

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR  
JÉRÔME LAVOIE

CONTRÔLES STRUCTURAUX DES VEINES AURIFÈRES MERCEDES ET  
JIMENA, PATAZ, LA LIBERTAD, CENTRE-NORD DU PÉROU

OCTOBRE 2008



## *Mise en garde/Advice*

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

## RÉSUMÉ

L'étude suivante porte sur le gisement de Poderosa, situé dans le district de Pataz, La Libertad, Pérou. De nombreuses études sur la géologie du secteur ont été réalisées dans les années antérieures. Cependant, la géométrie des veines dans le batholite, ainsi que le contrôle de la minéralisation et le rôle de la déformation sur la formation des veines sont encore mal connus.

Nous avons travaillé sur les contrôles structuraux de deux veines aurifères (Mercedes et Jimena). Afin de mieux comprendre les processus de mise en place des ces veines, nous avons élaboré une chronologie relative des différents événements de formation et de transformation de ces deux dernières. Premièrement, nous avons cartographié en détail différents secteurs de la mine. Dans un deuxième temps, nous avons effectué un levé structural ainsi que des observations macro et microscopiques sur les échantillons prélevés. La majeure partie de ce travail de recherche a consisté en la synthèse de l'ensemble des données obtenues et en la comparaison des deux veines étudiées. Cette synthèse a permis de mettre en évidence les points suivants : Les veines aurifères de la région de Pataz sont formées par un mécanisme en extension assisté par la pression des fluides. Ce mécanisme implique plusieurs incrément d'ouverture-remplissage (*crack-seal*). Les veines Mercedes et Jimena sont le résultat du remplissage d'un système de fractures pré-existantes agissant comme une anisotropie favorable. Quatre paragenèses minérales sont identifiées aux deux veines : 1) Ser/Mv + Chl; 2) Qz + Ca; 3) Qz + Py + Aspy  $\pm$  Ca  $\pm$  Au et 4) Qz + Sp  $\pm$  Ga  $\pm$  Cpy  $\pm$  Ca  $\pm$  Au. Deux styles de déformation sont observés aux veines étudiées, un style ductile et un style fragile. Ces deux styles de déformation représentent des événements distincts mais peuvent se produire dans un processus continu de déformation. Les textures magmatiques préservées et l'absence de schistosité dans les fragments d'éponge altérés et isolés dans les veines est le fait le plus marquant qui montre que les veines sont anté-déformation. La déformation ductile est superposée à la formation des veines Mercedes et Jimena. La position des vecteurs minéralisés est contrôlée par la localisation des failles majeures et l'intersection de systèmes de fractures. Les failles ont agi comme des conduits pour l'acheminement des fluides hydrothermaux.

Nos observations de cartographie, appuyées par la prise de données sur le terrain ainsi que par la description microscopique, indiquent que les veines aurifères Mercedes et Jimena sont anté-déformation, ce qui implique que la précipitation de l'or se produit avant la déformation régionale.

### **Remerciements**

J'aimerais dans un premier temps remercier sincèrement Réal Daigneault pour sa patience, ses nombreux et précieux conseils (parfois douteux mais souvent judicieux). Sans Réal, cet ouvrage ne serait probablement pas terminé aujourd'hui. Merci Réal.

Deuxièmement, je remercie mes co-directeurs Jayanta Guha ainsi que Damien pour le temps qu'ils ont accordé et investi pour cette étude. Je tiens à remercier spécialement M. Enrick Tremblay qui m'a accompagné sur le terrain durant les 6 mois au Pérou.

Troisièmement, un merci spécial à la compagnie Minera Poderosa SA et spécialement M. Marcello Santillana (Directeur général), Fausto Cueva (Géologue en chef) et les nombreux géologues à la mine qui m'ont aidé et sans qui l'étude n'aurait pu voir le jour. Je garde de très bons souvenirs du Pérou et des gens que j'ai cotoyés durant ces 6 mois.

Finalement, un merci spécial à ma mère et mon père qui m'ont toujours encouragé tout au long de ce cheminement. Sans vous, je ne serais pas où je suis rendu aujourd'hui. Merci d'avoir toujours cru en moi.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>1</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>2</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES.....</b>	<b>3</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>12</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>14</b>
<b>CHAPITRE I CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>15</b>
1.1 – INTRODUCTION .....	15
1.2 - PROBLÉMATIQUE .....	16
1.2.1 – <i>Problématique générale</i> .....	16
1.2.1.1 – Classification des gisements aurifères versus déformation des gisements.....	17
1.2.1.2 – Localisation, géométrie et développement des vecteurs minéralisés...19	19
1.2.1.3 – Anisotropies préexistantes.....	21
1.2.1.4 – Acheminement des fluides hydrothermaux .....	21
1.2.1.5 – Mécanismes de formation des veines.....	22
1.2.1.6 – Textures des minéraux de remplissage.....	26
1.2.1.7 – Paragénèses minérales et métalliques .....	29
1.2.2 – <i>Problématique reliée aux veines aurifères de la région de Pataz, La Libertad, Pérou</i> .....	31
1.2.2.1 – Introduction.....	31
1.2.2.2 – Mécanismes de formation.....	32
1.2.2.3 – Failles majeures et lithologie encaissante.....	33
1.3 – OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	35
1.4 – MÉTHODOLOGIE .....	36
1.4.1 - <i>Terrain</i> .....	36
1.4.2 – <i>Laboratoire</i> .....	36
1.4.2.1 – Numérisation des données .....	36
1.4.2.2 – Travaux sur les échantillons mégascopiques orientés et non orientés et pétrographie.....	37
1.4.2.3 – Traitement des données .....	37
1.5 – GÉOLOGIE RÉGIONALE ET LOCALE .....	39
1.5.1 – <i>Contexte géostructural de la Cordillère des Andes Orientales, secteur de Pataz</i> .....	39
1.5.1.1 – Introduction.....	39
1.5.1.2 – Localisation.....	39
1.5.1.3 – Séquence stratigraphique .....	42
1.5.2 – <i>Batholite de Pataz</i> .....	45
1.5.2.1 – Morphologie.....	45
1.5.2.2 – Composition.....	47
1.5.2.3 – Géochronologie .....	47
1.5.3 – <i>Généralités sur les veines Mercedes et Jimena</i> .....	48

1.5.3.1 - Introduction .....	48
1.5.3.2 – Géométrie des veines et des vecteurs minéralisés (oreshoot).....	48
1.5.3.3 – Paragenèse minérales, métalliques et minéraux d'altération.....	52
<b>CHAPITRE II DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDES .....</b>	<b>53</b>
2.1 - INTRODUCTION.....	53
2.1.1 – <i>Généralités</i> .....	53
2.2 – SITE 2190-GLN, VEINE LA BRAVA .....	55
2.2.1 – <i>Localisation</i> .....	55
2.2.2 – <i>Lithologie</i> .....	55
2.2.3 - <i>Veine</i> .....	59
2.2.4 - <i>Pétrographie</i> .....	61
2.2.5 – <i>Structure et déformation</i> .....	61
2.2.5.1 – <i>Fractures</i> .....	61
2.2.5.2 – <i>Failles mineures</i> .....	65
2.2.5.3 – <i>Plans de décollement</i> .....	65
2.2.6 - <i>Altération</i> .....	66
2.2.7 - <i>Sommaire</i> .....	69
2.3 – SITE 2190-GLN, ZONE DE FAILLES LA BRAVA NORTE, VEINE MERCEDES.....	70
2.3.1 - <i>Localisation</i> .....	70
2.3.2 - <i>Lithologie</i> .....	70
2.3.3 - <i>Veine</i> .....	71
2.3.4 – <i>Structures et déformation</i> .....	73
2.3.5 - <i>Altération</i> .....	74
2.3.6 - <i>Sommaire</i> .....	77
2.4 - SITE 1987-GLN, ZONE DE FAILLES DE CORI HUARMI, VEINE MERCEDES .....	78
2.4.1 - <i>Localisation</i> .....	78
2.4.2 - <i>Lithologie</i> .....	78
2.4.3 - <i>Veine</i> .....	79
2.4.4 – <i>Structures et déformation</i> .....	81
2.4.5 - <i>Altération</i> .....	83
2.4.6 - <i>Sommaire</i> .....	85
2.5 – SITE 1987-GLN, RAMPA BONITA NEGATIVA, VEINE MERCEDES .....	86
2.5.1 - <i>Localisation</i> .....	86
2.5.2 - <i>Lithologie</i> .....	86
2.5.3 - <i>Veine</i> .....	86
2.5.4 - <i>Structures</i> .....	90
2.5.5 - <i>Altération</i> .....	92
2.5.6 - <i>Sommaire</i> .....	92
2.6 – SITE 1757-GLE, VEINE MERCEDES .....	94
2.6.1 – <i>Localisation</i> .....	94
2.6.2 - <i>Lithologie</i> .....	94
2.6.3 - <i>Veine</i> .....	96
2.6.4 - <i>Structures</i> .....	97
2.6.5 - <i>Altération</i> .....	102
2.6.6 - <i>Sommaire</i> .....	102
2.7 – SITE 2017-GLN, VEINE JIMENA .....	104

2.7.1 - <i>Localisation</i> .....	104
2.7.2 - <i>Lithologie</i> .....	104
2.7.3 - <i>Veine</i> .....	104
2.7.4 - <i>Structures</i> .....	110
2.7.5 - <i>Altération</i> .....	111
2.7.6 - <i>Sommaire</i> .....	113
2.8 – SITE 2017-GLS, VEINE JIMENA.....	114
2.8.1 - <i>Localisation</i> .....	114
2.8.2 – <i>Lithologie</i> .....	114
2.8.3 - <i>Veine</i> .....	115
2.8.4 - <i>Structure</i> .....	118
2.8.5 - <i>Altération</i> .....	121
2.8.6 - <i>Sommaire</i> .....	121
2.9 - SITE 1987-GLN, RAMPA LOLA POSITIVA – VEINE JIMENA.....	123
2.9.1 – <i>Localisation</i> .....	123
2.9.2 - <i>Lithologie</i> .....	123
2.9.3 - <i>Veine</i> .....	123
2.9.4 - <i>Structures</i> .....	130
2.9.5 - <i>Altération</i> .....	130
2.9.6 - <i>Sommaire</i> .....	134
2.10 – SITE 1950-GLN, TAJO 7977, VEINE JIMENA.....	135
2.10.1 - <i>Localisation</i> .....	135
2.10.2 – <i>Lithologie</i> .....	136
2.10.3 - <i>Veine</i> .....	136
2.10.4 - <i>Structure</i> .....	141
2.10.5 - <i>Altération</i> .....	144
2.10.6 - <i>Sommaire</i> .....	144
2.11 - SITE 1950-GLN, VEINE JIMENA .....	147
2.11.1 – <i>Localisation</i> .....	147
2.11.2 - <i>Lithologie</i> .....	147
2.11.3 - <i>Veine</i> .....	147
2.11.4 - <i>Structures</i> .....	150
2.11.5 - <i>Altération</i> .....	153
2.11.6 - <i>Sommaire</i> .....	153
<b>CHAPITRE III INTERPRÉTATION DES DONNÉES.....</b>	<b>156</b>
3.1 – PARAMÈTRES DE CONTRÔLES DES VEINES MERCEDES ET JIMENA .....	156
3.1.1 – <i>Synthèse descriptive des veines Mercedes et Jimena</i> .....	156
3.1.1.1 – Morphologie et textures.....	156
3.1.1.2 – Variation de la morphologie et des textures: Veine Mercedes .....	162
3.1.1.3 – Variation de la morphologie et des textures: Veine Jimena .....	166
3.1.2 - <i>Géométrie des familles de fractures et des veines</i> .....	172
3.1.3 – <i>Lithologie encaissante</i> .....	176
3.1.4 – <i>Paragénèses</i> .....	176
3.1.4.1 – Minéraux d'altération.....	176
3.1.4.2 – Gangue.....	178
3.1.4.3 – Sulfures.....	180

3.1.4.4 – Au.....	182
3.1.5 – Altération.....	182
3.1.6 – Déformation des épontes et des veines .....	184
3.1.6.1 – Déformation dans les épontes.....	184
3.1.6.2 – Déformation au sein des veines .....	187
3.1.6.3 – Synthèse.....	192
3.1.6.3 – Sommaire.....	194
3.1.7 – Relation entre la teneur en Au, le pendage et l'épaisseur .....	195
3.1.7.1 – Veine Mercedes .....	195
3.1.7.2 – Veine Jimena.....	198
3.1.8 – Rôle des failles.....	201
3.1.8.1 – Synthèse et intégration des données totales des failles .....	201
3.1.8.2 – Altération .....	201
3.2 – COMPARAISON ENTRE LES VEINES MERCEDES ET JIMENA .....	203
<b>CHAPITRE IV SYNTHÈSE, DISCUSSION ET CONCLUSIONS.....</b>	<b>206</b>
4.1 – RELATION VEINE-DÉFORMATION .....	206
4.2 – RELATION VEINES-FRACTURES .....	208
4.3 – RÔLE DES FAILLES MAJEURES ET CONTRÔLES DES ORESHOOTS .....	209
4.4 – MODÈLE DE FORMATION DES VEINES AURIFÈRES MERCEDES ET JIMENA .....	212
4.5 – CONCLUSIONS.....	216
RÉFÉRENCES .....	218
<b>ANNEXE A – DONNÉES STRUCTURALES .....</b>	<b>224</b>
<b>ANNEXE B - TABLEAUX SYNTHÈSES : DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDES .....</b>	<b>225</b>
<b>ANNEXE C - TABLEAU SYNTHÈSE : MORPHOLOGIE ET FACIÈS.....</b>	<b>226</b>
<b>ANNEXE D - TABLEAU SYNTHÈSE : PARAGENÈSES MÉTALLIQUES, MINÉRAUX DE GANGUE ET D'ALTERATION.....</b>	<b>228</b>
<b>ANNEXE E - TABLEAUX SYNTHÈSES : DONNÉES TENEUR, DIRECTION ET PENDAGE FOURNIES PAR LA COMPAGNIE MINERA PODEROSA S.A. .....</b>	<b>229</b>

## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I :

**Figure 1.1** – Environnements tectoniques associés aux gisements aurifères (Groves et al., 1998).

**Figure 1.2** – Localisation et géométrie possibles des vecteurs minéralisés selon Peters, 1993a. Développement d'une veine encaissée dans un granitoïde (Peters, 1993b).

**Figure 1.3** – A) Différents types de veines. B) Formation d'espaces ouverts dans les zones de cisaillement.

**Figure 1.4** – Modèle de formation des veines en cisaillement durant un événement tectonique compressif tardif à la mine Sigma. (Robert et Brown, 1986).

**Figure 1.5** – a) Développement schématique d'une veine par un mécanisme d'ouverture de type *crack-seal* (Ramsay, 1980). b) Classification des veines laminées selon Koehn et Passchier (2000). c) Principales caractéristiques des veines fibreuses en fonction de la composition et de la relation avec l'encaissant (Ramsay et Huber, 1983). d) Évolution d'une veine selon un mécanisme d'ouverture de type *crack-seal, slip* (Petit et al., 1999).

**Figure 1.6** – a) Classification des textures dans les veines du point de vue génétique. b) Facteurs de contrôle de la morphologie du quartz dans les veines. Dong et al., 1995.

**Figure 1.7** – Vecteur minéralisé contrôlé par une géométrie d'intersection entre une faille majeure et un plan de fracturation définie comme So (veine). Figure de Daigneault, non publiée. D'après Peters, 1993a.

**Figure 1.8** – Localisation du district aurifère de Pataz, province de La Libertad, Pérou.

**Figure 1.9** – Image satellite du district aurifère de Pataz avec superposition de la portion Nord du batholite de Pataz et des traces de veines en surface, province de La Libertad, Pérou.

**Figure 1.10** – Localisation et géologie régionale du district aurifère de Pataz, province de La Libertad, Pérou.

**Figure 1.11** – a) Localisation et géologie de la partie Nord du district aurifère de Pataz, district de La Libertad, Pérou. b) Diagramme AFM d'échantillons provenant du batholite de Pataz. c) Classification des échantillons provenant du batholite de Pataz dans un diagramme Q-A-P selon Streckeisen (1976).

**Figure 1.12** – Plan général de la section nord du batholite de Pataz avec la représentation des veines en surface. b) Stéréogramme équiaire de toutes les veines.

**Figure 1.13** – a) Plan général de la veine Mercedes avec la localisation des mesures utilisées pour le traitement des données. b) Stéréogramme équiaire montrant la distribution des pôles des mesures de la veine Mercedes. c) Stéréogramme équiaire montrant la distribution des pôles des mesures de la veine Jimena.

**Figure 1.14** – Géométrie de la zone de *oreshoot* délimitée et contrôlée par les failles principales à la veine Mercedes.

**Figure 1.15** – Géométrie de la zone de *oreshoot* aux veines Mercedes et Jimena. b) Maille par interpolation avec la méthode de l'inverse de la distance au carré sur la variable teneur Au (g/t) à la veine Jimena avec localisation des structures majeures interprétées.

## Chapitre II :

**Figure 2.1** – Localisation des sites de cartographie pour les veines Mercedes, Jimena et Karola.

**Figure 2.2** – Localisation du site 2190-GLN et 2190-GLN, zone de failles La Brava.

**Figure 2.3** – Géologie du site 2190-GLN.

**Figure 2.4** – Contact diorite-granodiorite, site 2190-GLN.

**Figure 2.5** – Cartographies de détail, site 2190-GLN.

**Figure 2.6** – a), b) et c) Cartographies de détail, site 2190-GLN. d) Distribution des pôles des mesures structurales de la veine principale et des veines secondaires, site 2190-GLN.

**Figure 2.7** – Microphotographies de l'échantillon EM1-5, veine Mercedes site 2190-GLN.

**Figure 2.8** – Veine Mercedes, niveau 2190-GLN.

**Figure 2.9** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 2190-GLN.

**Figure 2.10** – a) Géologie site 2190-GLN, zone de failles La Brava. b) Échantillon mégascopique EM1-1 cataclasé. c) Distribution des pôles des mesures structurales de la veine principale et de la faille La Brava Norte, site 2190-GLN, zone de failles La Brava.

**Figure 2.11** – Lithologie encaissante du site 2190-GLN, zone de failles La Brava.

**Figure 2.12** – Microphotographies montrant des textures de déformation cataclasées des échantillons EM2-3 et EM1-1, veine Mercedes site 2190-GLN, zone de failles La Brava.

**Figure 2.13** – Localisation et géologie du site 1987-GLN, zone de failles de Cori Huarmi.

**Figure 2.14** – Photographies de détails de la veine Mercedes, de la roche encaissante et de la zone de failles de Cori Huarmi, 1987-GLN, zone de failles de Cori Huarmi.

**Figure 2.15** – a), b) et c) Distribution des pôles des mesures structurales du site 1987-GLN, zone de failles de Cori Huarmi. d) Vue en section de la faille de Cori Huarmi, niveau 2080-GLN Rampa Lola 3.

**Figure 2.16** – Localisation et géologie du site 1987-GLN, Rampa Bonita Negativa.

**Figure 2.17** – a) Veine Mercedes et b), c), d) Vues en section et en plan de la faille La Brava, site 1987-GLN zone de failles La Brava.

**Figure 2.18** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 1987-GLN, Rampa Bonita Negativa.

**Figure 2.19** – Localisation du site 1757-GLE, veine Mercedes.

**Figure 2.20** – Géologie du site 1757-GLE, veine Mercedes.

**Figure 2.21** – Détails de la veine Mercedes, site 1757-GLE.

**Figure 2.22** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 1757-GLE.

**Figure 2.23** – Vue en plan de la veine Jimena.

**Figure 2.24** – Localisation des sites de cartographies de la veine Jimena.

**Figure 2.25** – Géologie du site 2017-GLN

**Figure 2.26** – Veine Jimena, site 2017-GLN.

**Figure 2.27** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 2017-GLN.

**Figure 2.28** – Géologie du site 2017-GLS, partie Nord, veine Jimena.

**Figure 2.29** – Géologie du site 2017-GLS, partie Sud, veine Jimena.

**Figure 2.30** – Vue en section de la veine Jimena et de la zone d'altération, site 2017-GLS.

**Figure 2.31** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 2017-GLS.

**Figure 2.32** – Géologie du site 1987-GLN, Rampa Lola positiva, veine Jimena.

**Figure 2.33** – Détails de la veine Jimena, site 1987-GLN Rampa Lola positiva.

**Figure 2.34** – Détails de la veine Jimena, site 1987-GLN Rampa Lola positiva.

**Figure 2.35** – Détails de la veine Jimena, site 1987-GLN Rampa Lola positiva.

**Figure 2.36** – Détails de la veine Jimena, de la roche encaissante et de la zone d'altération, site 1987-GLN Rampa Lola positiva.

**Figure 2.37** – Détails de la veine Jimena, site 1987-GLN Rampa Lola positiva.

**Figure 2.38** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva.

**Figure 2.39** – Géologie du site 1950-GLN tajo 7977, veine Jimena.

**Figure 2.40** – Détails de la veine Jimena, site 1950-GLN tajo 7977.

**Figure 2.41** – Détails d'une zone de bréchification, site 1950-GLN tajo 7977, veine Jimena.

**Figure 2.42** – Détails de la veine Jimena, site 1950-GLN tajo 7977.

**Figure 2.43** – Détails de la veine Jimena et de la zone d'altération, site 1950-GLN tajo 7977.

**Figure 2.44** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 1950-GLN, tajo7977.

**Figure 2.45** – Géologie du site 1950-GLN, veine Jimena.

**Figure 2.46** – Détails de la veine Jimena, site 1950-GLN.

**Figure 2.47** – Détails de la veine Jimena et de la zone d'altération, site 1950-GLN.

**Figure 2.48** – Distribution des pôles des mesures structurales du site 1950-GLN, veine Jimena.

### **Chapitre III :**

**Figure 3.1** – I) Principales morphologies et II) textures rencontrées aux veines Mercedes et Jimena ainsi qu'une qualification de la déformation associée (III).

**Figure 3.2** – Représentation schématique des morphologies observées à la veine Mercedes.

**Figure 3.3** – Représentation schématique des textures observées à la veine Mercedes.

**Figure 3.4** – a) Répartition des morphologies observées par rapport au vecteur minéralisé de la veine Mercedes. b) Développement de la veine Mercedes sur un même site de cartographie.

**Figure 3.5** – Représentation schématique des morphologies observées à la veine Jimena.

**Figure 3.6** – Représentation schématique des textures observées à la veine Jimena.

**Figure 3.7** – Stéréogramme équiaire montrant la distribution des mesures structurales des veines et des fractures aux veines Mercedes et Jimena.

**Figure 3.8** – Comparaison des fractures observées et mesurées sur 3 sites d'observations.

**Figure 3.9** – Représentation paragénétique simplifiée de la minéralisation, des minéraux de gangue, des minéraux d'altération et de la déformation aux veines Mercedes et Jimena.

**Figure 3.10** – Paragenèses minérales observées aux veines Mercedes et Jimena.

**Figure 3.11** – Paragenèses minérales observées aux veines Mercedes et Jimena, suite.

**Figure 3.12** – a) Microphotographie de la diorite fraîche. b) Microphotographie de la diorite altérée en séricite-chlorite provenant d'une zone d'altération.

**Figure 3.13** – Bande restreinte de déformation ductile au plancher de la veine Jimena, site 1950-GLN. b) Tonalite cataclasée montrant deux fabriques planaires (C et C'), site 2190-GLN, zone de failles La Brava.

**Figure 3.14** – a) Microphotographie montrant une veine peu déformée. b) Échantillon faiblement déformé montrant des sulfures interstitielles aux grains de quartz.

**Figure 3.15** – Microphotographies illustrant les différents styles de déformation aux veines Mercedes et Jimena.

**Figure 3.16** – Microphotographies illustrant les différents styles de déformation aux veines Mercedes et Jimena, suite.

**Figure 3.17** – Maille par interpolation avec la méthode des voisins naturels de la partie basale de la veine Mercedes pour les variables : a) teneur, b) pendage (veine total) et c) épaisseur.

