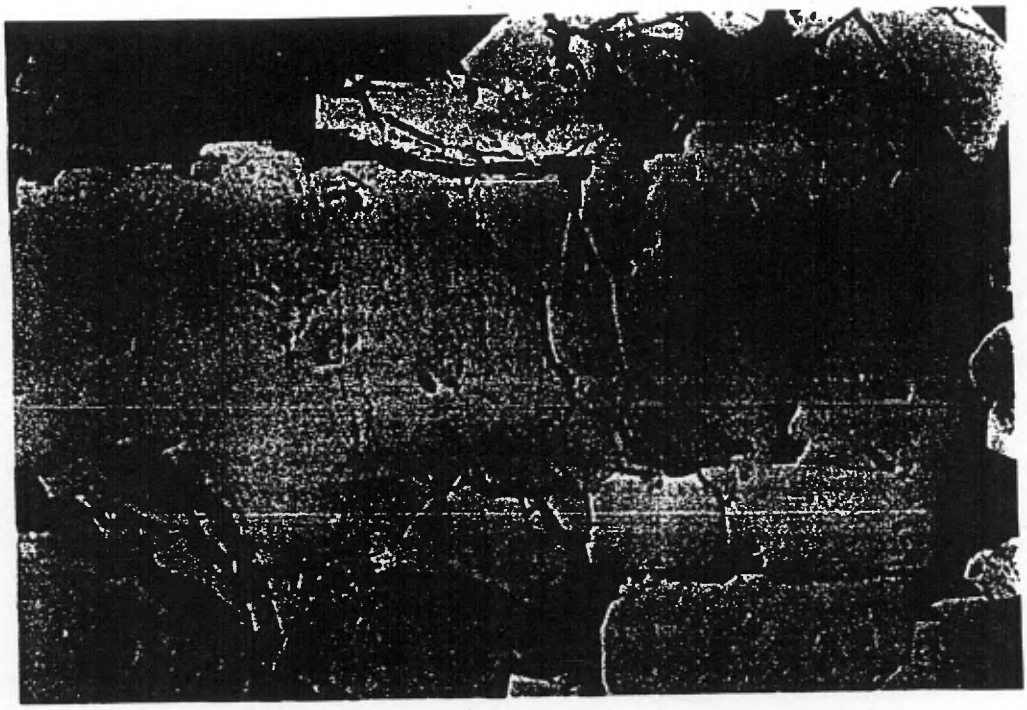


Figure 21: Microphotographie montrant des grains d'arsénopyrites (grains plus pâles) cataclasés entourés de pyrite subautomorphes moins fracturées. (Voir le texte pour les détails). Noter les nombreuses bordures de recristallisation sur les pyrites. (Grossissement 200X).

l'essentiel de l'assemblage minéralogique de chacun des faciès de minerai de remplacement (fig. 12, 15, 17 et 18). À l'exemple des veines de quartz, la chalcopyrite, la sphalérite et la pyrrhotite sont retrouvées qu'en très faible quantité et bien souvent visible qu'en lame mince sous forme d'inclusions dans la pyrite et l'arsénopyrite.

Texturalement, les minéralisations de type remplacement se présente en stockwerks de petites veines et veinules de quartz-ankérite boudinées, démembrées et plissotées dans une matrice de séricite et/ou graphite, quartz et ankérite, avec de la pyrite et de l'arsénopyrite disséminées (fig. 12, 17 et 18). Les pourcentages de pyrite et d'arsénopyrite, de même que les teneurs en or sont directement proportionnelles à l'abondance de veinules de quartz-ankérite dans la matrice schisteuse. Cette silicification est aussi proportionnelle au degré de sériciteisation ou graphitisation des métasédiments, dont l'intensité maximum est atteinte en bordure de veines de quartz majeures (> 2m). Comme pour les veines aurifères, le même style de déformation des minéraux épigénétiques et une modification importante de la texture primaire de la minéralisation pendant la phase D_1 sont remarqués dans les faciès de remplacement (fig. 21).

Lambeaux cherteux minéralisés

Des lambeaux d'horizons cherteux retrouvés dans les zones de remplacement et en bordure ou à l'intérieur des veines de quartz, constituent un faciès de minéralisation pouvant avoir jusqu'à 35 g/t d'or. La minéralisation se présente sous forme de brèche hydraulique; le quartz, l'ankérite, la pyrite et l'arsénopyrite formant la matrice de la brèche (fig. 19). Le pourcentage de quartz-carbonate varie de 10 à 50%, avec de 5 à 25% de pyrite et d'arsénopyrite combinées. Ces sulfures sont retrouvés préférentiellement autour des fragments cherteux.

Comme dans le cas des faciès de remplacement, les teneurs en or augmentent avec le pourcentage de sulfures et, jusqu'à une certaine mesure, avec la quantité de

quartz contenu dans la brèche. Les horizons cherteux ne contenant pas d'arsénopyrite, de fractures remplies par du quartz (veines V_{1b}) et des sulfures ou un signe d'altération (silicification, ankéritisation) visuel important accompagnant la minéralisation en pyrite et arsénopyrite ne contiennent pas d'or ou seulement la teneur de fond autour des zones économiques, c'est-à-dire 20 à 300 ppb.

La texture brèchique des cherts minéralisés aurifères de même que les minéraux de la matrice de ce faciès sont visiblement moins affectés par la déformation D_1 que les veines de quartz et les zones de remplacement (fig. 19). La compétence supérieure des lambeaux d'horizons cherteux pourrait expliquer à la fois leur fragmentation hydraulique par les fluides hydrothermaux minéralisateurs et la bonne préservation de la texture brèchique primaire de la déformation subséquente .

Associations minéralogiques de l'or

Dans le minerai de remplacement, l'étude des lames minces polies sous microscope montre que 60 % de l'or se retrouve dans la pyrite en inclusion de 10 à 100 µm (fig. 20), 30 % sous forme libre en petits grains jusqu'à 1 mm de diamètre disséminés dans le quartz et l'ankérite et 10 % dans l'arsénopyrite en fines inclusions sphériques inférieures à 10 µm. Dans les veines de quartz, l'or est à plus de 95% natif dans les quartz et 5 % est associé aux sulfures. Bien que l'or ne soit retrouvé qu'en faible proportion à l'intérieur ou en bordure des cristaux d'arsénopyrite, la présence de ce sulfure combinée à la pyrite semble être une condition incontournable à la présence d'or en quantité significative, soit au-delà de 300 ppb. L'or visible est observé sporadiquement dans les veines de quartz et très rarement dans les zones de remplacement.