**Figure 3.18** – Section montrant la variation de la teneur des niveaux inférieurs de la veine Mercedes.

**Figure 3.19** – Section montrant la variation de l'épaisseur des niveaux inférieurs de la veine Mercedes.

**Figure 3.20** – a) Maille par interpolation avec la méthode de l'inverse de la distance au carré à la veine Jimena pour la variable teneur. b à h) Section montrant la variation de la teneur aux sites de cartographies de la veine Jimena.

**Figure 3.21** – a) Stéréogramme équiaire des données personnelles de terrain des failles observées à la veine Mercedes. b) Localisation des mesures structurales des failles mineures et majeures observées à la veine Mercedes. c) Stéréogramme équiaire des données fournies par la compagnie Minera Poderosa S.A. des failles observées à la veine Mercedes. d) et e) Extraction des données d'orientation de la veine Mercedes en bordure des failles Maria et Cori Huarmi.

## Chapitre IV :

**Figure 4.1** – Contrôle des vecteurs minéralisés par l'intersection des failles majeures et des plans de fracturation  $S_o$  (Daigneault, non publié. D'après Peters, 1993a).

**Figure 4.2** – Modèle évolutif de la formation des veines aurifères de la région de Pataz.

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

**Aspy** : arsénopyrite

**Bte** : biotite

**Ca** : carbonates

**Chl** : chlorite

**Cpy** : chalcopyrite

**Ép** : epidote

**$E_{moy}$**  : épaisseur moyenne de la veine

**$E_{max}$**  : épaisseur maximale de la veine

**$E_{var}$**  : variation de l'épaisseur de la veine

**Fp** : feldspath

**Frag** : fragment

**Ga** : galène

**Hb** : hornblende

**Max** : maximal  
**Moy** : moyenne  
**Mv** : muscovite  
**Pl** : feldspath plagioclase  
**Py** : pyrite  
**Qz** : quartz  
**Sér** : séricite  
**SF** : sulfures  
**Sph** : sphalérite  
**Tr** : traces  
**Var** : variable  
**//** : parallèle

## LISTE DES TABLEAUX

<b>TABLEAU 2.2.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 2190-GLN, VEINE LA BRAVA.....</b>	<b>59</b>
<b>TABLEAU 2.2.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 2190-GLN. ....</b>	<b>60</b>
<b>TABLEAU 2.2.3 – CARACTÉRISTIQUES DES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX, SITE 2190-GLN..</b>	<b>65</b>
<b>TABLEAU 2.3.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 2190-GLN-ZONE DE FAILLES LA BRAVA.....</b>	<b>71</b>
<b>TABLEAU 2.3.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE LA BRAVA (VEINE MERCEDES ?), SITE 2190-GLN-ZONE DE FAILLES LA BRAVA NORTE.....</b>	<b>73</b>
<b>TABLEAU 2.4.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 1987-GLN-ZONE DE FAILLES DE CORI HUARMI.....</b>	<b>81</b>
<b>TABLEAU 2.5.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 1987-GLN, RAMPA BONITA NEGATIVA.....</b>	<b>88</b>
<b>TABLEAU 2.6.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 1757-GLE. ....</b>	<b>96</b>
<b>TABLEAU 2.6.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 1757-GLE.....</b>	<b>97</b>
<b>TABLEAU 2.6.3 – CARACTÉRISTIQUE DES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX, SITE 1757-GLE..</b>	<b>100</b>
<b>TABLEAU 2.7.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 2017-GLN.....</b>	<b>110</b>
<b>TABLEAU 2.8.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 2017-GLS....</b>	<b>115</b>
<b>TABLEAU 2.8.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 2017-GLS. ....</b>	<b>118</b>
<b>TABLEAU 2.9.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 1987-GLN, RAMPA LOLA POSITIVA.....</b>	<b>125</b>
<b>TABLEAU 2.10.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 1950-GLN, TAJO 7977. .....</b>	<b>141</b>
<b>TABLEAU 2.11.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 1950-GLN.....</b>	<b>150</b>
<b>TABLEAU 3.4.1 – PRINCIPAUX MINÉRAUX D’ALTÉRATION EN FONCTION DE LA ROCHE ENCAISSANTE .....</b>	<b>184</b>

## CHAPITRE I

### CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE

#### 1.1 – Introduction

Le présent projet porte sur le gisement de Poderosa, situé dans le district de Pataz, La Libertad, Pérou (Figure 1.8). Le secteur a fait l'objet de plusieurs études portant sur la géologie régionale du batholite de Pataz ou sur la géologie locale des propriétés appartenant à la compagnie Minera Poderosa S.A. (structure, géochimie, âge des différentes lithologies et de la minéralisation ; Wilson et Reyes, 1964 ; Schreiber, 1989 ; Schreiber et al. 1990a et 1990b; Haeberlin et *al.*, 2000, Haeberlin, 2002). Par contre, la géométrie des veines dans le batholite de Pataz, le contrôle de la minéralisation dans une veine donnée et le rôle de la déformation sur la formation des veines sont des éléments encore mal connus. Le projet porte sur les contrôles structuraux des veines aurifères de la région de Pataz (Province de La Libertad, Centre-Nord du Pérou) et spécifiquement sur l'étude des veines Mercedes et Jimena situées dans le sous-district de Papagayo, dans la partie Nord du batholite de Pataz. Cette étude vise à avoir une meilleure connaissance de la géométrie du système de veines et des contrôles de la minéralisation dans les veines Mercedes et Jimena et l'élaboration d'une chronologie relative des différents événements de formation et de transformation des veines.

Le batholite de Pataz est en majorité la propriété de la compagnie Minera Poderosa S.A. Le projet est conjoint avec l'Université du Québec à Chicoutimi (U.Q.A.C.) et la compagnie Minera Poderosa S.A.

Le mémoire se divise en quatre (4) chapitres. Le premier chapitre présente le cadre général de l'étude, incluant la problématique, les objectifs, la méthodologie employée lors des travaux de terrain et de laboratoire ainsi que la géologie régionale et locale. Le second chapitre donne la description des sites d'études aux veines Mercedes et Jimena. Ce chapitre décrit chaque site étudié et présente les observations de terrains, le traitement des mesures structurales, les cartographies de détails ainsi que l'analyse pétrographique et structurale des échantillons. Cette approche descriptive site par site est préconisée dans le but de transmettre le plus d'information possible à la compagnie Minera Poderosa S.A au détriment d'une synthèse des observations qui aurait allégé le texte. Le troisième chapitre interprète les données en produisant une synthèse de l'étude des veines Mercedes et Jimena. Cette synthèse porte sur la géométrie des veines et des familles de fractures, les différentes paragenèses et textures observées dans les veines, l'altération des épontes, la déformation des veines et des épontes, une synthèse descriptive sur la morphologie et les textures observées aux deux veines, les relations entre la teneur, le pendage et l'épaisseur des veines et le rôle des failles transversales. Le chapitre se termine avec une comparaison entre les deux veines. Le chapitre 4 comprend un retour sur les résultats obtenus, une discussion et les principales conclusions du projet. Ce chapitre mettra en lumière la relation entre les veines et la déformation, la relation entre les veines et les systèmes de fractures et finalement la relation entre les failles transversales et la position des vecteurs minéralisés. De plus, cette partie du mémoire propose un modèle de formation des veines Mercedes et Jimena.

## 1.2 - Problématique

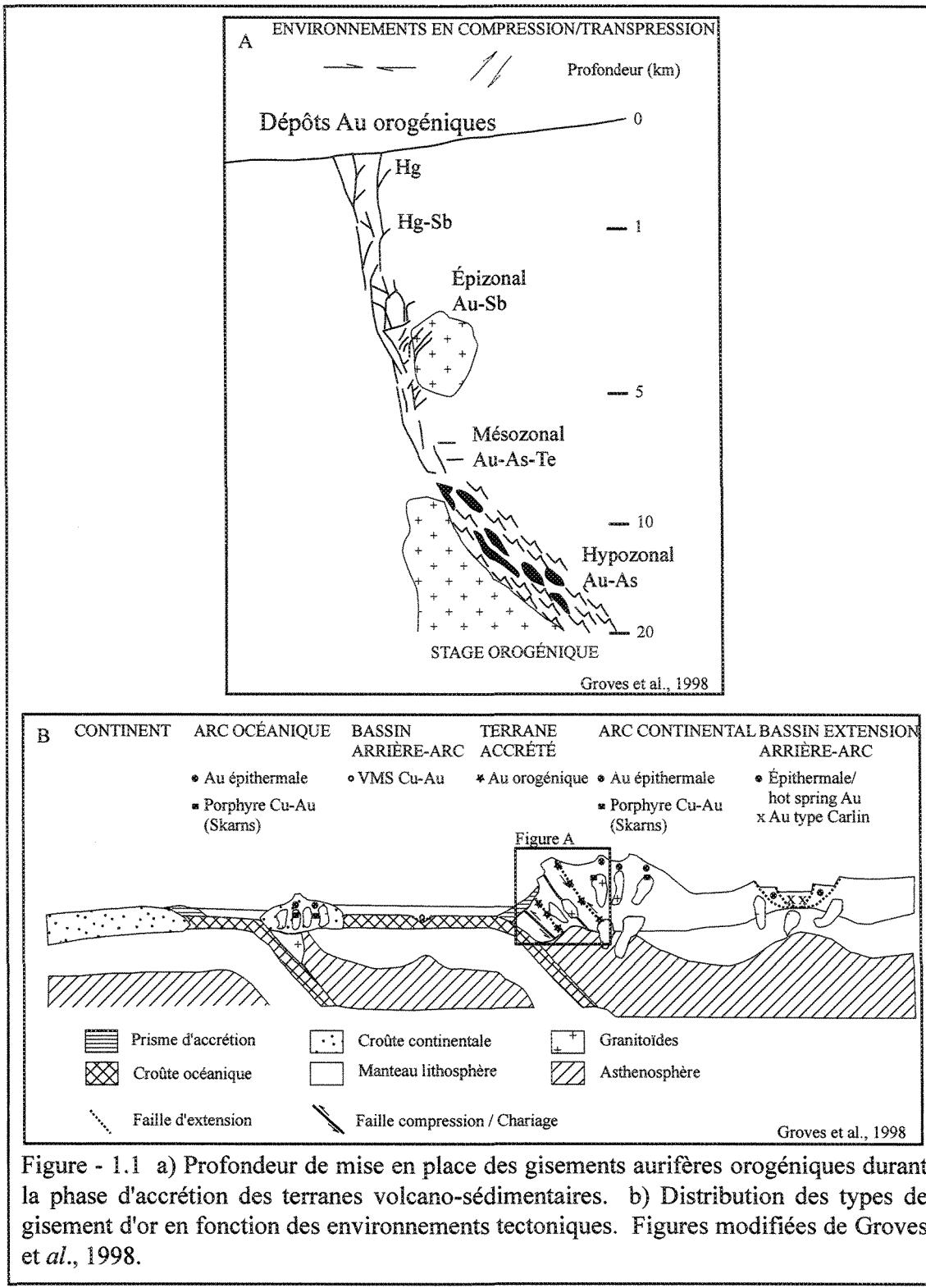
### 1.2.1 – Problématique générale

Les gisements aurifères filoniens sont étudiés depuis plusieurs années et différents aspects demeurent encore aujourd'hui mal compris (Gebre-Mariam et *al.*, 1995; Robert et Poulsen, 1997 ; Groves et *al.*, 1998 ; Poulsen et *al.*, 2000). L'origine de l'or et la nature des fluides hydrothermaux, les conduits pour l'acheminement de ces fluides, les

pièges structuraux pour le dépôt des gisements et la chronologie de la formation des gisements sont les principaux sujets que les scientifiques tentent de mieux comprendre et d'expliquer lorsqu'il est question des gisements aurifères. Dans le cadre de cette étude, une attention particulière est portée sur les pièges structuraux dans les dépôts d'or orogéniques (*orogenic gold deposits*) ou dépôt filonien (Figure 1.1a ; Groves et al. 1998). Une excellente compréhension de ces types de gisements est importante du fait qu'une bonne partie de la production mondiale de l'or provient de ces types de gisements (Poulsen et al., 2000).

#### ***1.2.1.1 – Classification des gisements aurifères versus déformation des gisements***

Plusieurs auteurs (Gebre-Mariam et al., 1995 ; Robert et Poulsen, 1997 ; Groves et al., 1998 ; Poulsen et al., 2000) ont proposés des classifications pour les gisements aurifères, basées sur différents facteurs (style structural, profondeur, altération). Le modèle de Groves et al. (1998) propose une association spatiale et temporelle des gisements aurifères (Figure 1.1b). Il permet de définir la formation des veines pendant la phase d'accrétion tectonique des terrains volcano-sédimentaires comme étant orogéniques (*orogenic gold deposits*). De plus, les gisements sont classifiés selon la profondeur de formation crustale (Figure 1.1b). Les dépôts de faible profondeur (< 5 kilomètres), dit zonales, se mettent en place dans l'arc océanique et/ou continental, sous un régime en extension. Les gisements de plus grande profondeur (> 5 kilomètres) se mettent en place durant une orogénie, en régime de compression ou de transpression, adjacent à l'arc continental et à la marge de la plaque convergente (Groves et al., 1998). Le concept de la déformation vient souvent compliquer les modèles que les scientifiques élaborent lorsque les gisements se forment à de grandes profondeurs. Plusieurs conflits d'interprétation génétique des dépôts d'or dans les ceintures de roches vertes par exemple, spécialement les dépôts d'envergures majeures et complexes, provient de la divergence d'interprétation sur la chronologie relative de la mise en place de la minéralisation (i.e. l'âge relatif par rapport aux structures encaissantes ; Robert et Poulsen, 2001). La question suivante peut alors se poser: est-ce que la déformation joue un rôle déterminant lors de la formation des veines ou est-ce que celle-ci se superpose sur les veines lors de l'enfouissement des dépôts, une fois le gisement



formé? Lors de l'enfouissement de la veine, celle-ci devient une anisotropie qui favorise la déformation au toit et au plancher. Cette déformation n'est pas génétiquement liée à la formation de la veine. Tandis qu'une déformation synchrone avec la formation des veines implique une distribution différente des veines, de la minéralisation et des vecteurs minéralisés. De plus, si les veines et les dépôts d'or orogéniques sont liés dynamiquement à une structure de déformation majeure, il y aura plusieurs conséquences concernant la prédictibilité de leurs localisations et de leurs orientations (Robert et Poulsen, 2001).

#### *1.2.1.2 – Localisation, géométrie et développement des vecteurs minéralisés*

La localisation et la géométrie des vecteurs minéralisés (Figure 1.2A) peuvent être contrôlées par plusieurs facteurs : (1) les zones de dilatation causées par le changement d'attitude (direction), (2) les joints de dilatation (*dilation jog*), (3) les zones de relais, (4) les contacts lithologiques et (5) des structures d'intersections (Peters, 1993a). Par exemple, les dépôts d'or filoniers dans les ceintures de roches vertes se retrouvent souvent le long de zones de failles crustales de premier ordre, communément aux contacts de domaines lithologiques contrastants (Robert et Poulsen, 2001). Ces mêmes vecteurs minéralisés peuvent également être contrôlés par des facteurs cinématiques (déformation) et formés durant la déformation ou modifiés par la déformation. Le contrôle des vecteurs minéralisés de grandes envergures est complexe et plusieurs facteurs de dilatation sont habituellement présents dans un même vecteur.

Généralement, les veines montrent une séquence de formation impliquant plusieurs événements d'ouverture, de remplissage et de déformation et indique une histoire complexe de développement continu. Ce fait est bien documenté dans le cas des veines en extension (Ramsay et Huber, 1987), pour les veines laminées associées aux zones de cisaillement (Petit et *al.*, 1999; Koehn et Passchier, 2000) et pour plusieurs veines aurifères (Boullier et Robert, 1992). Selon l'approche de Peters (1993b) pour des veines en Australie, une séquence de formation relative peut être construite pour permettre de déterminer le ou les événements de préparation du terrain et de nucléation

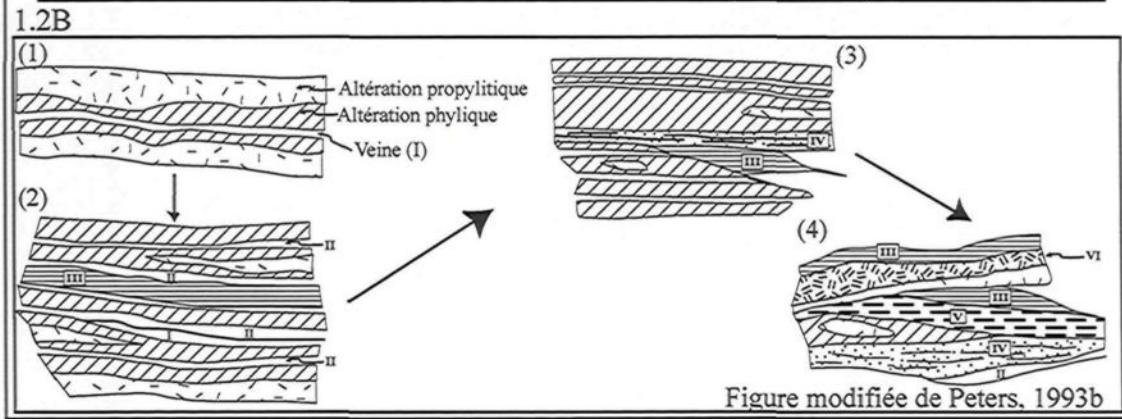
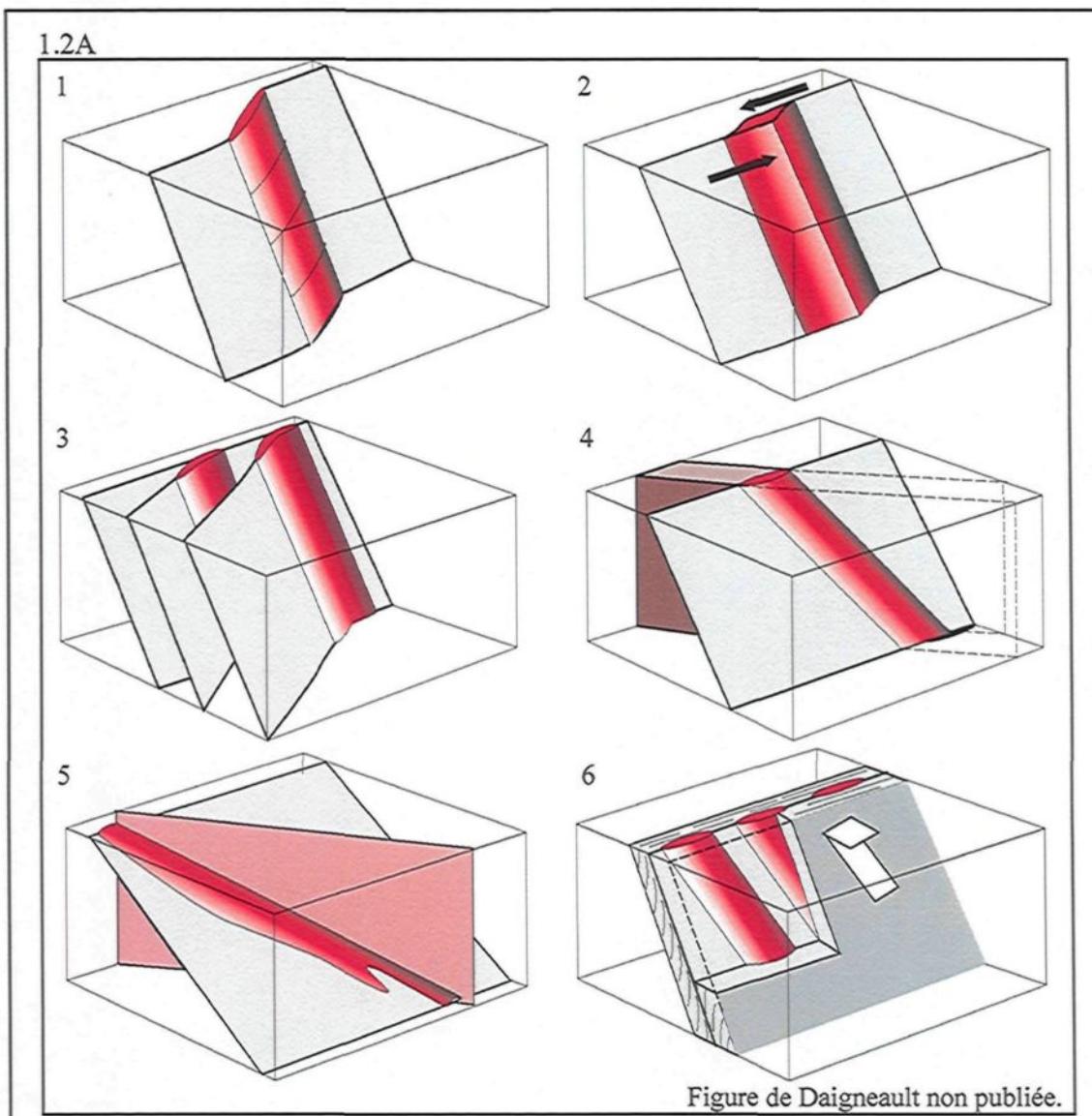


Figure- 1.2A Localisation et géométrie possibles des vecteurs minéralisés selon Daigneault (non publiée) et Peters, 1993a. Vecteurs minéralisés contrôlés par 1) un changement d'attitude (direction), 2) un joint de dilatation (*dilation jog*), 3) par des zones de relais, 4) par un contact géologique et 5) par des structures d'intersections et 6) contrôlés par des facteurs cinématiques.

Figure 1.2B Séquence de formation d'une veine encaissée dans un granitoïde (Peters, 1993b). (1) Injection de quartz (I) avec développement d'un halo d'altération. (2) Réinjection de quartz (II) avec halo d'altération, silicification et refroidissement du conduit principal (III). (3) Développement de boue de faille avec le cisaillement (IV). (4) Continuité du cisaillement et développement d'une veine mature avec bréchification du quartz et injections de micro-veinules (V), injection de quartz tardif non-aurifère (VI), formation de boue de faille et silicification de l'encaissant et des enclaves dans la veine.

de la veine, d'ouverture et de remplissage, de déformation et de consolidation de la veine (Figure 1.2B). Dans le cas de la mine Queensland (Australie; Peters, 1993b) la séquence de formation commence par l'attendrissement et l'altération de la roche encaissante par le passage des fluides hydrothermaux et la nucléation de la veine. La veine va se développer par les différents incrément d'ouvertures-remplissage et de mouvements sur le plan de la veine. La consolidation de la veine va créer un corps complexe, composé de multiples épisodes de remplissage, de croissance et de cisaillement. La question est de cerner le ou les moments de minéralisation dans la séquence complète de la formation des veines.

#### *1.2.1.3 – Anisotropies préexistantes*

Pour permettre le dépôt des minéraux hydrothermaux, une structure préexistante peut être présente dans la roche encaissante. Dans le cas des gisements encaissés dans un granitoïde, la différence de compétence entre le batholite et son encaissant peut créer un système de fractures lors du refroidissement de l'intrusion (Groves et al., 1998; Witt et Vaderhor, 1998; Bergbauer et Martel, 1999) et permettre la circulation de fluides hydrothermaux et la précipitation des minéraux hydrothermaux. La présence d'altération dans les fractures peut démontrer le passage des fluides hydrothermaux dans ces anisotropies. Certaines fractures peuvent être ouvertes et ainsi permettre la formation des veines.

D'autres types d'anisotropies préexistantes dans la roche encaissante peuvent également favoriser le développement de veines dans le batholite. La présence de dykes, de contacts lithologiques ainsi que d'enclaves pluri métriques des encaissants sous-jacents incorporés dans le batholite pourraient représenter des anisotropies favorables à la circulation des fluides et permettre l'ouverture et la formation d'une veine au même titre qu'un système de fractures.

#### *1.2.1.4 – Acheminement des fluides hydrothermaux*

Les zones de failles constituent un environnement propice pour la circulation des fluides hydrothermaux en raison de leur grande perméabilité. Généralement, ce sont les

failles subsidiaires de deuxième ou de troisième ordre qui forment les gisements filoniens. Différents modèles ont été proposés pour expliquer le transport des fluides hydrothermaux dans des contextes tectoniques spécifiques. Deux mécanismes en particulier pourraient expliquer le transport des fluides hydrothermaux. Le premier est celui de la faille-valve défini par Sibson et al. (1988). Ce mécanisme s'initie par une pression des fluides qui augmente à des valeurs supralithostatiques. L'accumulation des contraintes provoque un tremblement de terre et crée ainsi des fractures extensives (zones perméables). La chute abrupte de la pression des fluides près des valeurs hydrostatiques déclenche le dépôt des minéraux dans ces fractures le long de la zone de rupture. Une fois les fractures remplies, la pression des fluides et l'accumulation des contraintes vont augmenter à nouveau et le cycle peut se répéter. Ce mécanisme s'applique principalement pour des structures sub-verticales (veines en remplissage de faille). Les mécanismes de pompe séismique (Sibson et al., 1975), de pompe à succion (Sibson, 1987) et de pompe tectonique (Fyfe et al., 1978) impliquent une succion des fluides hydrostatiques à la sub-surface associés avec des régimes en extension et de décrochement et pourrait également entraîner la circulation des fluides hydrothermaux le long de failles majeures. Le modèle de faille-valve est caractéristique des dépôts filoniens "mésothermaux" ou "orogéniques" (Sibson et al., 1988) tandis que les mécanismes de succions ou comme le *self-equilibrating* tel que proposé par Gaboury et Daigneault (2000) à la mine Géant Dormant (Abitibi, Canada) sont responsables de la formation des gisements zonales.

#### *1.2.1.5 – Mécanismes de formation des veines*

Une fois acheminés, les fluides hydrothermaux circulent dans la roche encaissante et les minéraux hydrothermaux peuvent précipiter sous certaines conditions physico-chimiques. Les gisements filoniens sont formés par différents incrément d'ouvertures et de remplissages par ces fluides hydrothermaux. Plusieurs mécanismes peuvent alors expliquer le remplissage d'une fracture. Dépendamment de quel mécanisme est favorisé, différents types de veines vont se former. Ces types de veines sont les veines en cisaillement ou en remplissage de faille et les veines en extension (Figure 1.3a i et

ii). Un troisième type peut être reconnu, les veines hybrides, et représentent un intermédiaire entre les deux types de veines (Figure 1.3a iii).

Les veines en cisaillement ou en remplissage de faille se mettent en place dans un régime tectonique en compression. Une contradiction survient alors entre la dilatation nécessaire pour permettre la création d'espaces ouverts et le régime en compression qui domine lors de la formation de ces veines. La formation d'espaces ouverts dans les zones de cisaillement peut s'expliquer par la présence d'irrégularités et d'ondulations (chevauchements d'aspérités) le long du plan de cisaillement, permettant ainsi le remplissage des cavités ouvertes lors des différents événements de déformation (Figure 3b). La faille valve de Sibson et al. (1988) permet également d'expliquer la formation d'espaces ouverts le long des failles par l'accroissement cyclique de la pression des fluides. Robert et Brown (1986) ont développé un modèle pour expliquer la formation conjointe des veines en cisaillement et en extension à la mine Sigma (Figure 1.4).

Le mécanisme d'ouverture-remplissage (*crack-seal*) définie par Ramsay (1980) permet le remplissage de fractures en extension (Figure 1.5a). L'ouverture du plan de fracture en tension est initiée quand la pression des fluides est égale à la force cohésive de la roche (Ramsay, 1980). Cette ouverture permet la circulation des fluides et le remplissage par la précipitation et la croissance des minéraux hydrothermaux. Le processus est répété par addition du nouveau matériel dans la veine initiale. La répétition du phénomène formera une veine rubanée ou laminée. Différents auteurs (Koehn et Passchier, 2000; Ramsay et Huber, 1983) ont classifiés les veines en extension selon leurs textures et selon le mode d'ouverture. Ces deux caractéristiques permettront de différencier les veines (Figure 1.5b et 1.5c) selon la classification proposée par ces auteurs.

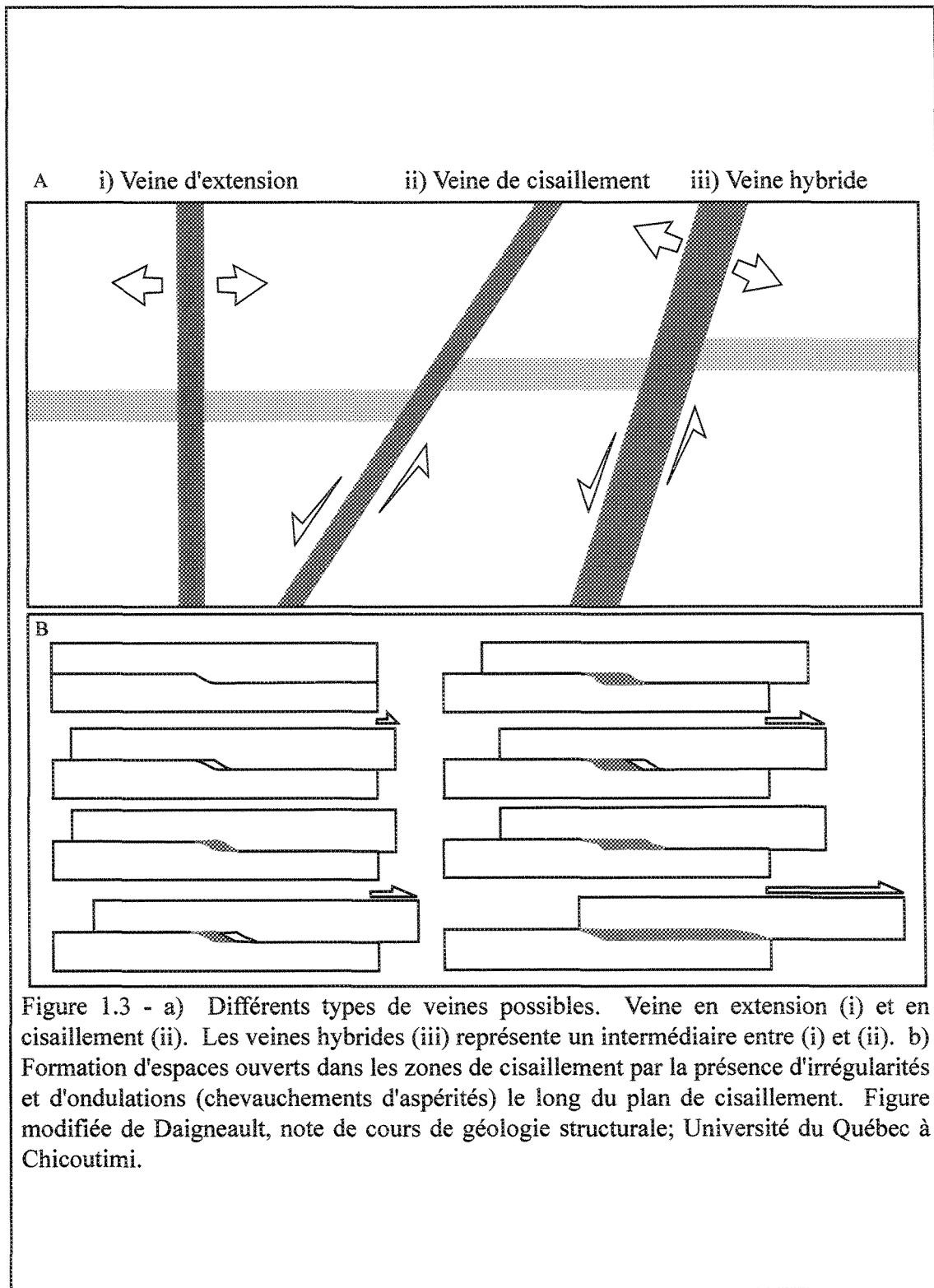
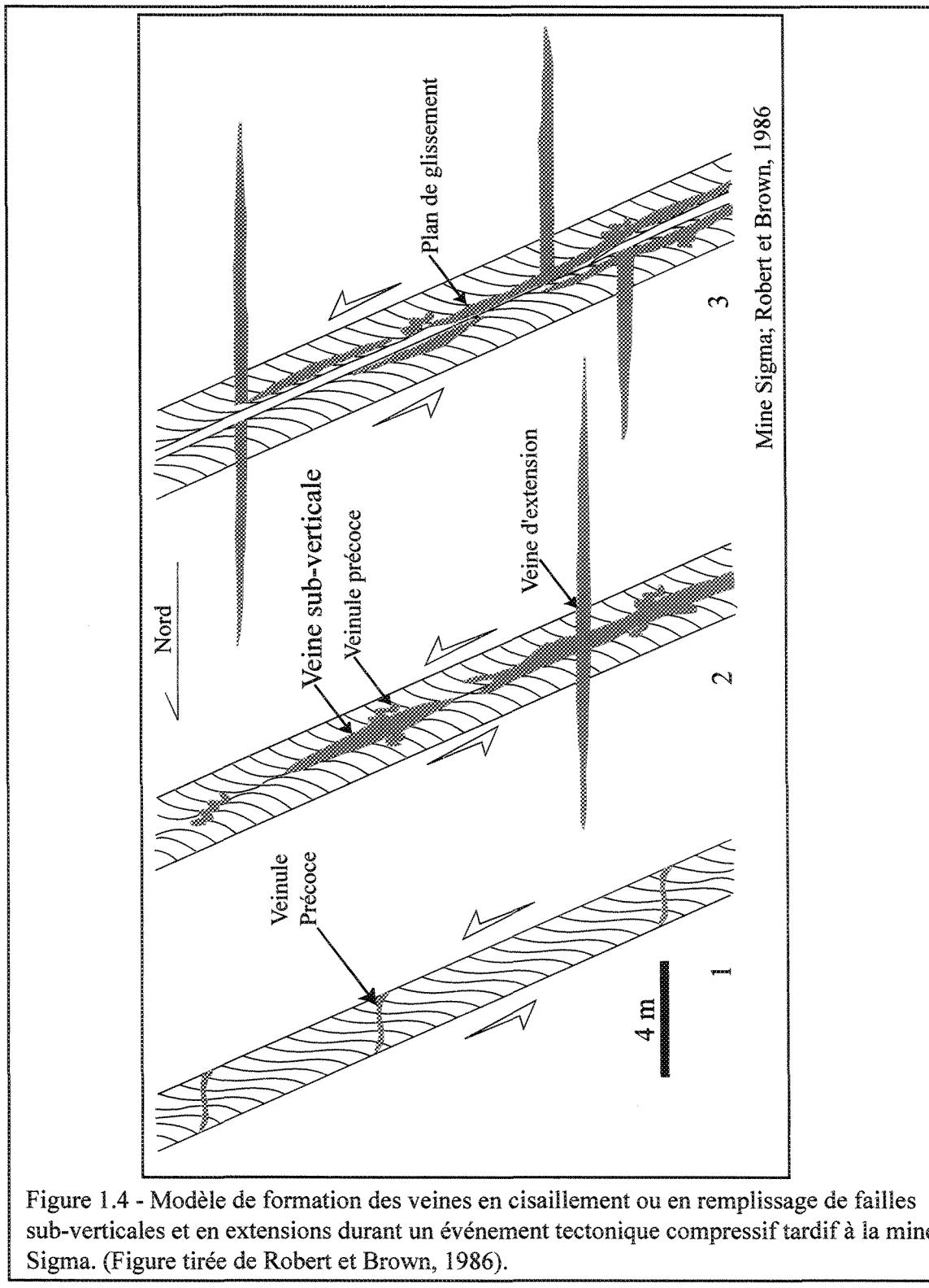


Figure 1.3 - a) Différents types de veines possibles. Veine en extension (i) et en cisaillement (ii). Les veines hybrides (iii) représente un intermédiaire entre (i) et (ii). b) Formation d'espaces ouverts dans les zones de cisaillement par la présence d'irrégularités et d'ondulations (chevauchements d'aspérités) le long du plan de cisaillement. Figure modifiée de Daigneault, note de cours de géologie structurale; Université du Québec à Chicoutimi.

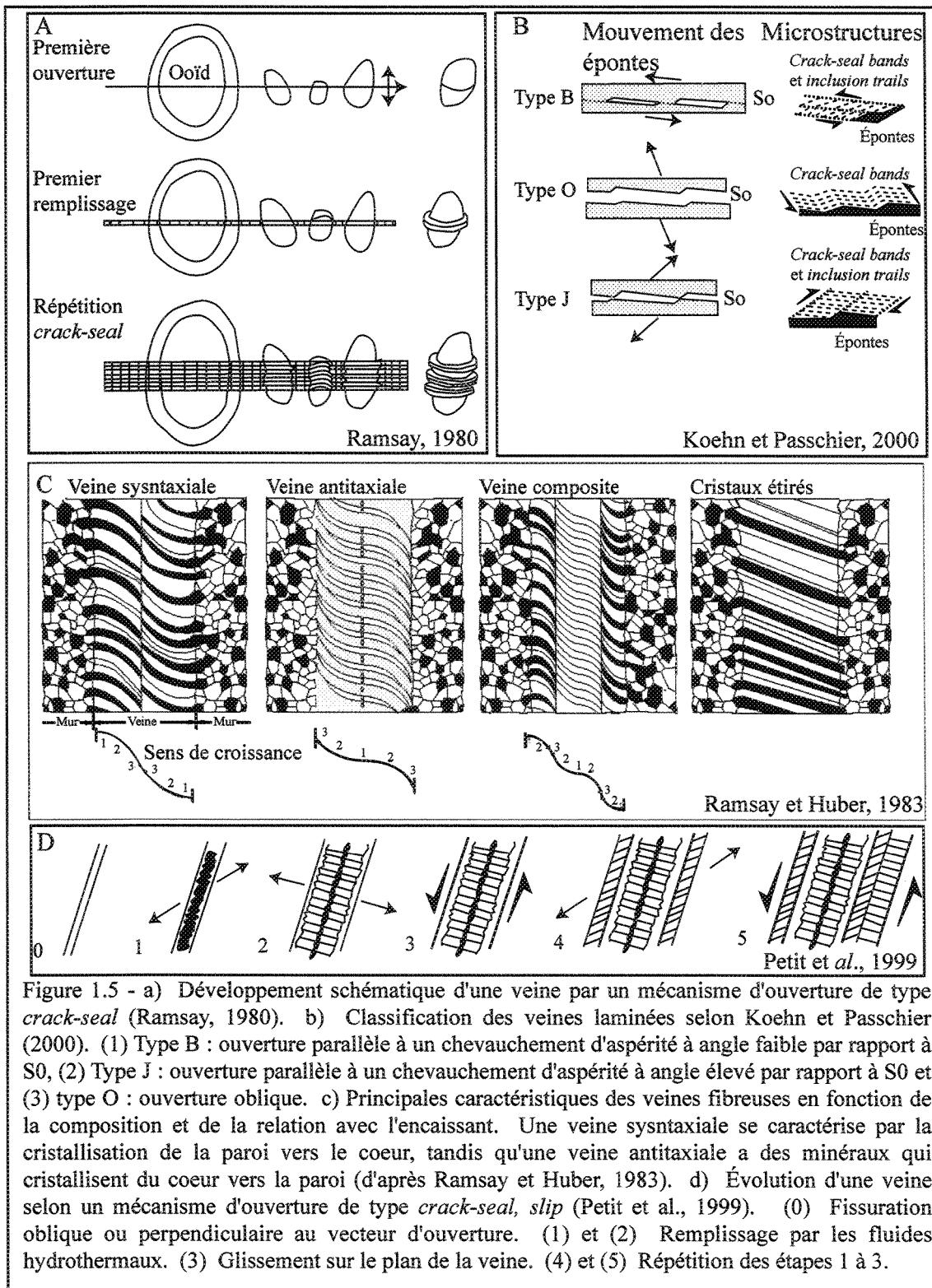


Un autre mécanisme défini par Petit et *al* (1999) pourrait expliquer le remplissage des veines (Figure 1.5d). Du point de vue cinématique, les structures internes du mécanisme *crack-seal, slip* (Petit et *al.*, 1999) indiquent que les différentes épisodes de réactivation amènent une succession d'ouvertures et de glissements sur le plan de la veine. Le mécanisme d'ouverture-remplissage suivi d'un glissement (*crack-seal, slip*) est amorcé par une re-fracturation de la roche encaissante dû à la pression élevée des fluides hydrothermaux. Cette fracturation est oblique ou perpendiculaire aux vecteurs d'ouvertures. Ensuite, il y a ouverture et remplissage de l'espace ouvert par les fluides hydrothermaux, comme pour le mécanisme de *crack-seal* (Ramsay, 1980). La composante de cisaillement inclut du glissement au toit et au mur de la veine dû à la concentration des contraintes aux bouts des fractures et crée une situation métastable. La fracturation en bout de fracture se produit alors (orientation favorable de la fracture) et le volume ainsi créé cause une baisse de la pression des fluides dans la zone de faille. Cette baisse de pression favorise la croissance rapide des minéraux. La répétition de ces étapes va créer une veine présentant les évidences d'extension et de cisaillement.

#### 1.2.1.6 – *Textures des minéraux de remplissage*

Les textures du quartz (ou autres minéraux de remplissage comme la calcite ou la calcédoine) à l'intérieur de la veine sont fonction des conditions physico-chimiques et de la profondeur lors de la formation ou de la déformation de celles-ci. Dong et *al.* (1995) classifient les textures dans les veines (point de vue génétique) selon trois groupes (Figure 1.6a) : (1) les textures de croissance primaires qui représentent les morphologies formées durant la croissance du cristal ou du dépôt de la silice amorphe ; (2) les textures de recristallisation qui sont le résultat de la recristallisation de la calcédoine ou la cristallisation et la recristallisation du quartz et (3) les textures de remplacement partiel ou complet par les minéraux silicatés.

Il est reconnu que certaines textures de quartz peuvent indiquer une association spatiale avec la minéralisation aurifère. Ces textures de quartz peuvent être utilisées comme facteurs de classification des dépôts hydrothermaux. Cox et Etheridge (1983)



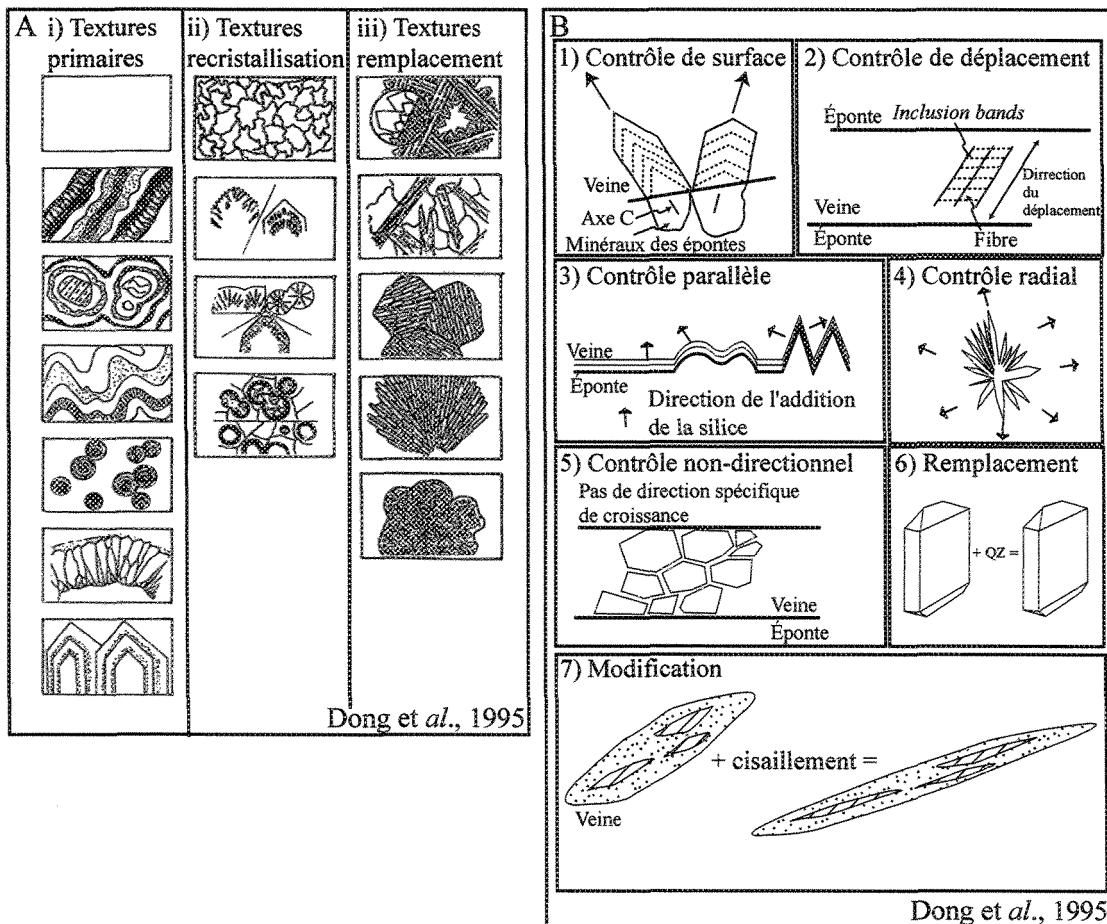


Figure 1.6 - a) Classification des textures dans les veines du point de vue génétique selon trois groupes: (i) les textures de croissance primaire, (ii) les textures de recristallisation et (iii) les textures de remplacement partiel ou complet. b) Facteurs de contrôle de la morphologie du quartz dans les veines: (1) le contrôle de surface, (2) de déplacement, (3) parallèle, (4) radial, (5) non-directionnel, (6) de remplacement et (7) de modification (altération-recristallisation-déformation). Figures tirées de Dong et al., 1995.

et Vearncombe (1993) identifient 7 catégories de contrôle de la morphologie du quartz. Celles-ci sont illustrées à la figure 1.6B (Figures tirées de Dong *et al.*, 1995). Il s'agit du (1) contrôle de surface, (2) de déplacement, (3) parallèle, (4) radial, (5) non-directionnel, (6) de remplacement et (7) de modification (altération-recristallisation-déformation). Le principal facteur qui contrôle cette morphologie est la profondeur de formation. Les textures rubanées et radiales (textures d'espaces ouverts) se développent surtout dans la croûte supérieure où la pression des fluides est près de la pression hydrostatique (Vearncombe, 1993). Les textures de déplacement et non directionnelle se développent dans la croûte moyenne où la pression des fluides tend à être plus près de la pression lithostatique. Les textures avec un contrôle de surface sont présentes dans les veines formées dans la croûte supérieure et moyenne. Les textures de remplacement et de modification sont contrôlées par des facteurs indépendants de la profondeur. Si la minéralisation est associée à la formation de la veine, les événements de remplacement et de modification peuvent altérer la distribution de l'or. Alternativement, si le contrôle de la minéralisation s'effectue par une modification ou un remplacement secondaire, la distribution de cette dernière est critique à la distribution du minéral mais peut être indirectement contrôlé par la formation précoce de la veine (Vearncombe, 1993). L'étude de ces textures aidera à déterminer les mécanismes de formation des veines et de mieux comprendre la distribution de l'or dans les veines.