Le contenu en métaux de base des zones minéralisées économiques (basé sur l'analyse par ICP-digestion totale de 74 échantillons) est assez bas, soit en moyenne 75 ppm pour le cuivre, 54 ppm pour le zinc et 30 ppm pour le plomb. Ces métaux sont aussi abondant dans les veines de quartz que dans les schistes minéralisés, malgré le

fait que les autres sulfures (pyrite et arsénopyrite) soient 4 à 6 fois plus abondant en moyenne dans les schistes que dans les veines. Ce phénomène est sans doute dû aux faibles quantités en métaux de base contenues dans l'ensemble du système minéralisé. De plus, les teneurs en or n'ont pas de relations corrélatives avec les teneurs en Zn et Pb (fig. 22). Une corrélation double semble se dessiner dans le cas des rapports Au/Cu, avec l'établissement de deux tendances; une riche en or (>10 g/tm Au) avec peu de cuivre (< 100 ppm) et une autre avec des valeurs aurifères plus faibles (0 à 10 g/tm Au) mais avec un contenu en cuivre plus élevé (0 à 300 ppm) (fig. 22). Cette dernière tendance peut cependant être induite par la sur-représentation de la classe 0-10 000 ppb Au, cette classe comportant à elle seule 62% du total des données, (46/74). Cette plus grande représentation peut expliquer un meilleur étalement des valeurs en Cu et la création d'une fausse tendance corrélative, notamment si le nombre de données dans les autres classes est faible et statistiquement peu valable, soit en-deça de 30 données par classe. Une représentativité égale pour chacune des classes serait souhaitable afin d'infirmer ou de confirmer cette double corrélation des rapports Au/Cu. Les valeurs en or montrent toutefois une excellente corrélation linéaire avec l'argent (R= 91%, basé sur 115 analyses) dans un rapport Au/Ag ≈ 2,8/1 (fig. 22).

L'altération hydrothermale

Les veines aurifères V_{1b} possèdent des zones d'altération hydrothermale visible à leurs bordures. La composition minéralogique de ces zones de remplacement est différente de part et d'autre d'une veine ou d'un groupe de veines subparallèles, à l'exception de la partie inférieure des zones minéralisées (fig. 4). L'altération à l'éponte supérieure (côté sud) des veines est marquée par une séricitisation des métasédiments et un lessivage des argiles graphiteuses, de la chlorite et des feldspaths (fig. 15, 16 et 18). A l'éponte inférieure (côté nord), on note la disparition de la séricite et un contenu élevé en graphite dans la roche encaissante (fig. 4, 5 et 17). Les veines de quartz sont elles-mêmes caractérisées par un contenu en éléments graphiteux nettement dominants. La carbonatation sous forme d'ankérite, la silicification et la sulfurisation sont communes à chacune des bordures d'altération.