#### *1.2.1.7 – Paragénèses minérales et métalliques*

Plusieurs paragenèses minérales et métalliques peuvent se retrouver à l'intérieur des dépôts filoniers. D'une manière générale, les dépôts orogéniques sont dominés par le quartz et les carbonates comme minéraux de gangue. D'autres minéraux de gangue comme l'albite, le mica blanc ou la fuchsite, la chlorite, la scheelite et la tourmaline peuvent être aussi présents (Groves *et al.*, 1998). Un élément distinctif est la présence de sulfures, particulièrement les sulfures de fer (pyrite, pyrrhotite) ou d'arsenic (arsénopyrite). Un enrichissement en Au, Ag ( $\pm$  As, Sb, Te, W, Mo, Bi, B) est documenté et peut s'accompagner d'un faible enrichissement en Cu, Pb, Zn relatif à l'abondance dans la roche encaissante (McCuaig et Kerrich, 1998). L'assemblage

minéralogique associé aux zones d'altération varie selon le niveau crustal et de la composition des lithologies encaissantes. Les plus communs sont les carbonates (ankérite, dolomie ou calcite), les sulfures (pyrite, pyrrhotite ou arsénopyrite), les minéraux d'altération hydrothermale comme la séricite, la fuschite, la biotite ou les feldspaths alcalins ainsi que l'albite. Les minéraux mafiques sont fortement chloritisés (Groves et al., 1998).

Pour ce qui est des dépôts de plus faible profondeur (épithermaux), les principaux minéraux de gangue sont le quartz, la calcédoine, la calcite, la rhodochrosite, l'adulaire, la barite et l'illite pour les gisements épithermaux neutre (*low sulfidation*) et le quartz, la kaolinite, l'alunite et la barite pour les gisements épithermaux acide (*high sulfidation*, White et al., 1995). Les principaux sulfures sont la pyrite, la sphalérite, la marcasite et la galène accompagné en plus faible quantité d'arsénopyrite, d'argentite, de chalcopyrite et de tétrahédrite (*low sulfidation*) ; de pyrite, d'enargite, de chalcopyrite, de covellite et de tétrahédrite avec un plus faible pourcentage de sphalérite, de galène et des tellures (*high sulfidation*). Pour les gisements épithermaux neutres, un enrichissement en Ag, Au, As et Hg ( $\pm$  Zn, Pb, Sb, Se) domine tandis que pour les gisements épithermaux acides, les métaux dominants sont Cu, Ag, Au, As ( $\pm$  Pb, Hg, Sb, Te, Sn, Mo). L'assemblage minéralogique associé aux zones d'altération varie selon le type de gisement (neutre ou acide). Les principaux minéraux d'altération sont la silice, les feldspaths potassiques, la chlorite, la séricite, la kaolinite et la montmorillonite (Heald et al., 1987).

## 1.2.2 – Problématique reliée aux veines aurifères de la région de Pataz, La Libertad, Pérou

### 1.2.2.1 – *Introduction*

Le gisement de Poderosa, situé dans la région de Pataz (La Libertad, Pérou ; Figures 1.8 et 1.9) constitue un exemple de dépôt filonien encaissé dans un batholite. Les veines sont généralement de grandes extensions ( $>100$  mètres à 1000 mètres), d'épaisseurs centimétriques à pluri-métriques, composées de quartz  $\pm$  carbonates avec comme sulfures Py + Aspy  $\pm$  Sp  $\pm$  Ga  $\pm$  Cpy en association avec Au et Ag comme sous-produits. Différentes textures de remplissage et des phénomènes de déformation confèrent communément à la veine un aspect complexe. Plusieurs vecteurs minéralisés peuvent être présents à l'intérieur d'une même veine. Elle peut avoir une paragenèse minérale constante mais avec des teneurs en Au très variables et ce, à l'intérieur même d'un seul vecteur minéralisé.

Les études effectuées par Wilson et Reyes (1964), Schreiber et *al.* (1990a et 1990b), Haeberlin (1998), Haeberlin et *al.* (2000) et Haeberlin (2002) ont permis de définir la pétrographie des différentes lithologies, la géochimie du batholite, l'altération aux pourtours des veines ainsi que les différentes paragénèses minérales et métalliques. De plus, la mine effectue des travaux quotidiens qui aident à mieux comprendre la morphologie des veines. Toutefois, certains aspects méritent une attention plus spécifique. L'origine des veines de Poderosa ainsi que leurs modes de formation est un des aspects abordés dans cette étude. Ce point vise à permettre la prédiction de la géométrie du système de veines sur le secteur d'étude pour faciliter la découverte d'autres veines d'envergures majeures. Deux veines en particulier (veines Mercedes et Jimena) ont été étudiées d'une manière approfondie. Une attention particulière a été portée à l'étude de la veine à l'intérieur et à l'extérieur des vecteurs minéralisés pour bien comprendre les contrôles qui agissent sur sa morphologie, sur la distribution de la minéralisation ainsi que sur la déformation de celle-ci.

### *1.2.2.2– Mécanismes de formation*

Le mécanisme de formation doit être établi pour les veines Jimena et Mercedes. La réponse à cette question aura une importance, particulièrement pour la compréhension géométrique du système ainsi que pour l'exploration d'autres veines dans le batholite. La possibilité que plusieurs mécanismes aient prévalu doit également être considérée. Une autre question critique dans l'élaboration du modèle de formation des veines est de déterminer si la déformation observée dans les éponges en bordure des veines est un phénomène lié à la formation de la veine ou un phénomène tardif se superposant à la veine. Si la déformation est tardive, un mécanisme en extension pourrait être envisagé pour la formation des veines et la déformation pourrait n'être qu'un facteur superposé à la minéralisation. À l'inverse, si la déformation est directement liée à la formation de la veine, un mécanisme en cisaillement serait favorisé pour le mode de formation de ces veines.

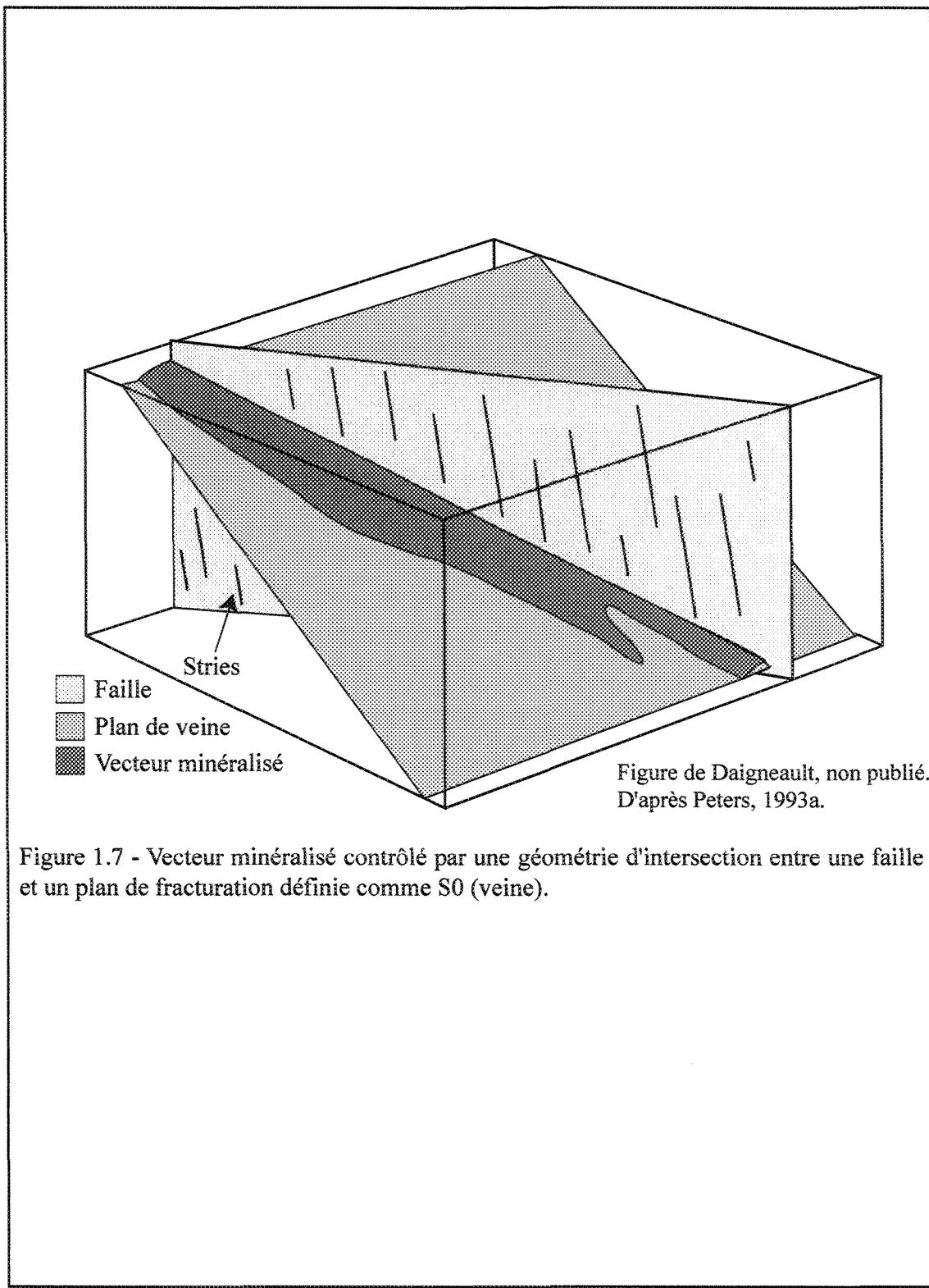
Localement, les veines Mercedes et Jimena montrent des textures et des structures qui semblent impliquer plusieurs événements. Selon l'approche de Peters (1993b), une séquence de formation relative sera construite pour permettre de déterminer le ou les événements d'ouverture, de remplissage et de déformation pour cerner le ou les périodes de minéralisation dans la séquence complète de la formation des veines Mercedes et Jimena. La séquence de formation permettra également de mieux comprendre les facteurs qui contrôlent la distribution de l'or et des sulfures dans la veine et dans les vecteurs minéralisés ainsi que de mieux cerner la nature du piège structurale favorable à la concentration de la minéralisation sur le plan de la veine.

Les réponses à ces questions permettront de comprendre les contrôles qui agissent sur la distribution de la minéralisation dans les vecteurs minéralisés ainsi que leurs géométries et de déterminer l'origine et les mécanismes de formation des veines. Ces éléments de réponses permettront de prédire la géométrie du système de veines et d'élaborer un modèle de mise en place des veines aurifères de la région de Pataz.

### ***1.2.2.3 – Failles majeures et lithologie encaissante***

Les travaux de la mine et les études antérieurs (Wilson et Reyes, 1964 ; Schreiber et al. (1990a et 1990b) ; Haeberlin, 1998 ; Haeberlin et al., 2000 et Haeberlin, 2002) ont permis de documenter plusieurs failles recoupant le batholite. Deux familles se distinguent soit d'orientation NO-SE et NE-SO. Ces failles sont communément désignées comme « transversales » par la compagnie. La position des vecteurs minéralisés semble concorder avec l'intersection du plan de la veine et de ces failles transversales (Figure 1.2A et 1.7; figures de Daigneault non publiées). Les failles ont été réactivées plusieurs fois tout au long de l'orogénie Andéenne (Haeberlin, 2002). Le rôle qu'ont joué ces failles paraît important dans la formation du dépôt par l'acheminement des fluides hydrothermaux et des fluides minéralisateurs.

Un autre facteur semble contrôler la présence des veines dans le batholite. Les cartes de la mine et les cartographies effectuées lors des campagnes de terrain montre que la majorité des veines est distribuée dans deux lithologies précises, soit la diorite/tonalite et/ou la granodiorite.



### 1.3 – Objectifs de l'étude

L'objectif majeur de ce projet est d'étudier en détail quelques veines du batholite de Pataz, en l'occurrence les veines Mercedes et Jimena, dans le but de définir les contrôles qui sont à l'origine de ces veines aurifères et de déterminer le rôle de la déformation sur la distribution de la minéralisation à l'intérieur de ces veines. Un autre objectif du projet, qui découle de l'objectif principal, consiste à établir les mécanismes de formation et de transformation des veines. Ces mécanismes seront intégrés dans un contexte géostructurale dans le but de proposer un modèle de mise en place des veines aurifères et ultimement proposer des guides d'exploration. Pour ce faire, les objectifs spécifiques suivants devront être satisfaits :

- Définir la géométrie des veines Mercedes et Jimena à l'intérieur et à l'extérieur des vecteurs minéralisés (composition, morphologie, épaisseur, texture, orientation) ;
- Établir la séquence paragénétique métallique et minérale (composition, texture) ;
- Déterminer les relations entre les failles transversales et les veines ainsi que leurs signatures au voisinage de la veine ;
- Déterminer le rôle des failles dans l'acheminement des fluides hydrothermaux et du système de fractures préexistant ou toute autres anisotropies préexistantes qui intersectent les failles majeures ;
- Caractériser les différents événements de déformation enregistrés par les veines ;
- Établir une séquence chronologique relative des événements de formation et de transformation de la veine à l'intérieur et à l'extérieur des vecteurs minéralisés.

## 1.4 – Méthodologie

### 1.4.1 - Terrain

Cinq (5) mois de travaux répartis sur deux années (mai à août 2001 et juillet 2002) ont permis de cartographier, à l'échelle 1 :50, 1 :25 ou 1 :10, plus d'un (1) kilomètre de galerie réparti sur 15 sites d'études (Figure 2.1). Ces cartographies représentent différentes portions structurales dans le plan de la veine (longitudinale et section). Plus de 140 échantillons orientés et non orientés ont été prélevés et ce systématiquement dans les zones de cartographie. Ces échantillons représentent les diverses lithologies et zones d'altérations aux pourtours de la veine ainsi que les différentes textures et structures identifiées à l'intérieur de celles-ci. Les structures planaires (veines, fractures, failles, schistosité) et linéaires (stries de mouvements, linéations d'étirement) furent mesurées au moyen d'une boussole Brunton. Au total, quelques 700 mesures structurales ont été prises. Pour supporter les cartographies et les descriptions de terrain, 110 photographies des phénomènes géologiques les plus importants (texture, structure, lithologie, minéralisation) ont été recueillies. Les données de la mine déjà disponibles ont été également intégrées dans ce mémoire. Cette approche a permis de distinguer les différences et les similitudes à l'intérieur et à l'extérieur des veines et ainsi comprendre les éléments importants du contrôle structural de la minéralisation.

### 1.4.2 – Laboratoire

#### 1.4.2.1 – Numérisation des données

La mise en carte des cartographies de terrain s'est fait avec les logiciels Adobe Illustrator et MapInfo<sup>TM</sup>. Les mesures structurales, les échantillons et les photographies ont été séparés en couches distinctes et localisées précisément sur les cartes numérisées. Une fois les cartographies reproduites, une analyse approfondie a permis de décrire chaque site d'étude tant au niveau de la veine (composition, texture, etc.), la lithologie encaissante, les zones d'altération, les zones de failles et les différentes structures mesurées. Une fois la description des sites d'étude complétée, un sommaire des faits

marquants a été produit et est présenté à la fin de chaque description de sites dans le chapitre II.

#### *1.4.2.2 – Travaux sur les échantillons mégascopiques orientés et non orientés et pétrographie*

Les échantillons mégascopiques orientés et non-orientés ont été étudiés pour avoir la pétrographie sommaire et les mesures des différentes structures planaires et linéaires (échantillons orientés) non-visibles sur le terrain. Ces mesures valideront ou infirmeront les données prises sur le terrain et pourront compléter l'analyse structurale. À partir des 140 échantillons, 110 lames minces (ordinaires et/ou polies) ont été produites pour les témoins pertinents et ont servi à l'étude pétrographique complète des différentes lithologies, de la veine, de la minéralisation, de l'altération et des différentes structures présentes. Cette étude pétrographique s'est faite en lumière transmise ou réfléchie dépendamment des phases à observer (sulfures et minéralisation ou minérales).

#### *1.4.2.3 – Traitement des données*

Les données provenant des sites d'étude ont également été traitées d'abord de manière séparée puis intégrées pour fins de comparaison. Les logiciels Excel, Stéréo et Géorient ont été utilisés pour le traitement des mesures structurales. Des stéréogrammes sont produits pour chaque site et pour l'ensemble de chaque veine. L'analyse des stéréogrammes se fait dans premier temps site par site (Chapitre II) et dans un deuxième temps pour l'ensemble du secteur d'étude, soit veine par veine (Chapitre III).

Les données de la mine sont utilisées et intégrées aux données de cette étude pour donner un cadre général aux veines afin de situer les données plus détaillées prélevées à chaque site. Les données de la mine comprennent trois types de mesure : 1) les mesures structurales de la veine (orientation et pendage), 2) l'épaisseur et 3) la teneur en Au (g/t). Ces mesures proviennent d'une adaptation des fichiers Autocad de la mine. Au total, 1600 points de mesure ont été générés pour la veine Mercedes et plus de 4000

points pour la veine Jimena. Il faut préciser que les données disponibles pour la veine Mercedes représentent la portion sud et basale du vecteur minéralisé. Les mesures sont considérées comme la représentation de la veine principale et que quelques mesures sont possiblement des veines secondaires ou des variations locales des deux veines à l'étude.

Un traitement géomatique de l'information de la mine a été effectué en produisant des cartes de variation d'ensemble des variables suivantes : 1) pendage, 2) épaisseur et 3) teneur en Au (g/t). Pour les besoins de l'étude, seulement les cartes de la variable teneur ont été présentées dans ce rapport. Les données disponibles ont permis la production de quelques cartes de la portion basale de la veine Mercedes ainsi que de la veine Jimena. Le logiciel MapInfo-Vertical-Mapper™ a été utilisé afin de générer des mailles par interpolation selon la méthode des voisins naturels (veine Mercedes) ou de l'inverse de la distance (veine Jimena). Ces méthodes sont bien adaptées pour les données qui représentent des variations en localisations et en valeurs. Les différentes mailles créées peuvent donc être comparées et des sections ainsi que des diagrammes binaires peuvent être générées afin d'isoler les variations dans une direction donnée.

Les données d'orientation (direction et pendage) et d'épaisseur présentent une bonne corrélation entre les valeurs réelles et les valeurs générées par les mailles. Par contre, une variable comme la teneur présente des problèmes parce que l'effet de pépite et d'autres paramètres comme la méthode d'échantillonnage entrent en ligne de compte sur la validité des données. Mais de manière générale, les données utilisées représentent sans doute une cohérence et sont considérées comme acceptables pour l'étude en cours.

## 1.5 – Géologie régionale et locale

### 1.5.1 – Contexte géostructural de la Cordillère des Andes Orientales, secteur de Pataz

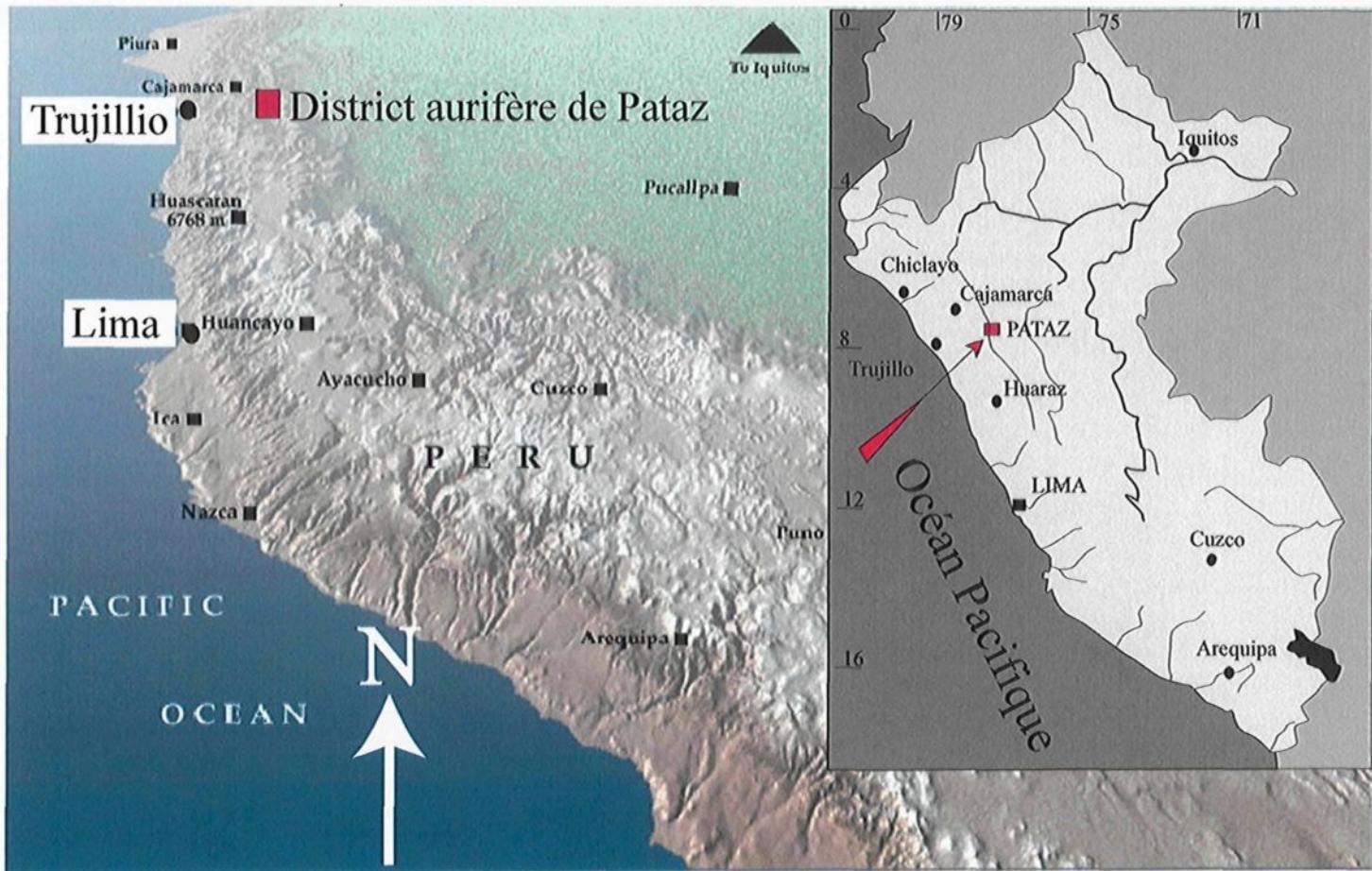
#### 1.5.1.1 – *Introduction*

Les veines aurifères de la région de Pataz (Département de La Libertad, Centre-Nord du Pérou) forment un réseau de filons économiques produisant environ 9% de l'or au Pérou. Les veines appartiennent, d'un point de vue tectonique et géographique, à la Cordillère des Andes Orientales. Plusieurs compagnies, coopératives et individus ont exploités ou exploitent l'or dans cette région lors des périodes d'activités minières de 1925 à 1960 et de 1980 jusqu'à ce jour. Une quinzaine de gisements souterrains, répartie sur la province de Pataz, ont produit jusqu'à ce jour 6 millions d'onces d'or (Haeberlin, 2002). La compagnie Minera Poderosa S.A. fût l'un des producteurs d'or les plus importants durant les années 1980 avec une production de 40 000 tonnes métriques de minerai annuellement avec une teneur moyenne de 7 à 15 g/t Au avec des pointes allant jusqu'à 800 g/t Au (veine Jimena) et de l'argent comme sous-produit (Schreiber et al., 1990a). Une estimation préliminaire des ressources en or de la province donne un minimum de 40 millions d'onces (Haeberlin, 2002). Les terrains de la compagnie Minera Poderosa S.A. s'étendent sur 70 km de long en marge du batholite de Pataz, en contact avec le socle rocheux d'âge Précambrien à Paléozoïque inférieur.

#### 1.5.1.2 – *Localisation*

La région à l'étude (Figures 1.8 et 1.9) se situe à environ 450 km au N-E de Lima et à 150 km à l'Est de Trujillo. Le batholite de Pataz ( $7^{\circ}30'$  à  $8^{\circ}20'$  S) se situe le long du flanc Est de la Vallée de Marañon, qui est parallèle à un linéament précambrien d'orientation N-S à NNO-SSE (Wilson et Reyes, 1964) et constitue la limite morphostructurale entre les Cordillères des Andes Occidentale et Orientale (Figure 1.9 et 1.10). Cette vallée est approximativement parallèle à la marge continentale actuelle, qui a joué un rôle majeur au début du Phanérozoïque (Schreiber et al., 1990b).