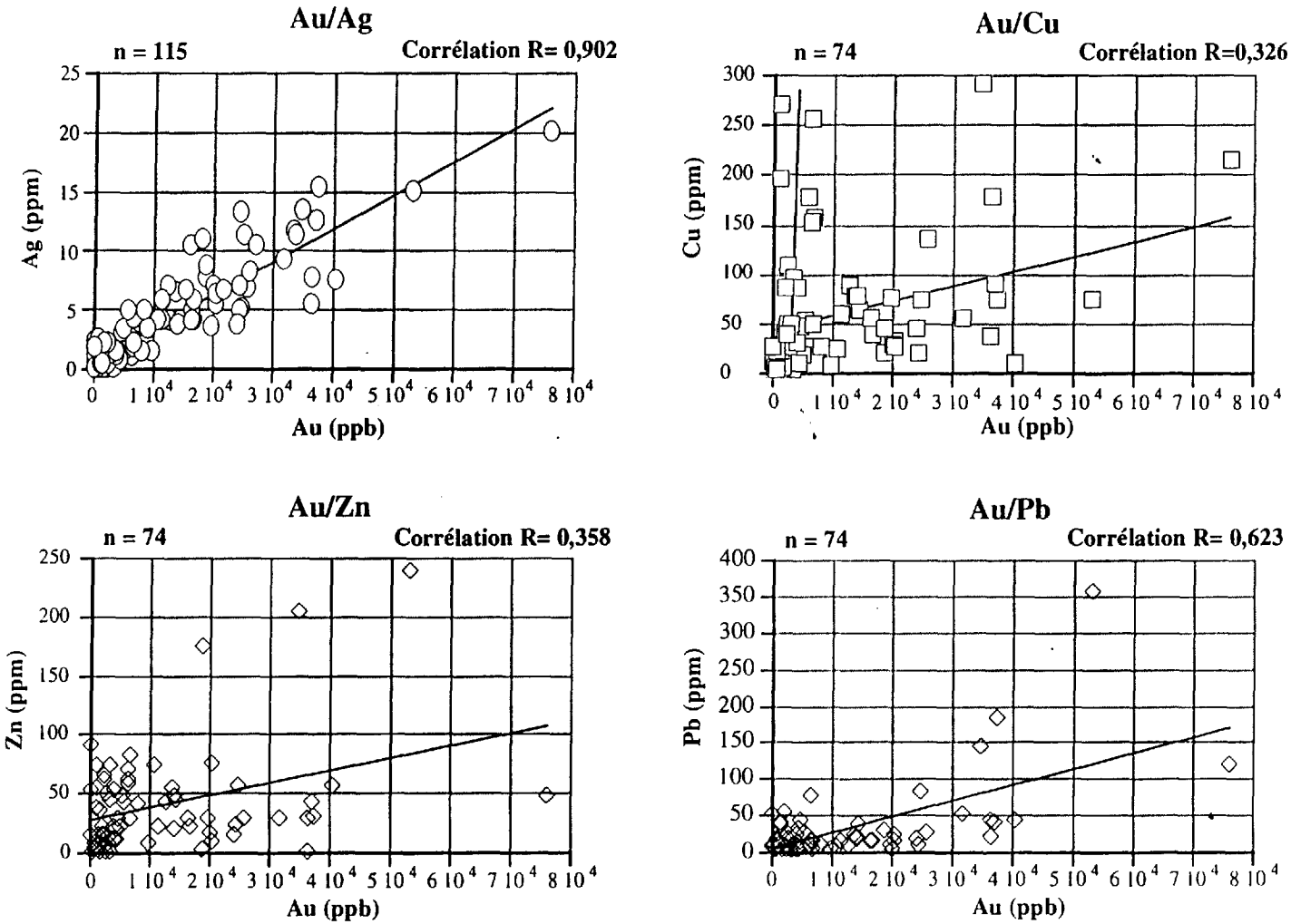


Figure 22: Diagrammes binaires montrant les corrélations linéaires entre l'or et l'argent, le cuivre, les zinc et le plomb.

L'épaisseur de la zone séricitisée est habituellement beaucoup plus large et plus riche en or que la zone graphiteuse. Aussi, la partie minéralisée de la zone graphiteuse (protomylonite F_1) est bien souvent restreinte à l'enveloppe contenant les veines de quartz et s'étend rarement sur plus de quelques mètres dans la roche encaissante (fig. 4).

Dans la partie inférieure des zones minéralisées, le minerai de type remplacement est essentiellement constitué de larges bandes de schiste à séricite-pyrite-arsénopyrite enveloppant un réseau de veines et de veinules de quartz-ankérite. De plus, les rubans et enclaves de roches encaissantes à l'intérieur des veines sont majoritairement altérés en séricite. La dimension des veines est aussi nettement inférieure à la base des zones minéralisées comparativement aux parties médianes et supérieures où les veines de quartz forment la plus grande part du minerai, soit de 50 à 100% du volume économique. Les bordures d'altération en séricite sont en l'occurrence beaucoup plus minces et même parfois absentes dans le sommet des zones minéralisées (ex. zone Nord-Est et Intermédiaire, fig. 4).

A l'échelle du gisement, les données de Pattison et al. (1986) suggèrent des gains en FeO, MgO, CaO, MnO, K_2O et une perte importante en SiO_2 et Na_2O reliés aux zones aurifères anomales. Les gains en Fe, Mg, Ca, et Mn s'expliqueraient par l'augmentation sensible du contenu en dolomite et ankérite dans les zones d'altération. La hausse du K serait due à la séricitisation des métasédiments tandis que la perte de Na serait attribuable au lessivage des feldspaths. Selon Pattison et al (1986), la baisse en SiO2 serait en partie provoquée par l'augmentation des autres oxydes majeurs formant les minéraux d'altération principaux (séricite et carbonates) et par le lessivage du SiO2 des roches encaissantes pour former les veines de quartz.

Une zonalité dans la composition des carbonates (Pilote et al, 1990) est présente et se manifeste par l'augmentation du contenu en fer des carbonates au voisinage des zones enrichies en or, soit une transition graduelle calcite-dolomite-ankérite. Le remplacement de la chlorite et de la calcite associé au métamorphisme régional par la séricite et l'ankérite à proximité des veines aurifères est aussi observé. L'action d'un

fluide hydrothermal riche en K et en CO_2 permet d'expliquer cette réaction et la zonalité des carbonates à l'intérieur de la zone d'altération (Roberts, 1988, p. 11).

En résumé, l'altération hydrothermale reliée à la mise en place des veines de quartz aurifères à la mine Casa Berardi-Ouest est caractérisée par une intense désilicification et une carbonatation (calcite-dolomite) générales des métasédiments à l'échelle régionale autour du gisement et par une séricitisation, une carbonatation (ankérite), une silicification et une sulfurisation locales associées aux veines de quartz aurifères.

DISCUSSION

Evolution tectonique

La formation et l'évolution de la ZDCB au sens strict est essentiellement rattaché à la phase D_1. Le haut niveau de déformation à l'intérieur de la ZDCB est montré par la transposition de la stratigraphie par la schistosité S_1 fortement pénétrative omniprésente dans tout le secteur étudié, l'étirement important le long de S_1 ainsi que par la transformation quasi complète des espèces minérales dans les zones de mylonites et de protomylonites. Le démembrement des flancs de plis et l'isolement des charnières, le boudinage de veines de quartz et d'unités cherteuses, l'entraînement et le plissement de la schistosité S_1 sur elle-même et la formation de plis isoclinaux asymétriques témoignent de l'aplatissement et du cisaillement intense qui caractérise la ZDCB, à l'exemple des zones de déformation importantes de la Sous-province de l'Abitibi (ex. Cadillac, Destor-Porcupines; Daigneault et Archambeault, 1990).

La colinéarité entre les linéations d'étirement et les axes de plis qui caractérise régionalement la ZDCB (Pilote et al, 1990) contraste avec les relations observées dans la mine Casa Berardi-Ouest. Ce secteur se distingue en effet par une variabilité dans la plongée des axes de plis (subverticale dans la zone mylonitique du domaine Nord,

subhorizontale dans le domaine Sud) comparativement à la bonne cohérence dans la plongée des linéations d'étirement vers l'est (fig. 6). Ce phénomène suggère une réorientation des axes de plis parallèlement à la linéation d'étirement dans la zone mylonitique du domaine Nord par une augmentation de la composante de cisaillement versus aplatissement à l'intérieur de la ZDCB dans ce secteur de la mine Ouest (Cobbold et Quinquis, 1980). Cette explication est soutenue par Pilote et al. (1990) qui démontre l'hétérogénéité et l'augmentation générale de la déformation progressive et du cisaillement dans la partie centrale de la ZDCB (comprenant les gisements Casa Berardi-Ouest, Centre et Est), notamment par la présence de plis en fourreaux à l'intérieur de zones exhibant une forte intensité de déformation côtoyant des zones moins déformées.