Figure 1.8 - Localisation du district aurifère de Pataz, province de La Libertad, Pérou.



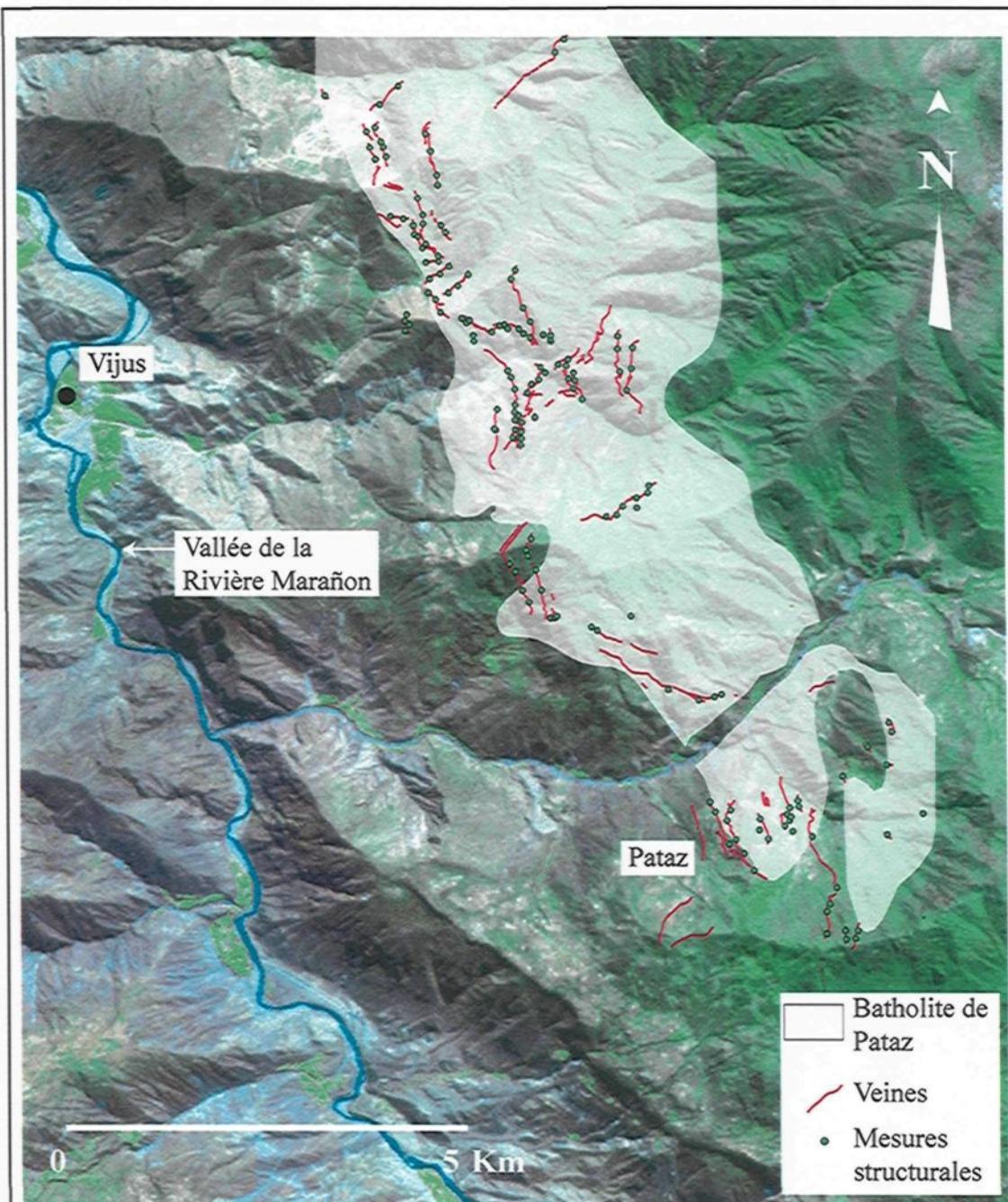


Figure 1.9 - Image satellite du district aurifère de Pataz avec superposition de la portion Nord du batholite de Pataz, province de La Libertad, Pérou. Les lignes représentent la trace des veines aurifères en surface dans le batholite. Remarquez la limite morphostructurale entre les Cordillères des Andes Occidentale et Orientale matérialisée par la vallée de la Rivière Marañon.

### 1.5.1.3 – Séquence stratigraphique

La région (Figure 1.10 et 1.11) est dominée par un socle infra-silurien et des plutons calco-alcalins de l'âge du carbonifère inférieur ; le tout est recouvert en discordance par des roches volcaniques d'âge miocène à pliocène (Haeberlin, 2002). Le socle infra-silurien comprend les trois unités suivantes (Wilson et Reyes, 1964 ; Schreiber, 1989 ; Schreiber et al. 1990a et 1990b, Haeberlin et al., 2000, Haeberlin, 2002): (i) une séquence de phyllites et schistes à séricite et quartz poly-déformées d'âge précambrien (Complexe de Marañon), (ii) une unité intermédiaire de métavolcanites avec une composition bimodale rhyodacitique à andésitique et basaltique du Paléozoïque inférieur accompagnée localement de roches volcanoclastiques et de grès (Formation Vijus) et (iii) une séquence sommitale turbiditique composée d'ardoises, de greywackes et de quartzites Ordoviciens (Formation Contaya).

À Pataz, le Complexe de Marañon est représenté par 1000 m de phyllites grises intercalées de schistes micacés et graphiteux. Ce complexe est affecté par un métamorphisme au stade du schiste vert à amphibolite inférieure et a subi plusieurs épisodes de déformation lors de l'orogenèse brasilique (Schreiber, 1989). Il est recouvert en discordance par la Formation de Vijus, une séquence d'arrière-arc composée de grès couleur lie-de-vin, surmontés d'intercalations d'ignimbrites de compositions rhyolitique à dacitique, de fins niveaux d'argilites noires et de laves andésitiques à basaltiques (Haeberlin, 2002). Cette formation est recouverte par la Formation de Contaya, qui se compose de quartzites massives, de grès noirs et d'argilites grises. La partie supérieure de la formation est formée de cycles turbiditiques avec des lits d'argilites noires, des niveaux de grès et quelques bancs de quartzites (Haeberlin, 2002).

Ces roches sont surmontées par différentes formations sédimentaires marines (calcaires, marnes et dolomites) et continentales (grès et conglomérats) du Paléozoïque supérieur et du Mésozoïque. Du volcanisme felsique (Formation de Lavàsen), composé en majorité de rhyolite, d'andésite et d'ignimbrite datant du Miocène à Pliocène ainsi que des dépôts du Quaternaire complètent la séquence stratigraphique.

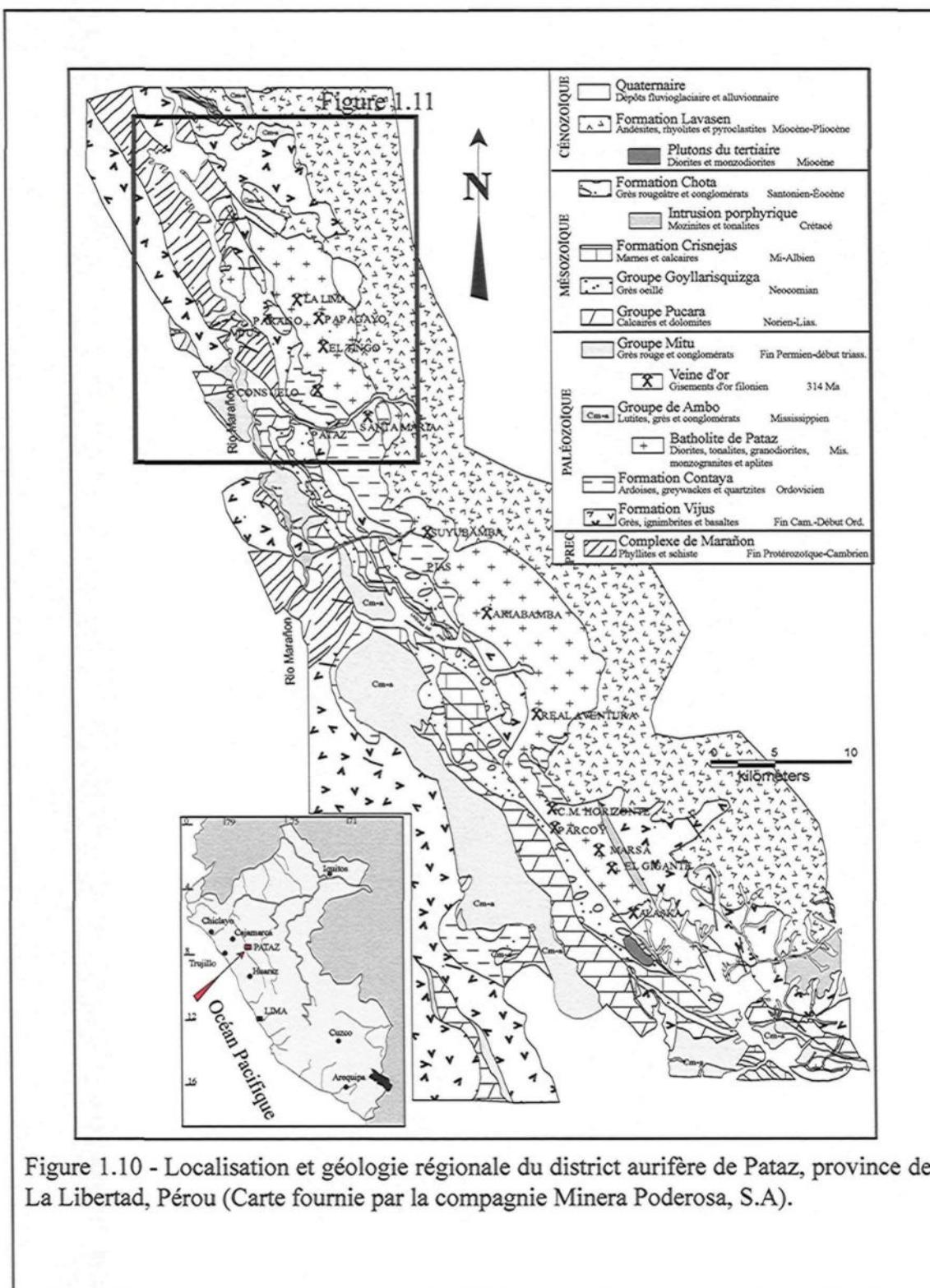


Figure 1.10 - Localisation et géologie régionale du district aurifère de Pataz, province de La Libertad, Pérou (Carte fournie par la compagnie Minera Poderosa, S.A.).

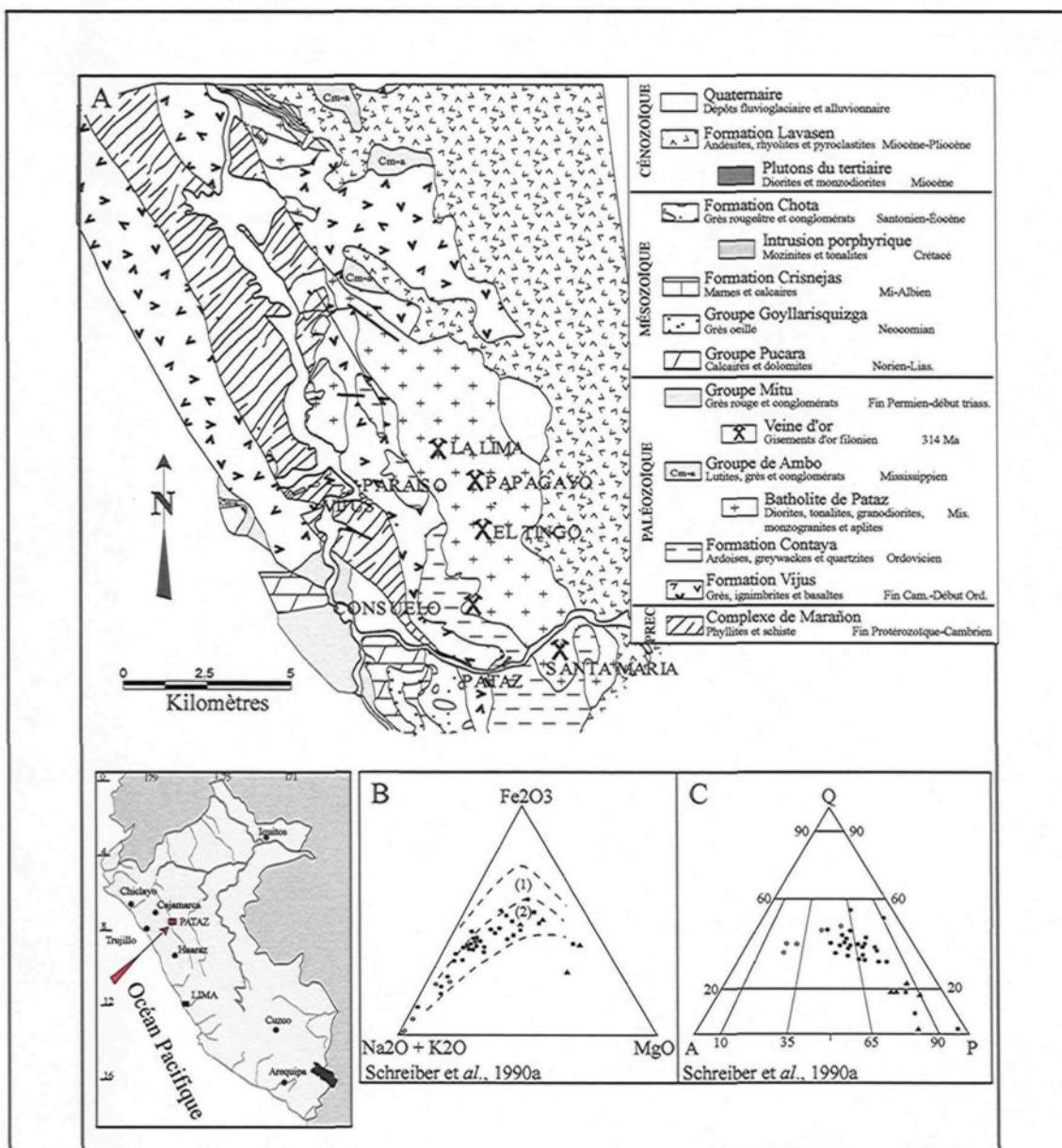


Figure 1.11 - a) Localisation et géologie de la partie Nord du district aurifère de Pataz, district de La Libertad, Pérou (Carte fournie par la compagnie Minera Poderosa S.A.). Pour les figures b et c: carrés = intrusions monzogranitiques; cercles pleins = monzogranites et granodiorites; cercles vides = aplite et pegmatite différenciées; et triangles = dykes mélanocrates. b) Diagramme AFM montrant le caractère calco-alcalin du magma. (1) = champs tholéïtique et (2) = champs calco-alcalin selon Kuno (1968). c) Classification des échantillons provenant du batholite de Pataz dans un diagramme Q-A-P selon Streckeisen (1976).

Pour le présent rapport, la carte géologique à la figure 1.11 représente le secteur d'étude, c'est-à-dire la partie du Nord du batholite de Pataz.

### **1.5.2 –Batholite de Pataz**

#### *1.5.2.1 –Morphologie*

Le batholite de Pataz, principal encaissant des veines aurifères, fait partie d'une ceinture géante d'intrusions, qui s'étend de  $6^{\circ}$  S à  $11^{\circ}30'$  S le long de la Cordillère Orientale (Laubacher et Mégard, 1985). Le batholite couvre une superficie approximative de  $200 \text{ km}^2$ . Celui-ci est parallèle à la Vallée de Marañon, s'étend sur près de 70 km de long par 3 à 8 km de large et est intrusif dans le socle polymétamorphique infra-silurien (Complexe de Marañon, Formation de Vijus et Formation de Contaya). À l'échelle régionale, l'intrusion est un corps lenticulaire et se serait mis en place le long d'une zone de fractures et/ou de failles d'envergure régionale d'orientation NNO-SSE. Cette faille représenterait la zone morphostructurale de la Vallée de Marañon (Schreiber et al., 1990a).

La figure 1.12a représente la distribution des veines dans la partie nord du batholite (Daigneault et al., 2003). Les lignes grises illustrent la trace des veines connues en surface. À première vue, la majorité des veines se concentrent près de la bordure ouest du batholite, le long du contact ouest de l'intrusion-socle rocheux. Les mesures structurales fournies par la compagnie Minera Poderosa S.A. montrent que l'orientation générale de toutes les veines connues dans le secteur nord est quasi N-S avec un pendage de  $37^{\circ}$  vers l'est (Figure 1.12b). Cette orientation moyenne est sub-parallèle à l'orientation générale de l'intrusion.

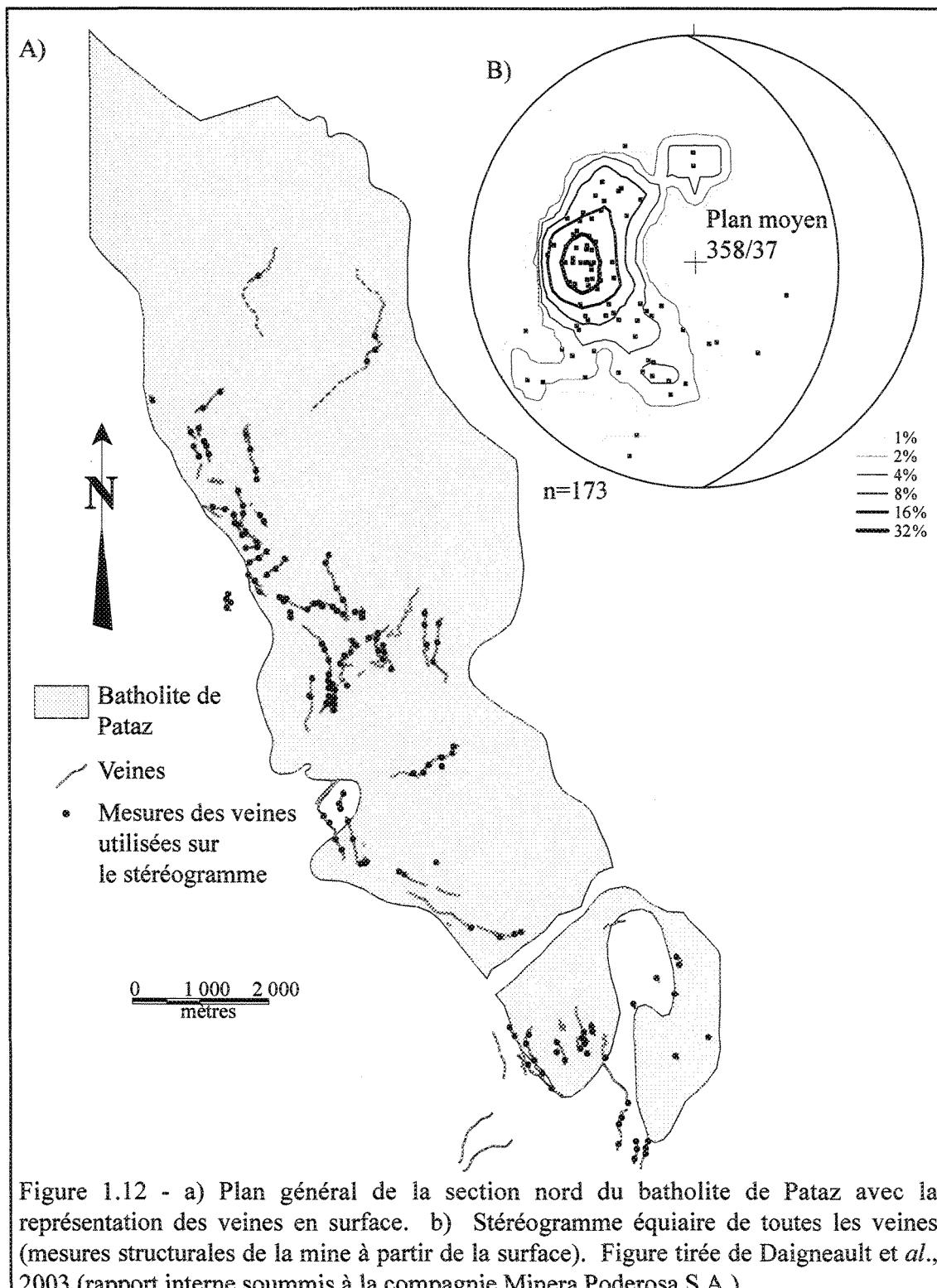


Figure 1.12 - a) Plan général de la section nord du batholite de Pataz avec la représentation des veines en surface. b) Stéréogramme équiaire de toutes les veines (mesures structurales de la mine à partir de la surface). Figure tirée de Daigneault et al., 2003 (rapport interne soumis à la compagnie Minera Poderosa S.A.)

### 1.5.2.2 – *Composition*

Selon le diagramme AFM des données au XRF (Kuno, 1968), le magmatisme est d'affinité calco-alkaline, typiquement associé aux zones de subduction (figure 1.11b; Schreiber et al., 1990a, Haeberlin, 2002). La phase initiale du batholite de Pataz est composée de diorite, de monzodiorite quartzifère ainsi que de tonalite. Ces phases sont observées sous forme de petites apophyses en marge de l'intrusion principale ou localement sous forme de dykes sub-parallèles. Le batholite se compose également de granodiorite peu grenue et de monzogranite à grain grossier. Ces deux derniers constituent le stade principal du corps intrusif, soit 90% du batholite. La granodiorite passe graduellement ou est en contact franc, de la marge vers le centre de l'intrusion, au faciès monzogranitique. Ces deux derniers faciès (granodiorite et monzogranite) renferment de nombreuses enclaves de micro-diorite et des xénolithes du socle. Des stades plus tardifs et plus différenciés comme des dykes et stocks felsiques à caractère peralumineux et des lamprophyres (activité volcanique hypabyssale) recoupent les granitoïdes. Le magmatisme peralumineux se présente sous forme de dykes aplitiques ou comme petits stocks de granite rose avec des cœurs pegmatitiques. Les rares filons de lamprophyres sont plus tardifs et n'ont été observés que le long de quelques veines aurifères comme par exemple la veine Consuelo (Haeberlin, 2002, Daigneault et al., 2003). La figure 1.11c représente un diagramme de Streckeisen (1976) montrant la classification de quelques échantillons de roches provenant du batholite de Pataz (Schreiber, 1990a). La variation géochimique du batholite est attribuée à la différenciation du magma avec des compositions relativement basiques (Lochmann et Schreiber, 1988).

### 1.5.2.3 – *Géochronologie*

Vidal et al. (1995) ont mesuré sur des zircons avec la méthode U-Pb un âge de  $329 \pm 5$  Ma (Carbonifère) sur une granodiorite près de Parcoy. La datation par la méthode  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  sur des biotites provenant de diorites et granodiorites de la région de Pataz a donné deux âges à  $329.2 \pm 1.4$  Ma et  $328.1 \pm 1.2$  Ma (Haeberlin, 2002), ce qui est cohérent avec l'âge mentionné précédemment. Quelques dykes aplitiques furent datés à  $322.1 \pm 2.8$  Ma sur la muscovite et  $325.4 \pm 1.4$  Ma sur la biotite (Haeberlin, 2002).