Les linéations d'étirement L_1 étant cohérentes avec la direction du cisaillement à la mine Casa Berardi-Ouest, un modèle transpressif tel que proposé par Robert (1989) pour la zone de déformation de Cadillac au sud-est de Val d'Or ne s'appliquerait donc pas à la partie étudiée de la ZDCB. En effet, la linéation d'étirement L_1 plongeant fortement vers l'est sur S_1 n'est pas accompagnée d'indicateurs de cisaillement bien développés dans le plan YZ de l'ellipsoïde de déformation (plan horizontal), ce qui suggère que la composante directionnelle du cisaillement de la phase D_1 était minime. Le cisaillement dans la ZDCB dans le secteur de la mine Ouest aurait donc été produit par un mouvement inverse légèrement oblique lors d'une période de raccourcissement intense nord-sud.

Les phases de déformation D_2 et D_3 ont formé principalement des structures de plissement (P_2 et P_3) associés à des clivages de crénulations (S_2 et S_3) qui se sont surimposés à la fabrique S_1. Ces structures, généralement de faible intensité, se développent préférentiellement à l'intérieur de zones où se concentre une forte anisotropie préexistante. Les zones de déformation de la Sous-province de l'Abitibi (Daigneault et Archambeault, 1990), qui représente de telles zones anisotropes, sont caractérisées par la présence de ces clivages et plissements tardifs ayant les mêmes relations structurales et temporelles avec les structures principales antérieures (Goulet, 1978; Robert, 1989; Gauthier et al., 1990; Sansfaçon et Hubert, 1990; Trudel et al.,

1992). Ces structures tardives sont considérées synchrones dans l'évolution tectonique de la Sous-province de l'Abitibi, et ce, autant dans la Zone Volcanique Nord que dans la Zone Volcanique Sud (Chown et al., 1992).

Particulièrement bien développés tant par leur nombre que par l'échelle, les plis P_2 et P_3 sont responsables au niveau de la mine Casa Berardi-Ouest d'une modification importante de la géométrie initiale des zones minéralisée. La formation des clivages S_2 et S_3 est aussi clairement postérieure à la mise en place des minéralisations aurifères dans la ZDCB. Cette interprétation est contradictoire avec Gauthier et al., (1990) et Robert, (1989), qui optent pour une mise en place syn-D_2 (selon la nomenclature utilisée par ces auteurs), mais en accord avec les synthèses récentes sur les gisements d'or de la Sous-province de l'Abitibi compris à l'intérieur de zones de déformation régionale (Bardoux et al., 1993; Morasse et al., 1995; Robert et al, 1990; Tourigny, 1993; Trudel et al., 1992).

La constante asymétrie des plis en Z P_2 et leur nature intrafolial permet d'expliquer leur développement par un régime non coaxial en cisaillement simple dextre et inverse. Les plis P_3 de type cylindrique, auraient été produit par une déformation coaxiale. La colinéarité entre les axes de plis P_3 et les axes de plis en kinks conjugués associés à la même direction de raccourcissement renforce cette interprétation.

La faille Casa Berardi et la faille Sud sont les deux plus importants accidents fragiles-ductiles à la mine Ouest. Ces failles inverses, associées à une compression nord-sud (D_4), recoupent sans ambiguïtés les zones minéralisées, les failles ductiles F_1 et les structures associées aux phases D_2 et D_3. Ces relations structurales démontrent que ces failles, bien qu'importantes, n'ont joué aucun rôle dans la mise en place de l'or et ne constituent pas un métallotecte direct. La position préférentielle de ces grandes failles à l'intérieur de zones fortement déformées et tout spécialement lorsqu'elles recoupent subparallèlement des schistes graphiteux et des zones mylonitiques représentant des failles F_1 synchrone à la minéralisation aurifère, font de ces failles tardives d'excellents métallotectes indirects.

Mise en place des veines aurifères

La cartographie des excavations souterraines de la mine Casa Berardi-Ouest et la description de carottes de forage ont permis d'amasser plusieurs observations sur la minéralisation aurifère dont voici les principales:

-Existence d'une première phase de veines V_{1a} fortement déformées, sans valeurs aurifères, ni sulfures (notamment sans arsénopyrite), ni zone d'altération associée (fig. 8, 9 et 14).

-Les veines V_{1b} et les zones de remplacement aurifères sont restreintes spatialement à l'éponte supérieure de failles ductiles-fragiles (protomylonites) F_1 développées préférentiellement dans des schistes graphiteux, avec quartz (chert) et pyrite (fig. 4 et 5).

-Le système V_{1b} est constitué de veines fortement transposées mise en place à angle fort par rapport à $S_1 + S_1'$ (fig. 17) et reliées en continuité à des veines subparralèles à S_1 mais discordantes S_1' (fig. 16), formant une géométrie apparentée à un système de veines en cisaillement jumelées à des veines d'extension, ces dernières étant en partie les plus transposées (fig. 18).

-Le système de veines V_{1b} forme aussi la matrice de brèches hydrothermales et des stockwerk à l'intérieur d'unités de cherts ayant subi une forte transposition. Les fragments de cherts sont recristallisés (recristallisation par brèchification tectonique) et possèdent une foliation mylonitique acquise avant leurs fragmentation et leurs minéralisation par les veines V_{1b} (fig. 19).

-L'enveloppe des zones minéralisées ainsi que les veines principales décamétrique sont discordantes sur S_1 (Fig. 4, 16 et 17).

Basé sur ces observations et principalement sur les relations géométriques entre les différents types veines V_{1b} et la schistosité S_1, le système de veines aurifères V_{1b} pourrait être interprété comme un système majoritairement constitué de veines en cisaillement, seules ou en groupes de plusieurs veines en échelon subparallèles à S_1 et S_1', avec une proportion moindre de veines et veinules en extension recoupées ou recoupant la schistosité S_1 et S_1'. Les deux types de veines auraient été déformés et plissés à des degrés divers en raison de leurs orientations différentes lors de leur mise en place relativement à la direction du raccourcissement général et de la schistosité mylonitique S_1 et S_1' représentant les plans de cisaillement principaux.

L'intensité variable de la déformation et de la transposition par S_1-S_1' de veinules et de veines d'un même type (extension ou cisaillement) montre une relation de concomitance entre le développement des schistosités mylonitiques S_1-S_1', la formation de plissements tardifs (P_{1b}) et la mise en place multiphasée du système de veines V_{1b} aurifères dans la ZDCB au cours de la phase de déformation majeure D_1. Cette interprétation sur la mise en place de l'or à Casa Berardi est contradictoire avec le modèle épigénétique synsédimentaire de Pattison et al., (1986) mais en accord avec un modèle syntectonique tel que proposé par Pilote et al., (1990).

En résumé, les veines V_{1b} et les zones de remplacements auraient été déformées et transposées à des degrés divers pendant leur mise en place, soit syn à tardi-D_1 (après le début de la formation de S_1 et en grande partie après la phase de plis P_{1a} mais avant la formation de S_1' et la phase P_{1b}). Elles auraient été mises en place dans un contexte de déformation progressive en cisaillement inverse oblique à vergence vers le sud sous des conditions ductiles à ductiles-fragiles, en réponse à une direction de raccourcissement nord-sud reliée à l'évolution de la ZDCB (fig. 23).

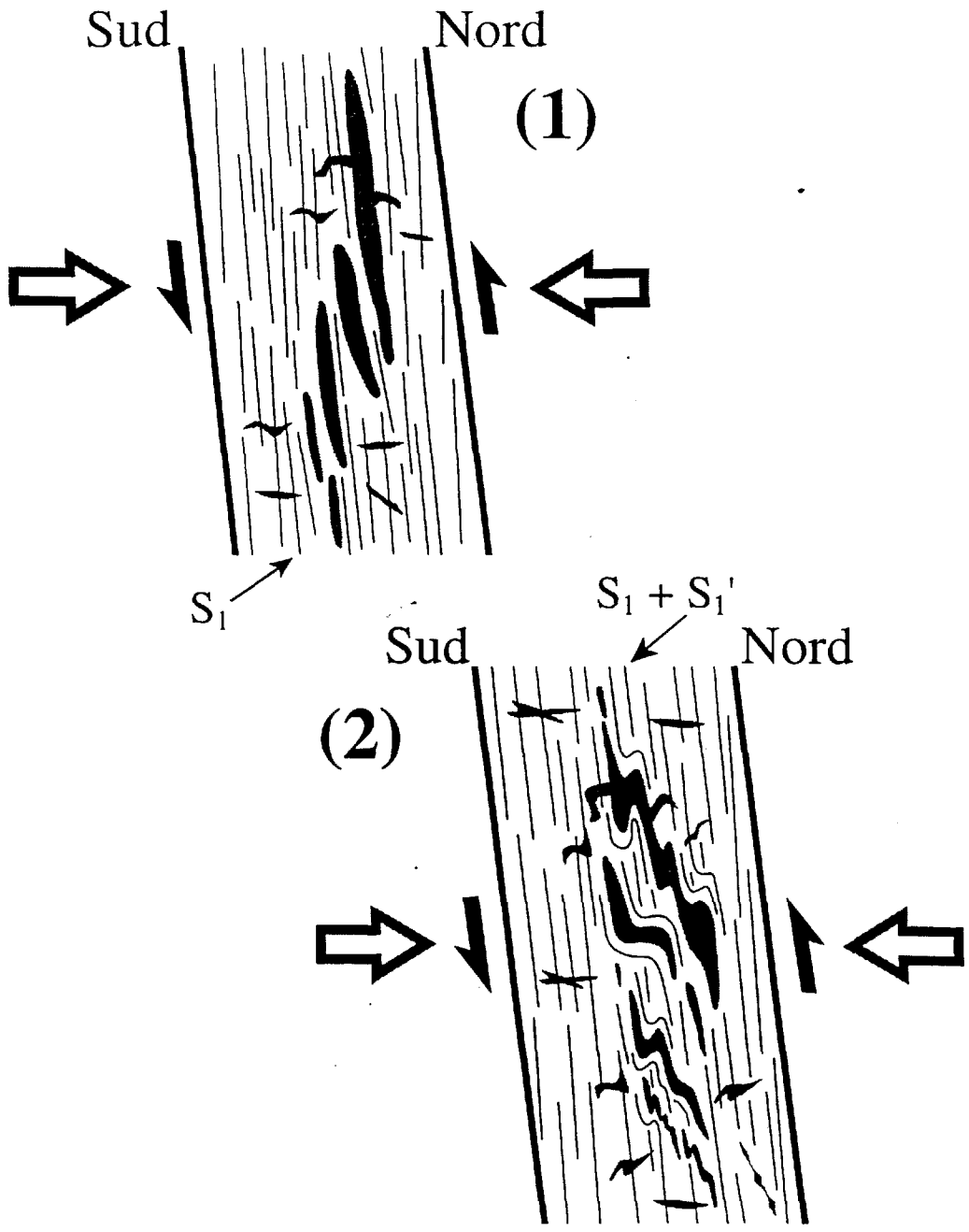


Figure 23: Modèle schématique (aucune échelle) de mise en place de la minéralisation aurifère à la mine Casa Berardi-Ouest parallèlement à l'évolution de la ZDCB au cours de la phase D_1.

CONCLUSIONS

La présence d'une forte schistosité mylonitique pénétrative accompagnée d'une altération intense à l'intérieur d'un massif rocheux, sont des facteurs importants contribuant à augmenter sensiblement l'anisotropie des roches et à diminuer leur résistance face à la déformation. Ces facteurs influent au niveau rhéologique, bien développés dans les métasédiments de la mine Casa Berardi-Ouest, ont pu favoriser (*i*) la fracturation hydraulique provoquant la migration des fluides minéralisateurs vers des sites locaux de basse pression, entraînant la précipitation de l'or dans ces sites (Sibson et al., 1988) et (*ii*) le nombre et l'intensité des différents plissements ayant affecté les zones minéralisées pendant et après leur mise en place au cours des phases D_1, D_2 et D_3 enregistrées dans la ZDCB. Les plis de la première phase de déformation (type P_{1b}) et les patrons d'interférence engendrés par la superposition des plis P_2 et P_3 sont les principaux contrôles structuraux qui établissent la géométrie des zones minéralisées aurifères.