### 1.5.3 – Généralités sur les veines Mercedes et Jimena

#### 1.5.3.1 - *Introduction*

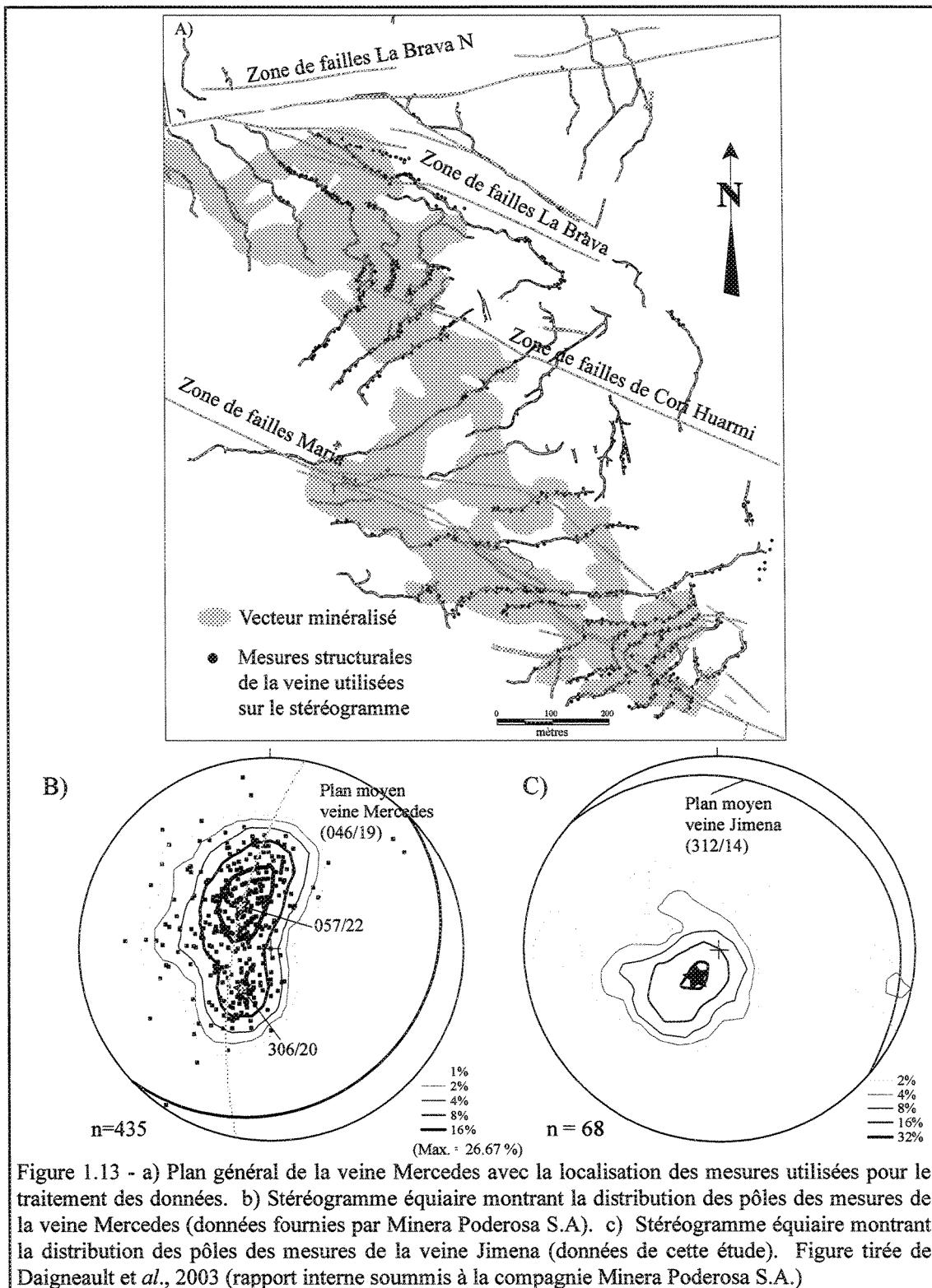
La veine Mercedes s'étend sur plus de 1.7 km avec une extension verticale connue d'environ 530 m. L'épaisseur moyenne de la veine est d'environ 70 cm mais peut varier de quelques centimètres et atteindre localement une épaisseur de 2-3 m. La teneur moyenne est de 25 g/t Au mais dans les secteurs les plus riches, elle peut varier de 50 à 120 g/t Au. La veine Jimena, lors de la fin des travaux de 2002, avait une extension verticale connue de 80 m sur une distance latérale d'environ 350 m. L'épaisseur générale de la veine est de 1 m avec des variations passant de 5 cm à 4 m.

Les veines Mercedes et Jimena sont caractérisées par des attitudes différentes comparativement aux autres veines connues et du secteur. L'attitude initiale de ces veines a pu être modifiée au cours des différents épisodes de déformation de l'orogénie andéenne ce qui n'en fait pas nécessairement des veines distinctes des autres veines du Batholite de Pataz. Par contre, leurs géométries sont différentes des autres veines et il sera important d'identifier la ou les causes de ces différences.

#### 1.5.3.2 – *Géométrie des veines et des vecteurs minéralisés (oreshoot)*

Le stéréogramme de la figure 1.13b illustre la distribution des pôles des mesures structurales de la veine Mercedes. La distribution des pôles suit un méridien avec deux maximum visibles qui peuvent s'expliquer par deux orientations dominantes de la veine soit NE-SO et NO-SE avec des pendages d'environ 20°. L'orientation moyenne de la veine Jimena est NO-SE avec des pendages moyen vers le NE de 14° (Figure 1.13c).

La géométrie du vecteur minéralisé de la veine Mercedes est représentée en détail à la figure 1.14a. Au premier regard, la forme des vecteurs minéralisés semble délimitée et contrôlée par la présence des failles (La Brava, Cori Huarmi et Maria). La figure 1.15 délimite la géométrie du vecteur minéralisé de la veine Jimena avec les données de 2001 à 2004. La partie sud du vecteur minéralisé est d'orientation N-S tandis que la partie nord est d'orientation NO-SE. Il est possible de reconnaître plusieurs vecteurs de



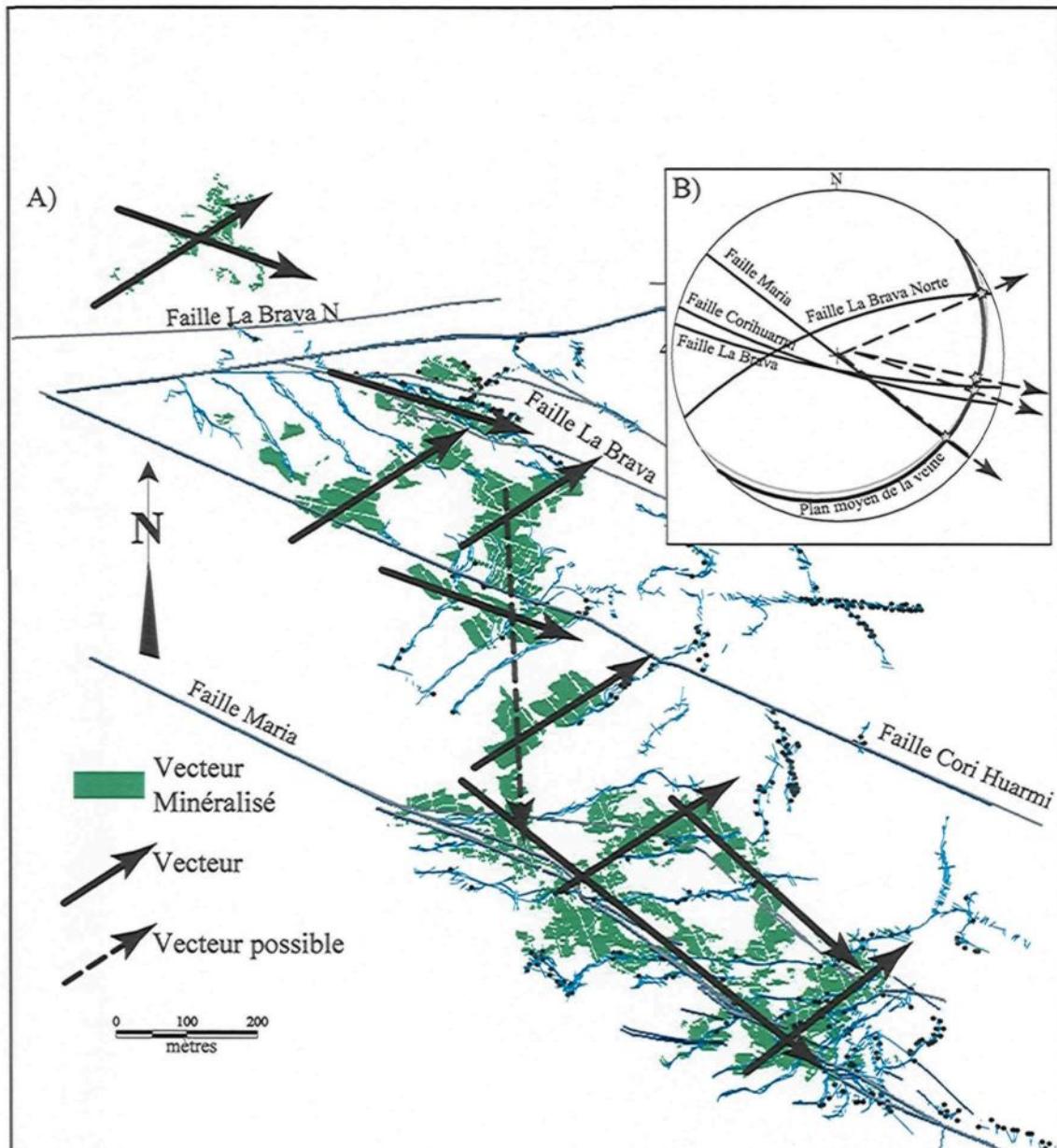
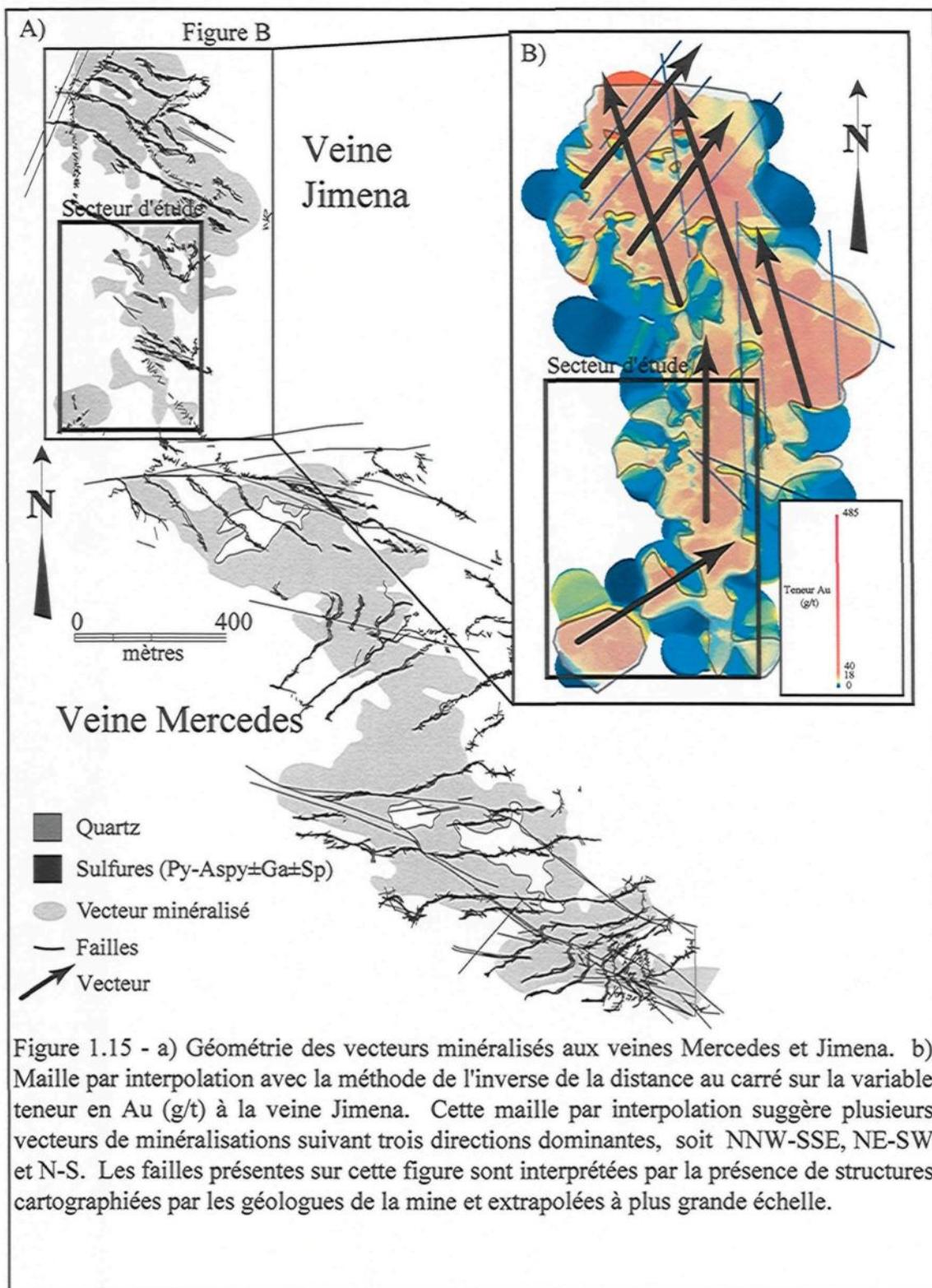


Figure 1.14 - a) Géométrie du vecteur minéralisé de la veine Mercedes délimitée et contrôlée par les failles transversales. Dans cette zone, plusieurs vecteurs de minéralisations sont reconnus suivant deux directions dominantes, N-E et S-E. b) Stéréogramme mettant en relation le plan moyen de la veine Mercedes avec les plans de failles majeures. L'intersection du plan moyen avec les plans de failles correspond avec l'orientation des vecteurs minéralisés et des vecteurs possibles. Figure tirée de Daigneault et al., 2003 (rapport interne soummis à la compagnie Minera Poderosa S.A.)



minéralisations secondaires à l'intérieur même de cette zone avec trois orientations dominantes : 1) NNO-SSE, 2) NE-SO et 3) N-S.

#### *1.5.3.3 – Paragenèse minérales, métalliques et minéraux d'altération*

La veine Mercedes est composée de quartz laiteux (blanc) et transparent avec 5 à 7 % de sulfures (pyrite + arsénopyrite  $\pm$  sphalérite  $\pm$  galène  $\pm$  chalcopyrite) et de carbonates qui semblent être plus tardifs à la formation de la veine (Haeberlin et al., 2000) et cimentent le quartz déjà présent. La composition de la veine Jimena est similaire à l'exception du pourcentage de sulfures qui est plus élevé (15%) et la quantité de galène et de sphalérite qui est aussi plus élevée que la veine Mercedes. Généralement, les sulfures se retrouvent sous forme massive, semi-massive, laminée ou disséminée. L'âge de la minéralisation serait différente de celle du batholite et est estimé à 314-312 Ma. Ceci correspond à l'âge de l'altération hydrothermale mesuré sur la séricite formant l'enveloppe altérée des veines aurifères et datée par la méthode  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dans le district de Pataz et à la mine de Culebrillas (Haeberlin, 2002).

Pour les veines Mercedes et Jimena, les halos d'altération sont ceux des faciès des schistes verts (Haeberlin, 2002). L'altération hydrothermale de la roche encaissante décolore fortement la roche et consiste en une séricitisation et une chloritisation accompagnées d'une pyritisation-carbonatation-silicification mineure. La zone d'altération varie de centimétrique à pluri-métriques et vers l'extérieur de cette enveloppe, l'altération s'estompe brusquement en quelques centimètres. Une faible propylitisation s'observe alors avant la roche fraîche et elle est d'une épaisseur centimétrique (Haeberlin et al., 2000). Les textures magmatiques sont préservées, mais la minéralogie primaire est partiellement à entièrement remplacée par un assemblage de quartz recristallisé et de micas blancs à grains fins, recoupé par des veinules millimétriques de calcite (Haeberlin, 2002).

## **CHAPITRE II**

### **DESCRIPTION DES SITES D'ÉTUDES**

#### **2.1 - Introduction**

##### **2.1.1 – Généralités**

Les cartographies effectuées au cours de ce projet ont été réalisées aux échelles 1:25 et 1:50 le long de l'axe longitudinal de la veine. Des sections verticales furent également cartographiées à l'échelle 1:10 lorsque l'exposition de la veine le permettait. Les résultats sont reportés en plan pour permettre la construction d'une carte générale de tous les secteurs d'étude. Les sites cartographiés ont été sélectionnés sur la base de leur pertinence et de leur accessibilité, ceci afin de couvrir différentes parties de la veine. Il s'agit (Figure 2.1 et Tableaux synthèse 2.1 et 2.2 en Annexe B):

- 1 - 2190-GLN (Veine Mercedes)
- 2 - 2190-GLN, Zone de failles La Brava (Veine Mercedes)
- 3 - 1987-GLN, Zone de failles Cori Huarmi (Veine Mercedes)
- 4 - 1987-GLN, Rampa Bonita Negativa (Veine Mercedes)
- 5 - 1757-GLE (Veine Mercedes)
- 6 - 2017-GLS (Veine Jimena)
- 7 - 2017-GLN (Veine Jimena)
- 8 - 1987-GLN, Rampa Lola Positiva (Veine Jimena)
- 9 - 1950-GLN, tajo-7977 (Veine Jimena)
- 10 - 1950-GLN (Veine Jimena)
- 11 - 1937-GLN (Veine Jimena)

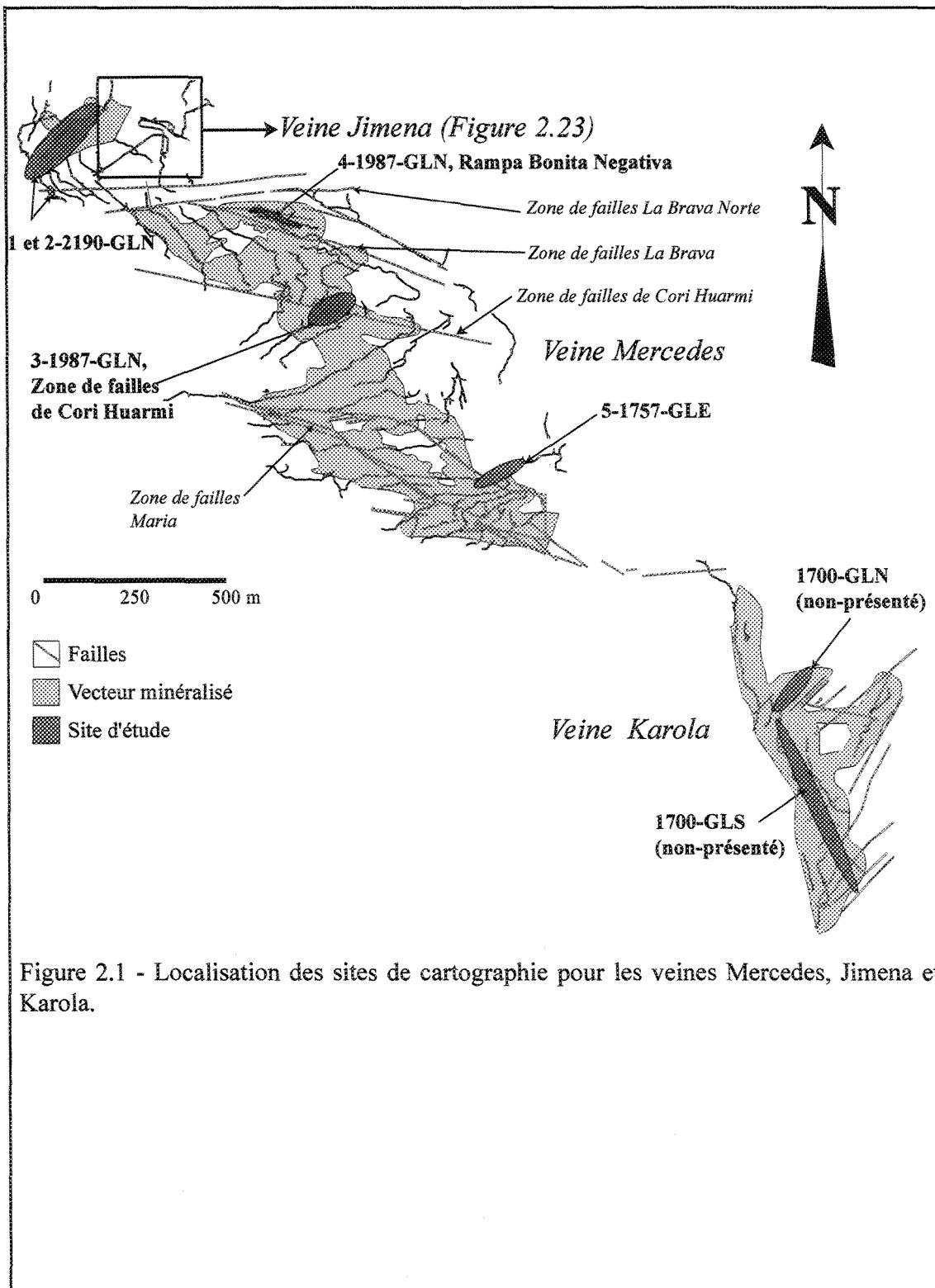


Figure 2.1 - Localisation des sites de cartographie pour les veines Mercedes, Jimena et Karola.

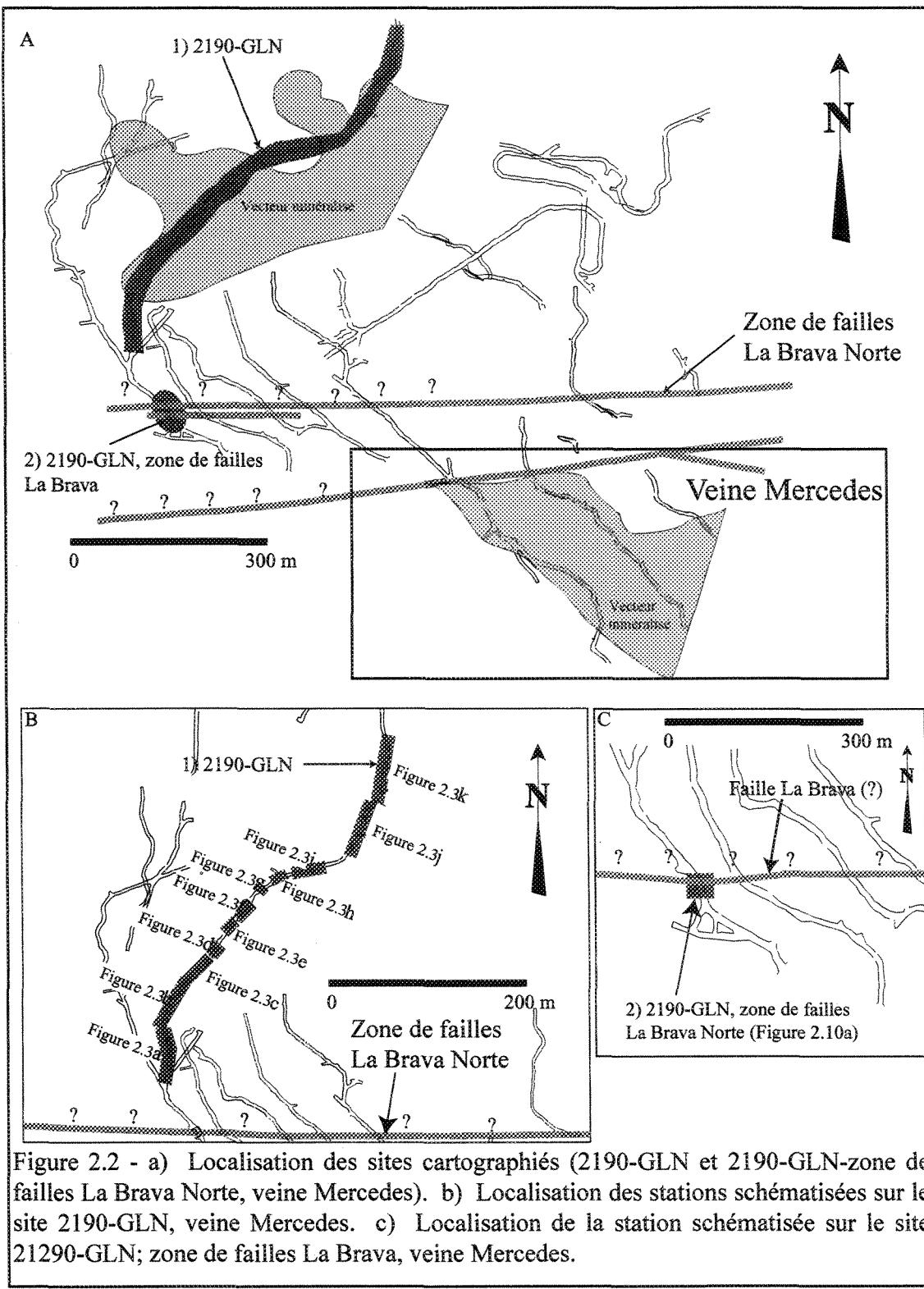
## **2.2 – Site 2190-GLN, Veine La Brava**

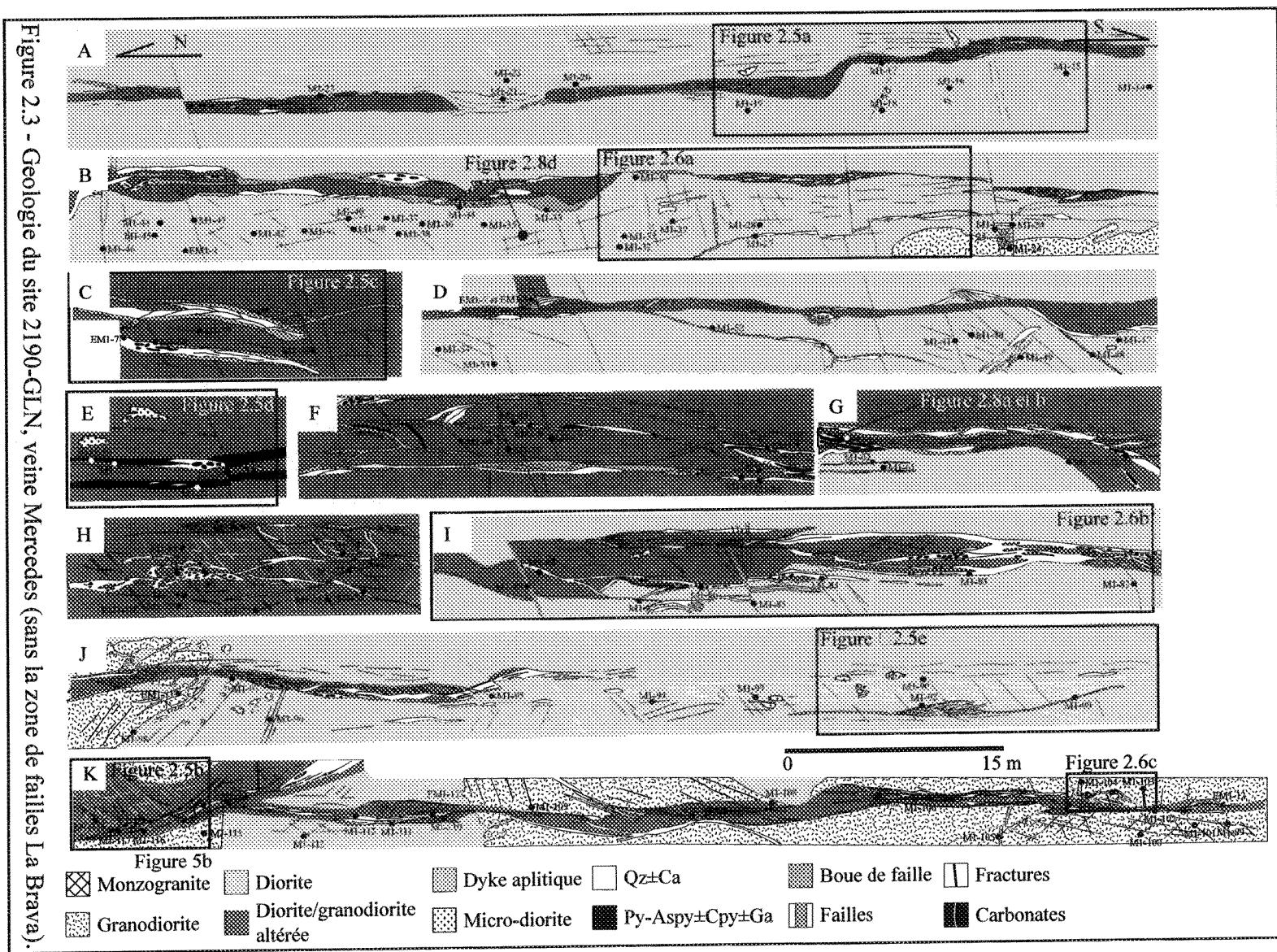
### **2.2.1 – Localisation**

La veine La Brava se situe à l'extrême NO de la veine Mercedes et au Sud de la veine La Lima (Figures 2.1 et 2.2a). La veine La Brava peut représenter une extension possible de la veine Mercedes puisque les deux veines ne sont pas en superposition spatiale et que la zone de contact demeure jusqu'à ce jour inconnue. La galerie 2190-GLN est accessible par la surface. La zone cartographiée (Figure 2.2b) est située en majeure partie dans le vecteur minéralisé sommital de la veine Mercedes. Seule une petite partie située au sud de la galerie se retrouve en dehors du vecteur minéralisé (Figure 2.3a et b). Les cartographies de la galerie 2190-GLN sont des coupes longitudinales à regard vers l'est recoupant du SO vers le NE le vecteur minéralisé. Cette galerie permet de voir plusieurs phénomènes liés à l'évolution de la veine. Au total, 315 mètres de galerie furent cartographiés sur ce site (Figure 2.3).

### **2.2.2 – Lithologie**

Le site 2190-GLN se retrouve en majorité dans la granodiorite ou dans la diorite quartzifère (Figure 2.4). Celles-ci se composent de feldspath plagioclase, de biotite, de hornblende verte et de quartz en quantité variable. Les contacts entre la diorite et la granodiorite sont généralement francs et ondulants. Des enclaves de micro-diorite sont présentes localement dans la diorite et/ou la granodiorite. Le tableau 2.2.1 résume les caractéristiques des différentes lithologies présentes sur le site 2190-GLN.





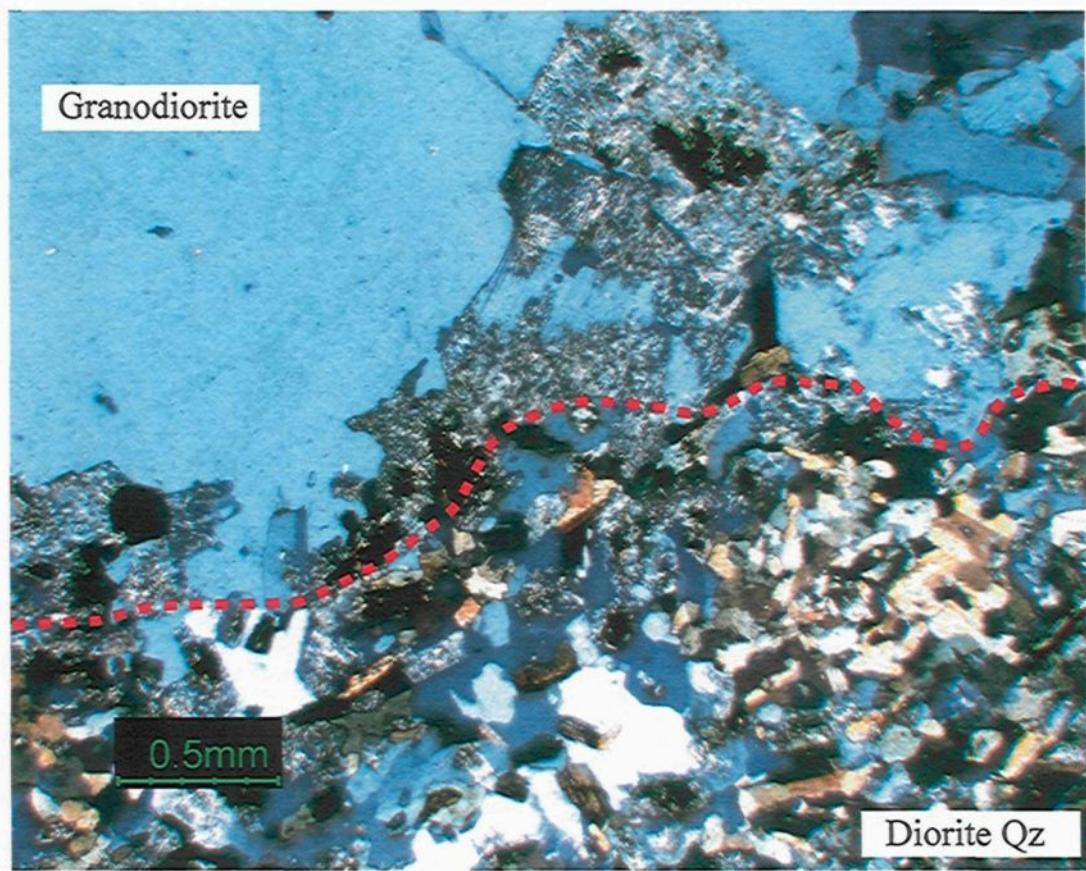


Figure - 2.4 Site 2190-GLN, veine Mercedes. Contact franc entre la diorite quartzifère et la granodiorite. Lumière transmise polarisée, 2.5X.

**TABLEAU 2.2.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 2190-GLN, VEINE LA BRAVA.**

Lithologie	Composition				Texture	Commentaire
	F-P	F-K	Qz	Am-Bo		
<b>Diorite mafique quartzifère</b>	35%	-	25%	38%	Hypidiomorphe granulaire à Hb-Bo interstitielles	1% calcite-préhnite sous forme de veinule mm. Calcite dans bordures altérées des veinules mm. 1% minéraux opaques (Py), cubique.
<b>Granodiorite</b>	46%	-	50%	4%	Hypidiomorphe granulaire	Tr minéraux opaques (Py), xénomorphes.
<b>Micro-diorite</b>	40%	-	5%	55%	?	Enclaves cm à m, arrondies, fort % de minéraux mafiques

### 2.2.3 - Veine

L'orientation moyenne de la veine principale et des veines secondaires sur ce site est de 047°/30° avec un pendage vers le SE (Figure 2.6d) avec des variations allant de 350°/34° à 074°/56°. L'épaisseur minimale de la veine est de 15 centimètres et l'épaisseur maximale est de 70 centimètres avec très peu de variation visible (épaisseur constante). Elle se compose de 70% de quartz, 10% de calcite, de 5 à 10% sulfures (88% Py, 7% Aspy, 3% Ga et 2% Cpy) et de 5-10% fragments de roche encaissante altérés et incorporés dans la veine.

La galerie 2190-GLN ne présente pas une veine importante en termes d'envergure mais permet d'apprécier plusieurs phénomènes qui peuvent être intégrés au processus de formation de la veine. L'observation d'une veine discontinue associée à une bordure d'altération visible est la caractéristique principale de ce site. Localement, seule l'altération est présente le long d'une fracture principale, désignée comme la structure principale<sup>1</sup> et située dans le prolongement de la veine. Ce phénomène d'arrêt de la veine et de continuité de la structure principale le long du plan de fracturation altéré et continu sur plusieurs mètres au-delà de la veine est commun à la mine. Le tableau 2.2.2 résume les éléments importants observés sur le site 2190-GLN associés à la veine.

<sup>1</sup> La structure principale est définie ici comme une zone de fracturation avec altération visible avec ou sans développement d'une veine.

Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$			
	047/30		350/34 à 074/56		15 cm		70 cm		Constante			
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse							
	70%	10%	5-10%	5-10%	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy			
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation					
	Disséminés, massif <sup>1</sup> , semi-massif <sup>2</sup>			Laminée <sup>3</sup> , texture d'ouverture-remplissage (texture en peigne)			Duplication <sup>4</sup> , boudinage et démembrement <sup>5</sup> , plissement <sup>6</sup> , déplacement dm de la veine <sup>7</sup>					
Altération visible	Dimension				Minéralogie							
	Centimétrique à métrique				Sér + Chl ± Py ± Ca ± Qz							

TABLEAU 2.2.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 2190-GLN.

Plusieurs fractures sont parallèles au plan principal tandis que d'autres sont sécantes (Figure 2.5a). La veine et/ou la zone d'altération change localement de plan de fracture à partir de relais sur des fractures transversales (Figure 2.5a). La veine n'occupe pas une fracture unique mais est généralement présente dans plusieurs fractures parallèles avec localement des zones de relais (Figure 2.6f et g). Lorsque des veines se développent dans plusieurs fractures parallèles rapprochées, les épontes entre ces veines deviennent des fragments de dimensions variables incorporés dans la veine présentant divers degrés d'ingestion et d'altération (Figure 2.6g). Ce phénomène d'incorporation des fragments d'éponte s'observe autant à l'échelle macroscopique que microscopique. Ces fragments sont localement injectés par des veines de quartz conférant à ceux-ci des motifs en « casse-tête ». Il est important de noter que les fragments dans la veine ne présentent aucune schistosité contrairement aux épontes au toit et au plancher qui peuvent être déformées et avoir une schistosité planaire de développée. La veine se présente communément avec des alternances de bandes riches en sulfures et de quartz

<sup>1</sup> Figure 2.5d<sup>2</sup> Figures 2.8a et b<sup>3</sup> Figure 2.5b<sup>4</sup> Figure 2.5c<sup>5</sup> Figure 2.6f<sup>6</sup> Figure 2.6h<sup>7</sup> Figures 2.5d, 2.6f et g

disposés d'une manière symétrique. Des textures en peigne s'observe à partir de l'organisation des cristaux de quartz perpendiculaires aux lames de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine.

#### 2.2.4 - Pétrographie

L'observation de quelques échantillons microscopiques de la veine montre que (Figure 2.7) :

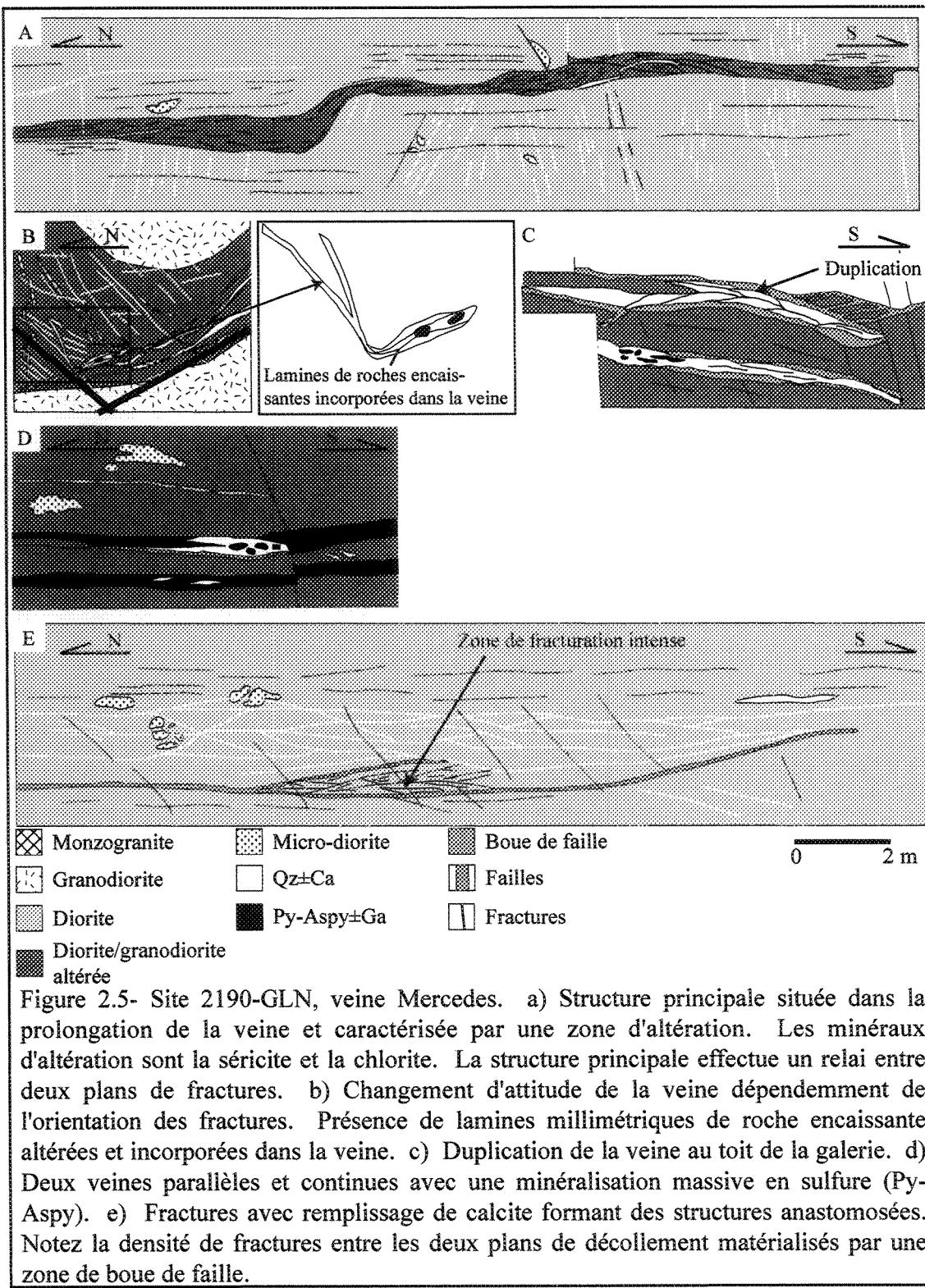
- le quartz forme des cristaux idiomorphes à sub-idiomorphes avec des textures de remplissage en milieu ouvert comme des textures en peigne,
- les carbonates recoupent les grains de quartz, et
- l'injection des sulfures est associée spatialement avec les carbonates.

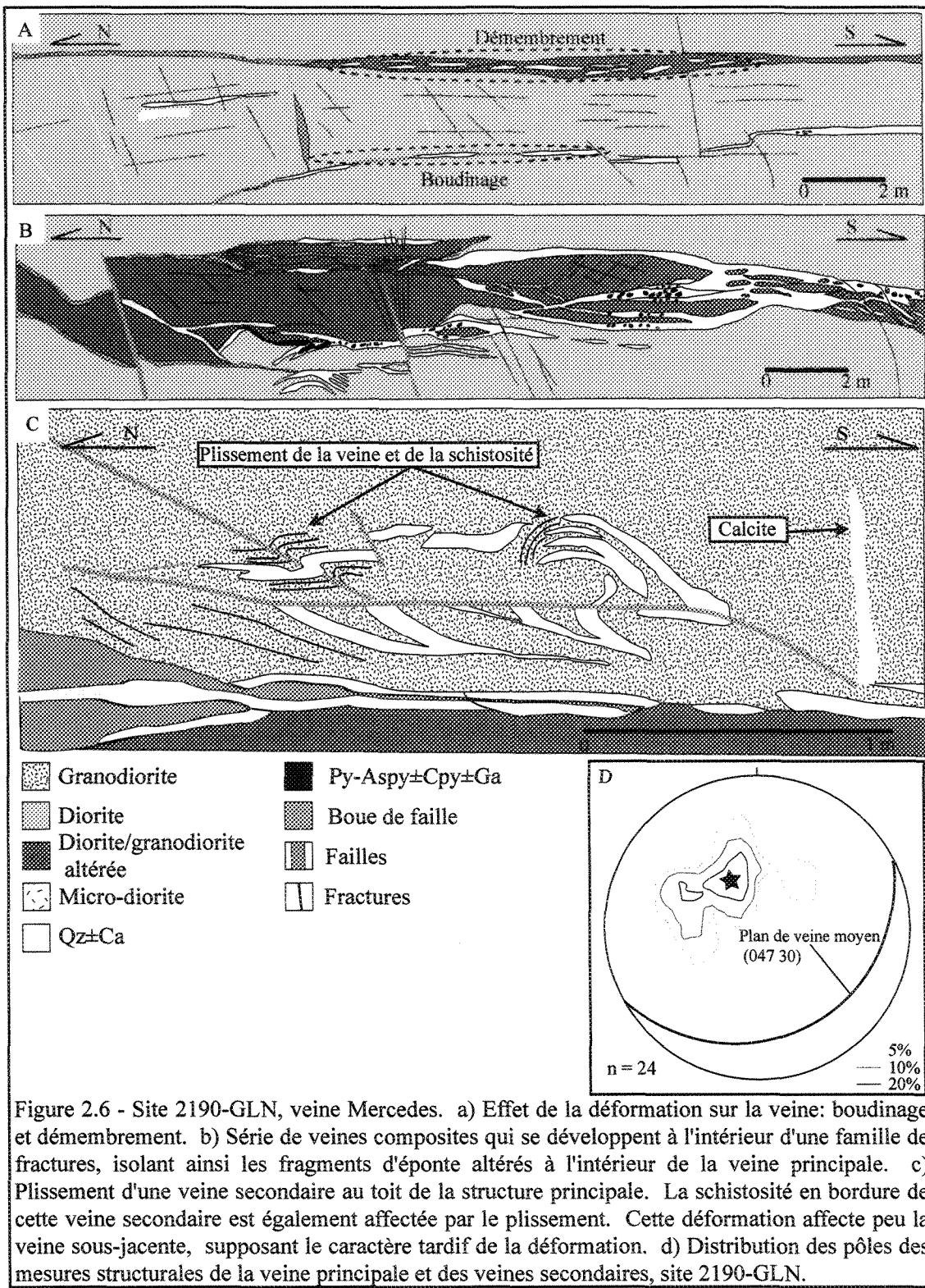
#### 2.2.5 – Structure et déformation

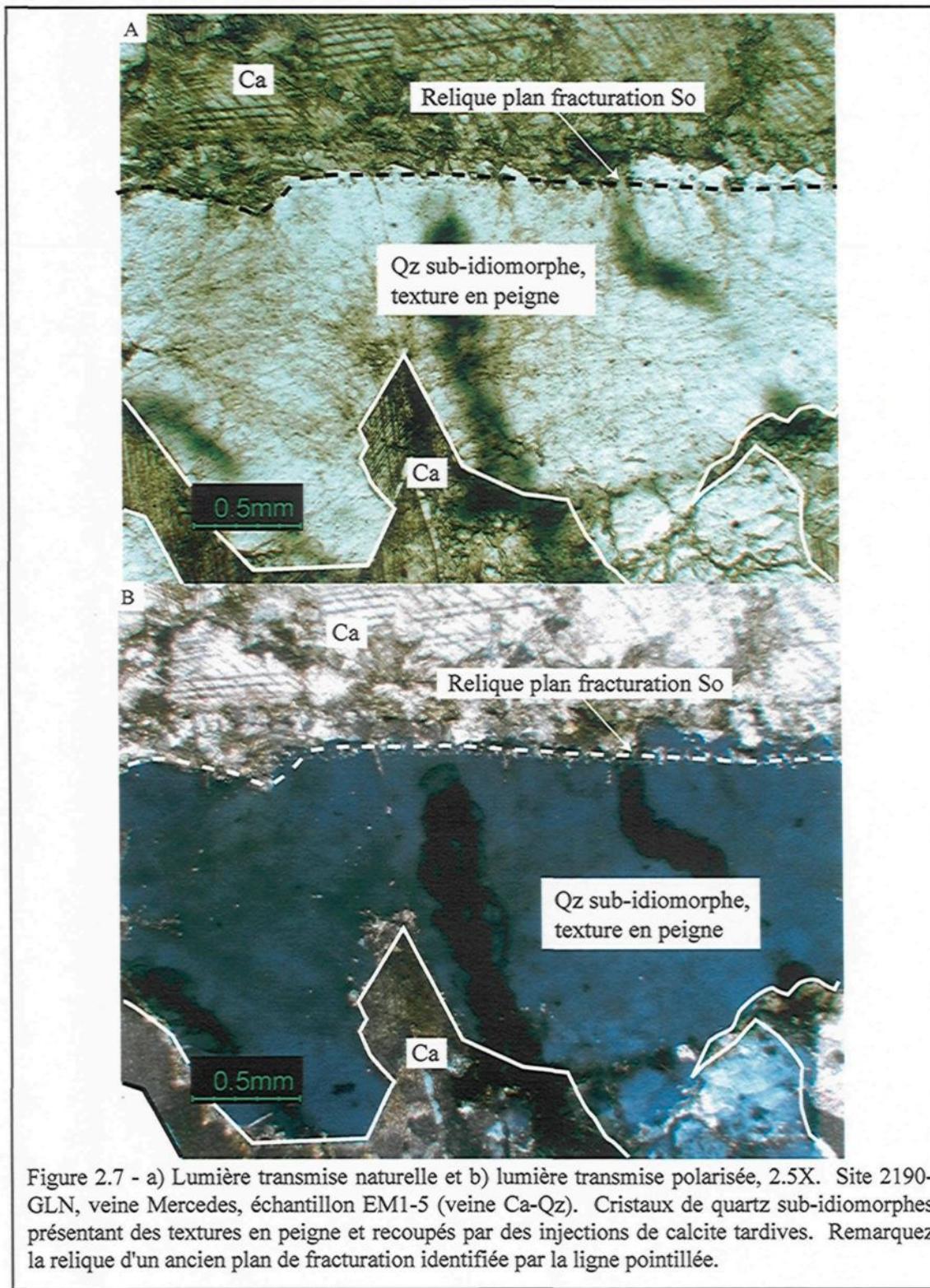
La compilation des données structurales est présentée au tableau 1 en Annexe A et comprend les fractures (sans déplacement), les failles et les zones de boue de faille. Le tableau 2.2.3 résume ces éléments importants pour le site 2190-GLN.