Les sites structuraux favorables à la mise en place du système de veines aurifères et des zones de remplacement au niveau du gisement Casa Berardi-Ouest seraient reliés à des zones des failles ductiles et ductiles-fragiles (F_1 - schistes graphiteux) développées en bordure d'une zone mylonitique majeure d'épaisseur décamétrique et d'extension kilométrique exhibant des structures typiques d'une forte déformation hétérogène. Les textures, la minéralogie des veines et des zones de remplacement, les altérations associées et les relations mutuelles de recoupement entre le système de veines de quartz-ankérite et la schistosité S_1, suggèrent une mise en place des minéralisations syntectonique et tardimétamorphique pendant la phase de déformation majeure D_1 au sein de la ZDCB.

Les caractéristiques métallogéniques du gisement Casa Berardi-Ouest se comparent à la typologie des minéralisations aurifères archéennes associées génétiquement à l'évolution de zones de cisaillement d'envergure régionale, à l'exemple des minéralisations associées à la zone de déformation de Cadillac.

REMERCIEMENTS

Cet article fait partie des exigences partielles pour l'obtention d'un diplôme de maîtrise en géologie pour le premier auteur à l'Université du Québec à Montréal. L. Théberge tient à remercier M. Normand Goulet et M. Michel Jébrak, directeurs de recherches. Les auteurs remercient grandement Les Mines Casa Berardi inc. pour l'accès aux infrastructures et pour leur implication financière dans le cadre de cette étude.

Merci aux géologues de mine, spécialement M. Donald Trudel, pour leur implication et les discussions fructueuses pendant les travaux de terrain. Merci à M. Pierre Pilote et à M. Réal Daigneault pour les nombreux renseignements sur la géologie de la propriété de Casa Berardi. Merci à Mme Michelle Laithier pour son assistance à la préparation des figures.

Le support financier a été fourni par Les Mines Casa Berardi inc. et par l'octroi de bourses à L.T. par le Conseil de Recherches en sciences naturelles et en génie du Canada.

BIBLIOGRAPHIE

Bardoux, M., Goulet, N., Morin, D. et Jébrak, M. 1993. «Tectonostratigraphie et minéralisation en or dans la partie occidentale de la zone de Cadillac (Mc Watters, Abitibi, Québec)». *Dans:* Gîtologie des gisements d'or du district de Rouyn-Noranda: Etudes récentes (Couture, J.F., Pilote, P., coordonateur scientifique). *Ministère de l'Energie et des Ressources*, Québec; DV 92-07, P. 9-32.

Belkabir, A. et Hubert, C. 1995. «Geology and structure of a sulfide-rich gold deposit: A exemple from the Mouska gold mine, Bousquet district, Canada». *Economic Geology,* 90, p. 1064-1079.

Card, K. 1990. «A review of the Superior Province of the Canadian Shield, a product of archean accretion». *Precambrian Research*, 61, p. 99-156.

Chown, E.H., Daigneault, R., Mueller, W., et Mortensen, J. 1992. «Tectonic evolution of the Northern Volcanic Zone, Abitibi Belt, Quebec». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29, p. 2211-2225.

Cobbold, P.R. et Quinquis, H. 1980. «Development of sheath folds in shear regimes». *Journal of Structural Geology*, 2, p.119-126.

Couture, J.F., Pilote, P., Machado, N. et Desrochers, J.P. 1994. «Timing of gold mineralization in the Val d'Or district, southern Abitibi belt: Evidence for two distinct mineralization events». *Economic Geology,* 89, p. 1542-1551.

Daigneault, R. et Archambeault, G. 1990. «Les grands couloirs de déformation de la Sous-province de l'Abitibi». *Dans:* La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois. *Editeurs:* M. Rive, P, Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. *L'institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, p.43-64.

Daigneault, R., Chown, E.H., et Mueller, W. 1992. «Tectonic boundary between the Nothern and the Southern Volcanic Zones, Abitibi Subprovince, Québec». Lithoprobe Abitibi-Grenville project Workshop IV, Montréal, École Polytechnique, *Report 33*, p. 7-10.

Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M. et Goulet, N. 1982. «Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part I: Stratigraphy and paleogeographic model». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 19, p. 1729-1758.

Dowling, K. et Morrison, G. 1988. «Application of Quartz textures to the classification of gold deposits using North Queensland Examples». *Dans* : The geology of gold deposits: The perspective in 1988. *éditeurs* : R.R. Keays, W.R.H. Ramsay et D.I. Groves. Economic Geology, monographie 6, p. 342-355.

Dubé, L.M. 1989. Géologie de la région de Joutel-Ruisseau Kistabiche. *Ministère de l'Energie et des Ressources*; Québec, DP 89-10.

Gaboury, D., Tourigny, G., Daigneault, R. et Gobeil, C. 1995. «Quartz vein gold mineralization during arc-formation, the Géant Dormant deposit, Abitibi grennstone belt». International conference on tectonics and metallogeny of early/mid Precambrian orogenic belts. *Dans:* Precambrian '95, program and abstracts, p. 51.

Gauthier, N., Rocheleau, M., Kelly, D. et Gagnon, Y. 1990. «Controls on the distribution of gold mineralisation within the Cadillac tectonic zone, Rouyn-Beauchastel segment, Abitibi Belt, Quebec». *Dans:* La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois. *Editeurs:* M. Rive, P, Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. *L'institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, p.185-198.

Gidon, M. 1987. *Les structures tectoniques*. Orléans: BRGM, 206 p.

Goulet, N. 1978. «Stratigraphy and structural relationships across the Cadillac-Lader Lake Fault, Rouyn-Beauchastel Area, Quebec». Thèse de doctorat, Kingston, *Queen's University*, Ontario, 141 p.

Green, A.G., Milkereit, B., Mayrand, L., Ludden, J.N., Hubert, C., Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., West, G.F., Verpaelst, P. et Simard, A. 1990. «Deep structure of an Archean greestone terrane». *Nature*, 344, p. 327-330.

Hanmer, S.K. 1984. «The potential use of planar and elliptical structures as indicators of strain regime and kinematics of tectonic flow». *Dans* Current research, part B. Geological Survey of Canada, paper 84-1b, p. 133-142.

Hanmer, S.K. et Passchier, C. 1991. Shear-sense indicators: A review. *Geological Survey of Canada,* Ottawa; Paper 90-17, 72 p.

Hocq, M. 1990. «Carte lithotectonique des sous-provinces de l'Abitibi et du Pontiac». *Ministères de l'Energie et des Ressources*; Québec, carte no. 2092 A du DV 89-04.

Jackson, S.L., Sutcliffe, R.H., Ludden, J.N., Hubert, C., Green, A.G., Milkereit, B., Mayrand, L., West, G.F. et Verpaelst, P. 1990. «Southern Abitibi greenstone belt: Archean crustal structure from seismic reflection profiles». *Geology*, 18, p. 1086-1090.

Lacroix, S., Simard, A., Pilote, P. et Dubé, L.-M. 1990. «Regional geologic elements and mineral ressources of the Harricana-Turgeaon Belt, Abitibi of NW Quebec». *Dans:* La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois. *Editeur:* M. Rive, P, Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. *L'institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, pp. 313-326.

Lacroix, S. et Sawyer, E.W. 1995. «A Archean fold-thrust belt in the northwestern Abitibi Greenstone Belt: Structural and seismic evidence». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32, p. 97-112.

La Flèche, M.R. et Camiré, G. 1996. «Geochemestry and provenance of metasedimentary rocks of the Archean Golden Pound sequence (Casa Berardi mining district, Abitibi Subprovince)». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 33, p.676-690.

Ludden, J.N., Hubert, C. et Gariépy, C. 1986. «The tectonic evolution of the Abitibi greenstone belt of Canada». *Geological Magazine*, 123, p. 153-166.

Marquis, P., Brown, A.C., Hubert, C. et Rigg. D.V. 1990. «Overprinting of early, redistributed Fe and Pb-Zn mineralisation by late-stage Au-Ag-Cu at the Dumagami mine, Bousquet district, Abitibi, Quebec». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 27, p.1651-1671.

Mercier, J. et Vergely, P. 1992. *Tectonique*. Dunod, Paris. 214 p.

Morasse, S., Wasteneys, H.A., Cormier, M., Helmstaedt, H. et Mason, R. 1995. « A pré-2686 intrusion-related gold deposit at the Kiena mine, Val d'Or, Québec, southern Abitibi Subprovince». *Economic Geology*, 90, p. 1310-1321.

Mortensen, J.K. 1993. «U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 1: Chibougameau-Matagami-Joutel region». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30, p. 11-28.

Mueller, W. et Donaldson, J.A. 1992. «Development of sedimentary basins in the Archean Abitibi belt, Canada: an overview». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29, p. 2249-2265.

Nicolas, A. 1989. *Principes de tectonique*. Masson, Paris. 223 p.

Pan, Y. et Fleet, M.E. 1995. «The late archean Hemlo gold deposit, Ontario, Canada: a review and synthesis». *Ore Geology Reviews*, 9,.p. 455-488.

Pattison, E.F., Sauerbrei, J.A., Hannila, J.J. et Church, J.F. 1986. «Gold mineralisation in the Casa Berardi erea, Quebec, Canada». *Dans:* Proceedings of GOLD '86. *Editeur;* A.J. Macdonald. Konsult International Inc., Toronto, p. 170-183.

Pilote, P. 1989. «Géologie de la région de Casa Berardi, Dieppe, Collet et Laberge». *Ministères de l'Energie et des Ressources;* Québec, MB 89-43, 20 p.

Pilote, P., Guha, J., Daigneault, R., Robert, F. et Golightly, J.P. 1990. «Contexte structural et minéralisations aurifères des gîtes de Casa Berardi, Abitibi, Québec». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 27, p. 1672-1685.

Pilote, P. et Guha, J. 1996. «Partie B - Métallogénie de l'extrémité est de la Sous-province de l'Abitibi». *Dans:* Géologie et évolution métallogénique de la région de Chibougameau: des gîtes de type Cu-Au-Mo porphyriques aux gisements filoniens mésothermaux aurifères. Livret-guide d'excursion. *Éditeurs:* Pilote, P., Dion, C. et Morin, R. *Ministère des Ressources naturelles,* Québec, MB 96-14, p. 33-48.

Platt, J.P. et Vissers, R.L.M. 1980. «Extensional structures in anisotropic rocks». *Journal of Structural Geology*, 2, p. 397-410.

Platt, J.P. 1983. «Progressive refolding in ductile shar zones». *Journal of Structural Geology*, 5, p.619-622.

Poulsen, K.H. et Robert. F. 1989.«Shear zones and gold: practical exemples from the southern canadian sheild». *Dans;* Minéralisation and shear zones. Short Course notes Volume 6. *Editeur:* Burnsall, J.T. *Geological Association of Canada,* Montréal, p. 239-266.

Ramsay. J.G, et Huber, M.I., 1987. *The techniques of modern structural geology. Volume 2: Folds and fractures.* Academic Press, London, 700p.

Remick, J. 1969. Géologie de la région d'Harricana-Turgeon. *Ministère de l'Energie et de ressources du Québec,* RP-546.

Robert, F. 1989. «Internal structure of the Cadillac tectonic zone southest of Val d'Or, Abitibi greenstone belt, Quebec». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26, p. 2661-2675.

Robert, F. 1990. «An overview of gold deposits in the Eastern Abitibi Subprovince». *Dans:* La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois. *Editeurs:* M. Rive, P, Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. *L'institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, p 93-105.

Robert, F., Brommecker, R. et Budar, D.S. 1990. «The Orenada zone 4 deposit: Deformed vein-type gold mineralisation within the Cadillac tectonic zone, SE of Val d'Or». *Dans:* La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois. *Editeurs:* M. Rive, P, Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. *L'institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, p. 255-268.

Roberts, R.G. 1988. «Archean lode gold deposits». *Dans;* Ore deposit models. *Editeurs;* R.G. Roberts et P.A. Sheahan. *Geoscience Canada.* p. 1-19.

Sansfaçon, R. et Hubert, C. 1990. «The Malartic gold district, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: Geological setting, structure and timing of gold emplacement at Malartic Goldfields, Barnat, East-Malartic, Canadian Malartic and Sladen Mines». *Dans:* La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois. *Editeurs:* M. Rive, P, Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. *L'institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, p. 222-235.

Sawyer, E.W. et Benn, K. 1993. «Structure of the high-grade Opatica Belt and adjacent low-grade Abitibi Subprovince, Canada: an Archean mountain front». *Journal of Structural Geology*, 15, p. 1443-1458.

Sibson, R.H., Robert, F. et Poulsen, K.H. 1988. «High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits». *Geology*, 16, p. 551-555.

Simard, A., Gobeil, A., Verpaelst, P., Rive, M., Lacroix, S. et Racicot, D. 1990. «Relationship between mineral deposits and geologic domains of the Abitibi volcano-plutonic belt of northwestern Quebec». *Dans:* La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois. *Editeurs:* M. Rive, P, Verpaelst, Y. Gagnon, J.-M. Lulin, G. Riverin, et A. Simard. *L'institut canadien des mines et de la métallurgie*, volume spécial 43, p. 1-16.

Théberge, Luc., Goulet, Normand., Pilote, Pierre. et Daigneault, Réal. 1994a. Évolution des déformations au sein de la Zone Tectonique de Casa Berardi: Relations avec la minéralisation aurifère, Abitibi, Québec. *Réunion annuelle de l'APGGQ,* Val d'Or. Programme et résumé.

Théberge, Luc., Goulet, Normand., Pilote, Pierre. et Daigneault, Réal. 1994b. Evolution of the Casa Berardi Tectonic Zone: Relationship to gold mineralisation, Abitibi, Québec. Réunion annuelle de l'AGC-AMC, Waterloo. Conférence *dans* Programme et résumés, 19, p. A-111.

Théberge, Luc., Goulet, Normand. et Jébrak, Michel. 1994c. Cisaillement, rampes et plissements à la mine Casa Berardi-Ouest, Abitibi, Québec: Implications sur la géométrie des gisements d'or. *Ministère de l'Énergie et des Ressources.* Québec. Conférence *dans* Programme et résumés, DV 94-09, p. 17.

Tourigny, G., Brown, A.C., Hubert, C. et Crépeau, R. 1989. «Synvolcanic and syntectonic gold minéralisation at the Bousquet mine, Abitibi Greenstone Belt, Quebec«. *Economic Geology*, 84, p. 1875-1890.

Tourigny, G. 1993. Géologie de la mine Bousquet No. 2: un gisement aurifère polymétallique de type pyriteux, Abitibi, Québec. *Dans:* Gîtologie des gisements d'or du district de Rouyn-Noranda: Etudes récentes (Couture, J.F., Pilote, P., coordonateur scientifique). Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec; DV 92-07, P. 75-116.

Trudel, P., Sauvé, P., Tourigny, G. Hubert, C. et Hoy, L. 1992. Synthèse des caractéristiques géologiques des gisements d'or de la région de Cadillac. (Abitibi). *Ministère de l'Energie et des Resources;* Québec, MM 91-01, 106 p.

Turner, F.J., et Weiss, L.E., 1963. *Structural analysis of metamorphic tetonites.* McGraw-Hill Book Compagny, inc., New York. 545 p.

Valliant, R.L. et Hutchinson, R.W. 1982. «Stratigraphic distribution and genesis of gold deposits, Bousquet region, northwestern Quebec». *Canadian institute of mining and metallurgy*; special volume 24, p. 27-40.

CONCLUSIONS GENERALES

Les résultats de cette recherche permettent, grâce aux nouvelles informations qu'elle contient, de mieux connaître le contexte géologique de la mine Casa Berardi-Ouest, notamment au niveau de la période de mise en place des zones minéralisées aurifères. Cette étude a contribué à la compréhension de la morphologie du gisement Ouest et aidé à comparer cette morphologie singulière avec celle des autres gisements de la propriété Casa Berardi (Casa Berardi-Centre et Est), afin d'aider à la recherche de nouvelles ressources. Aussi, la cartographie des structures a montré l'importance de l'anisotropie présente à l'intérieur de la zone de déformation de Casa Berardi et l'influence de cette anisotropie sur le développement de chacune des phases de déformation.

La phase D_1 est caractérisée par la formation d'une schistosité S_1 pénétrative associée à la formation de plissements isoclinaux P_{1a}. Cette schistosité a créé une anisotropie planaire importante ayant facilité la formation de failles ductiles (F_1) et de plis et schistosité secondaires (P_{1b}, S_1') par cisaillement et glissement continu sur S_1. Les failles F_1 auraient permis la circulation des fluides minéralisateurs et dépôt de l'or à l'intérieur de veines de quartz et de zones de remplacement. La mise en place multiphasée de la minéralisation est suggérée par l'intensité variable de la transposition des veines de quartz par les plis P_{1b}.

Les phases D_2 et D_3 sont responsables du plissement des structures antérieures et des zones minéralisées. Des patrons d'interférence en dômes et bassins d'échelle décamétrique sont alors créés et modifient de façon sensible la géométrie initiale des zones minéralisées. L'amplitude peu commune de ces plis (P_2 et P_3) au niveau du gisement Casa Berardi-Ouest est nettement supérieur au gisement Casa Berardi-Est. L'orientation favorable du pendage de l'anisotropie principale S_1 relativement aux directions de raccourcissement rattachées à D_2 et D_3, expliquerait la plus grande intensité des plissements P_2 et P_3 à la mine Ouest. Toutefois, des plissements de même intensité sont interprétés sur de nombreuses sections de forage dans plusieurs autres secteurs sur la propriété Casa Berardi.

Les grandes failles cassantes, telles la faille Sud et la faille Casa Berardi recoupent toute les structures associées à D_1, D_2 et D_3. Ces dernières ne sont donc pas impliquées génétiquement au niveau de la mise en place de l'or, bien que leurs relations spatiales avec les gisements semblent constantes. La position préférentielle de ces failles à l'intérieur de schistes graphiteux incompétents adjacents aux gisements, illustre de nouveau le rôle important de l'anisotropie primaire dans le positionnement et l'évolution de structures secondaires au sein de zones de déformation régionales.