##### 2.2.5.1 – *Fractures*

Deux familles de fractures sont présentes sur le site 2190-GLN (Figure 2.9a). Une première famille possède une attitude sub-parallèle au plan de la veine tandis que l'autre famille, de pendage plus abrupt, est sécante au plan de veine et sub-parallèle aux failles transversales (Cori Huarmi, La Brava, Maria). Ces fractures montrent communément des relais (Figure 2.8c) et peuvent former un réseau anastomosé (Figure 2.5e). Les différentes orientations de ces familles de fractures peuvent expliquer le changement brusque de l'attitude de la veine et/ou de la structure principale comme le montre la figure 2.5b.







Structures	Description				
	Orientation	Type	Altération	Caractéristiques	
Fractures	Famille A	-	Bordure mm à cm, local.	Rectilignes et continues sur plusieurs mètres <sup>1</sup> , // à sub-// au plan de la veine.	
	057 35				
Failles	Famille B	-	Bordure mm à cm, local.	Sub-// aux systèmes de failles La Brava et Cori Huarmi.	
	117 73				
Failles	Famille A	Fragile et ductile	Sér - Qz - Chl	Localement, zone de boue de faille, matériel lâche et mal structuré avec fractures // associées.	
	247 30-90				
Plan de décollement	Famille B	Fragile et ductile	Sér - Qz - Chl	Localement, zone de boue de faille, matériel lâche et mal structuré avec fractures // associées..	
	112 77				
Plan de décollement	060 37	Ductile	Sér - Chl ± Ca	Souvent associées à une zone de boue de faille, // plan de la veine, cm à dm.	
Veinules	Famille 1	Calcite	Sér ± Chl.	Sub-// aux fractures ou aux failles, d'épaisseur mm à dm.	
	- -				
Veinules	Famille 2	-	-	-	-
	- -				

TABLEAU 2.2.3 – CARACTÉRISTIQUES DES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX, SITE 2190-GLN.

### 2.2.5.2 – Failles mineures

Deux familles de failles mineures sont observées sur le site 2190-GLN (Figures 2.9b). La famille A est de direction NE et est comparable à l'attitude du système de failles « La Brava ». La famille B, de direction SE, correspond à la famille de fractures B avec une attitude comparable aux systèmes de failles de « Cori Huarmi ». Localement une faible foliation peut se développer en bordure de certaines failles. Généralement, une zone de boue de faille<sup>2</sup> composée de séricite-chlorite-quartz occupe ce plan de faille.

### 2.2.5.3 – Plans de décollement

Le toit et localement le mur de la veine se caractérisent par des plans de décollement. Même sans la présence de la veine, ces plans se poursuivent au-delà en suivant des plans de fractures communément altérés (Figure 2.5e). Tel que défini par

<sup>1</sup> Figures 2.5a et 2.8c

<sup>2</sup> La boue de faille est définie ici comme étant un matériel provenant du broyage de la roche encaissante. Ce matériel est mal structuré, témoin d'une déformation fragile et située au toit de la veine, au plancher de la veine ou dans un plan de faille.

Lin (2001), une foliation cataclastique peut être observée au sein de la boue de faille à l'intérieur de ces plans de décollement. Cette fabrique planaire est généralement parallèle au plan de la veine principale. L'orientation moyenne des plans de décollement mesurés sur le site 2190-GLN est de  $060^{\circ}$  avec des pendages de  $40^{\circ}$  vers le SE (Figure 2.9d) soit une attitude sub-parallèle à la veine.

### 2.2.6 - Altération

Une zone d'altération visible, d'épaisseur millimétrique à métrique, est reconnue en bordure des veines et de plusieurs fractures (Figures 2.8c et d). Cette altération est généralement faible loin des veines mais augmente progressivement à leur approche.

L'altération prend différentes expressions selon la lithologie. Dans la granodiorite, les plagioclases sont remplacés par la séricite avec localement une texture saccharoïde et la biotite s'altère en chlorite. Il y a présence commune d'inclusions ferrugineuses dans les plans de clivage de la biotite. Localement, une forte silicification peut être observée en bordure de certaines fractures (Figure 2.8d). Dans la diorite quartzifère, la séricite est également commune et représente le produit d'altération des plagioclases. Sa texture est localement pseudo-aciculaire mais généralement saccharoïde. La biotite est complètement altérée en chlorite. Une pyritisation et une carbonatation peuvent accompagner l'altération principale dans les deux lithologies. Communément, il est possible d'observer de la pyrite cubique dans les épontes altérées.

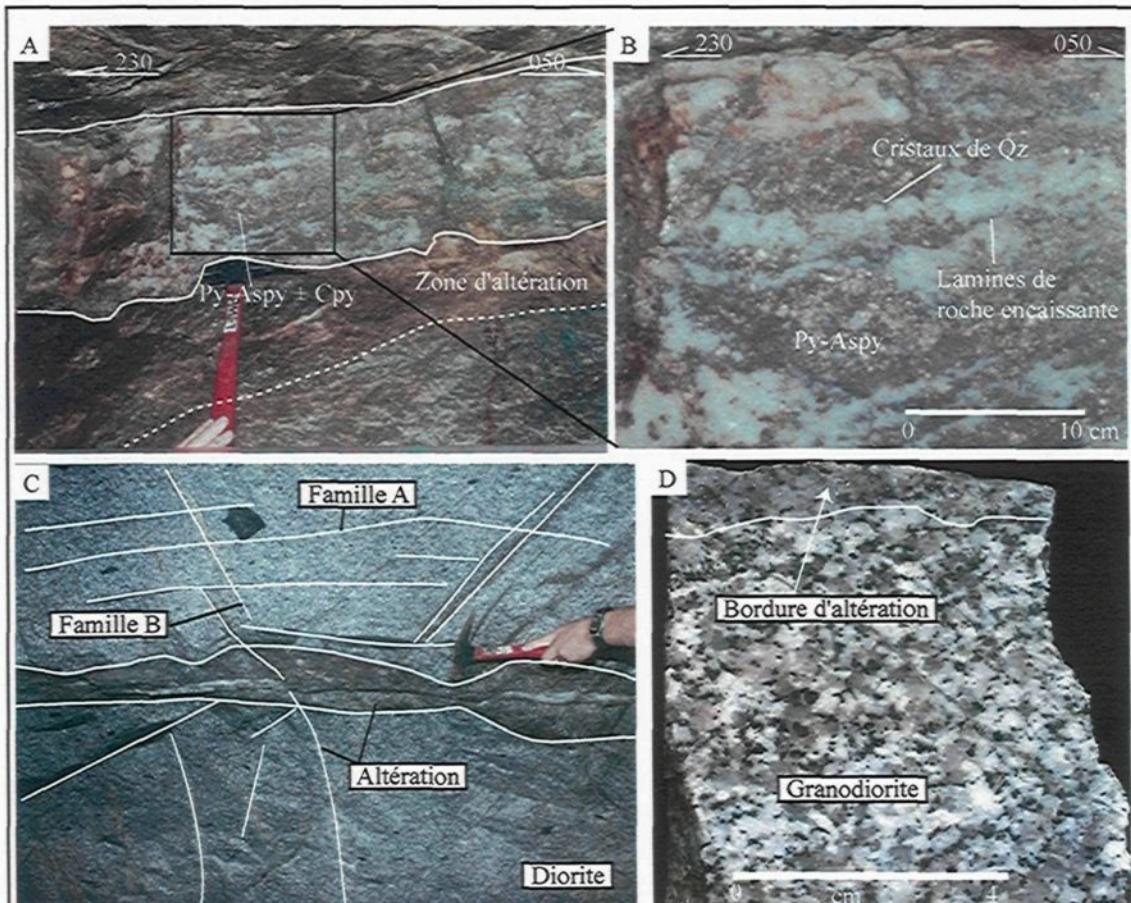


Figure 2.8 - Site 2190-GLN, veine Mercedes. a) Veine semi-massive (Py-Aspy-Malachite) avec comme minéral de remplissage du quartz blanc. Les sulfures précipitent en bordure des cristaux de quartz. Le contact entre la roche encaissante et la veine est franc. b) Agrandissement de la figure précédente montrant des laminas de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine avec croissance des cristaux de quartz (texture en peigne) perpendiculairement à la bande de sulfures massives et du plan de la veine. c) Veinule de quartz blanc d'épaisseur centimétrique avec une bordure d'altération (Sér + Qz ± Chl ± Py) encaissée dans la diorite. Les fractures ont une bordure d'altération avec les mêmes minéraux de remplacement que la structure principale (Sér + Qz ± Chl). d) Bordure d'altération (Qz + Sér ± Chl) d'épaisseur centimétrique aux pourtours d'une fracture dans la granodiorite.

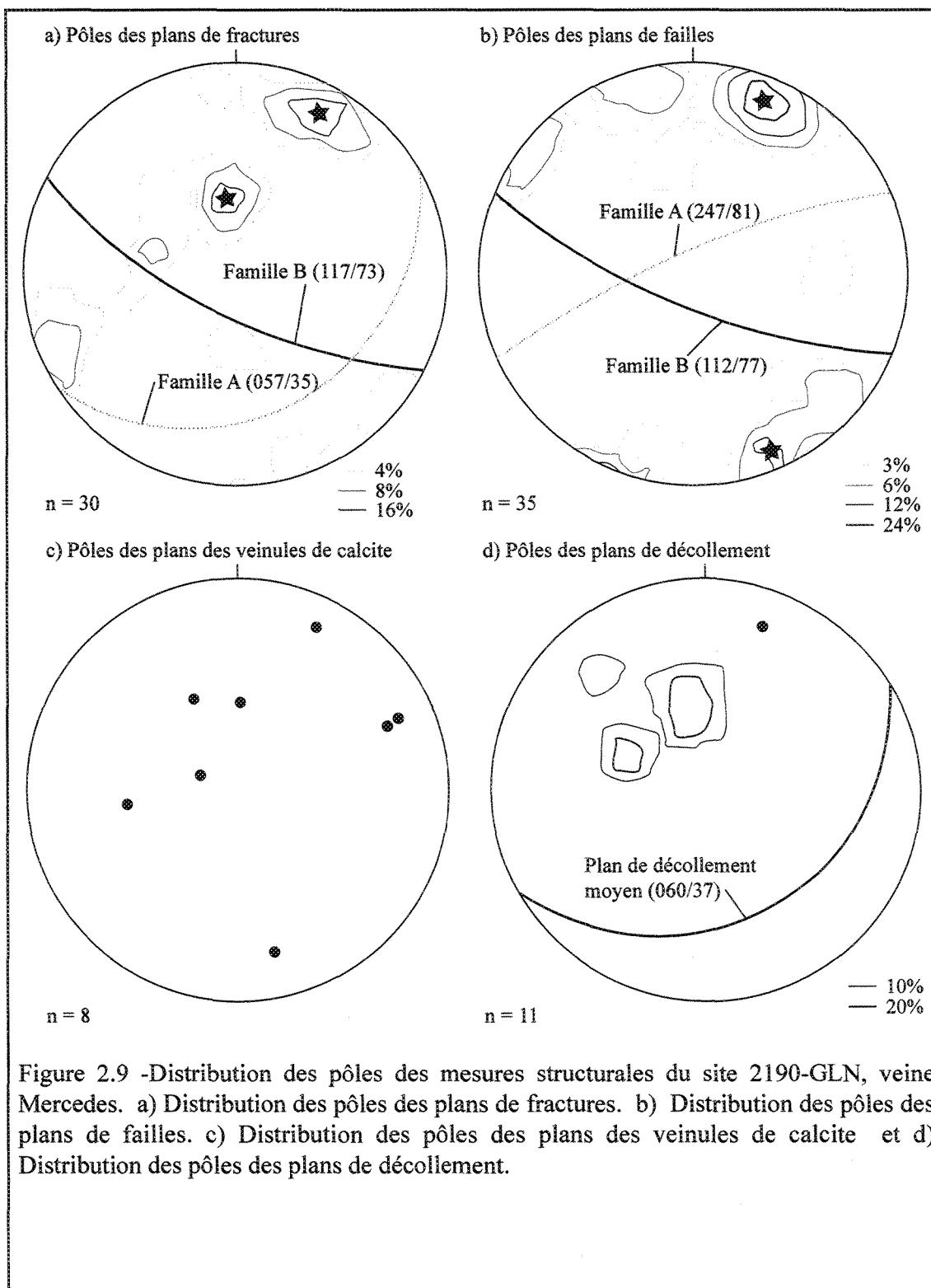


Figure 2.9 -Distribution des pôles des mesures structurales du site 2190-GLN, veine Mercedes. a) Distribution des pôles des plans de fractures. b) Distribution des pôles des plans de failles. c) Distribution des pôles des plans des veinules de calcite et d) Distribution des pôles des plans de décollement.

### 2.2.7 - Sommaire

Le site 2190-GLN permet d'apprécier plusieurs phénomènes qui peuvent représenter différents stades de la formation de la veine. En voici les faits saillants :

- La présence de plusieurs fractures rectilignes et continues sur plusieurs mètres, avec des bordures d'altération et sub-parallèles à la structure principale est un fait notable et suggère que la veine a suivi un plan principal constitué d'une ou plusieurs fractures parallèles.
- La lithologie présente semble contrôler localement l'ouverture et la formation de la veine ainsi que le réseau de fractures.
- Lorsque la veine se développe dans la granodiorite, seule des lambeaux de veine restreinte et la zone d'altération sont observés. De plus, lorsque les fractures sont anastomosées, la veine ne semble pas se développer.
- L'alternance de bandes de quartz et de sulfures et les textures en peigne ainsi que les laminés de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine montre que l'ouverture de la veine se produit en épisodes multiples.
- La relation de recouplement entre le quartz blanc et la calcite indique l'injection dans un premier temps du quartz et de la calcite par la suite.
- On note une absence de schistosité dans les fragments de roche encaissante dans la veine tandis qu'une schistosité bien développée s'observe localement au toit et au plancher de la veine.
- La veine principale et la structure principale lorsque la veine est absente, ont été le site d'une déformation qui a produit le glissement et le décollement localisé au toit de ces structures.

- L'orientation des deux familles de failles mineures s'apparentent aux deux systèmes de failles majeures reconnues sur le site (système de failles La Brava et de Cori Huarmi).
- Une famille de fractures reconnue sur le site (Famille B) s'oriente sub-parallèlement à une famille de failles mineures.

## 2.3 – Site 2190-GLN, Zone de failles La Brava Norte, veine Mercedes

### 2.3.1 - Localisation

Le site cartographié se situe à l'extrême sud de la galerie 2190-GLN. Cette zone est située près de la faille La Brava (Figure 2.2a et c), à l'extérieur du vecteur minéralisé somitaire de la veine Mercedes (150 m au sud du vecteur minéralisé). La faille n'a pas été observée à la surface. Par contre, l'exposition de celle-ci au niveau 2190-GLN est excellente. Ce site permet donc d'établir les relations entre la veine et l'une des failles transversales majeures. La cartographie de la galerie 2190-GLN, zone de failles La Brava est une coupe longitudinale à regard vers l'est. Au total, 7 mètres de galerie furent cartographiés.

### 2.3.2 - Lithologie

La roche encaissante sur ce site est de la tonalite. Un dyke andésitique fortement altéré et d'une épaisseur maximale de 5.5 mètres recoupe la lithologie encaissante (Figures 2.10a et 2.11a). La déformation au contact dyke-tonalite se caractérise par une texture cataclastique. Cette texture combinée à la présence de nombreux plans de fractures montre bien le caractère fragile de la déformation au sein du dyke. Le tableau 2.3.1 résume les caractéristiques de la roche encaissante sur le site 2190-GLN-Zone de failles La Brava.

Lithologie	Composition				Texture	Commentaires
	<i>F-P</i>	<i>Chl</i>	<i>Qz</i>	<i>Ép</i>		
<b>Tonalite</b>	20%	-	73%	-	Hypidiomorphe granulaire lorsque non-déformée	2% de fuschite 3% de calcite 1% opaques
<b>Dyke andésitique</b>	40%	20%	-	30%	Intergranulaire	10% opaques Forte déformation fragile au contact dyke-tonalite <sup>1</sup>

TABLEAU 2.3.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 2190-GLN-ZONE DE FAILLES LA BRAVA.

### 2.3.3 - Veine

La veine La Brava est orientée NNO-SSE avec un pendage de 39° vers l'est (Figure 2.10c). L'orientation de la veine La Brava est constante. L'épaisseur minimale de la veine est de 10 centimètres et l'épaisseur maximale est de 20 centimètres avec très peu de variation visible. Il est important de noter que la distance totale d'observation est de 9 mètres. Elle se compose à 99% de quartz blanc, traces de carbonates et de la pyrite disséminée en faible proportion (1%). Les contacts entre la roche encaissante et la veine sont francs avec une faible bordure d'altération visible d'épaisseur centimétrique à décimétrique. Une texture commune de la veine sur ce site sont les lames millimétriques de roche encaissante altérées en séricite-chlorite et incorporées dans la veine. La veine est localement plissée et démembrée au contact de la diorite et de la zone de faille. De plus, la veine est recoupée par un dyke mafique de composition andésitique. Le tableau 2.3.2 résume les caractéristiques de la veine La Brava sur ce site.

<sup>1</sup> Figures 2.10b, 2.11a et b

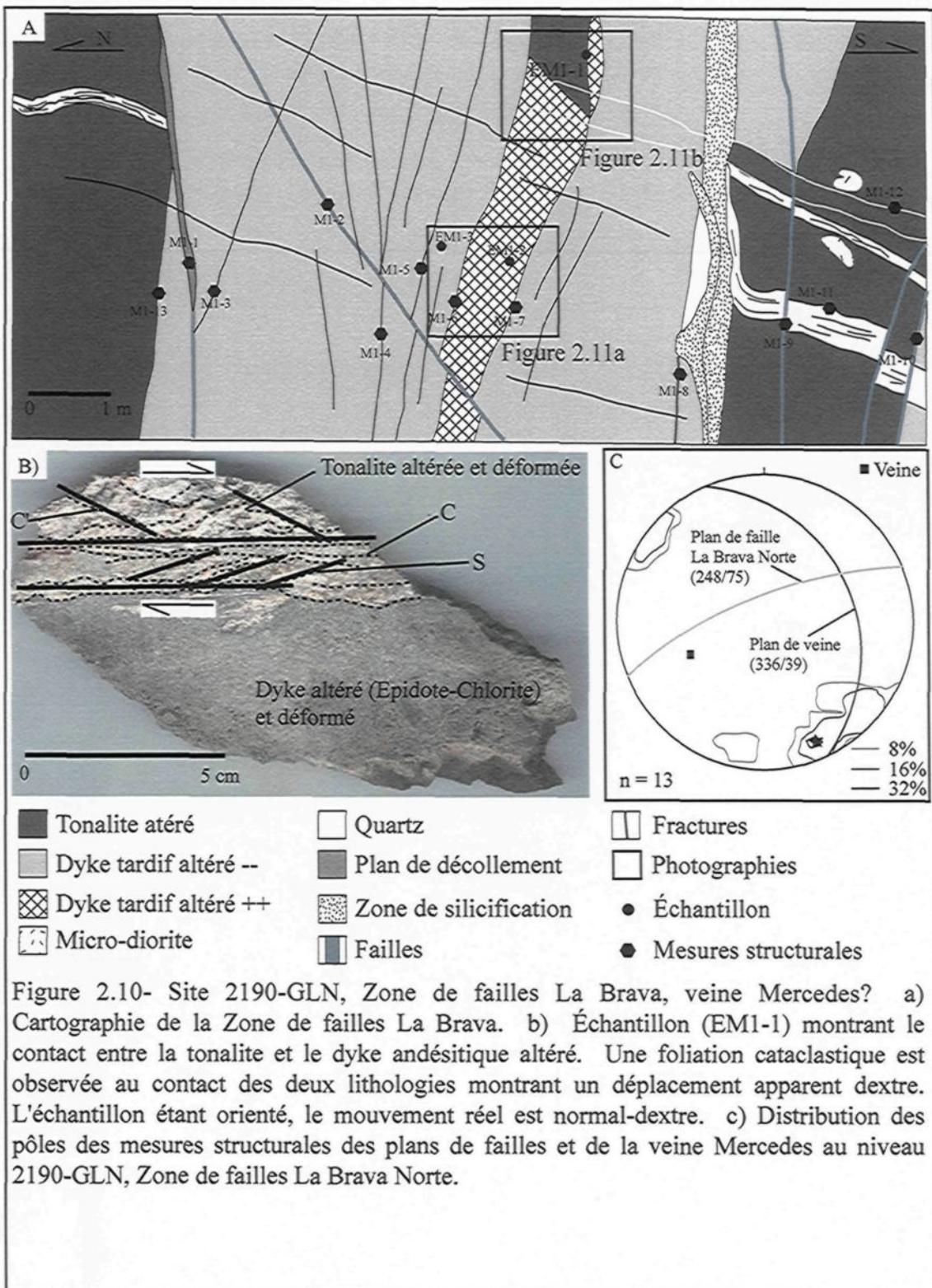


Figure 2.10- Site 2190-GLN, Zone de failles La Brava, veine Mercedes? a) Cartographie de la Zone de failles La Brava. b) Échantillon (EM1-1) montrant le contact entre la tonalite et le dyke andésitique altéré. Une foliation cataclastique est observée au contact des deux lithologies montrant un déplacement apparent dextre. L'échantillon étant orienté, le mouvement réel est normal-dextre. c) Distribution des pôles des mesures structurales des plans de failles et de la veine Mercedes au niveau 2190-GLN, Zone de failles La Brava Norte.

	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$					
	336°/39°		Constante		15 cm		20 cm		10 à 20 cm					
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse									
	99%	Tr	1%	-	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy					
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation							
	Disséminés			Laminée			<i>Plissement et démembrement de la veine au contact dyke-diorite</i>							
Altération visible	Dimension				Minéralogie									
	Centimétrique à décimétrique				Qz +Sér ± Chl ± Py									

TABLEAU 2.3.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE LA BRAVA (VEINE MERCEDES ?), SITE 2190-GLN-ZONE DE FAILLES LA BRAVA NORTE.

### 2.3.4 – Structures et déformation

Plusieurs plans de failles mineures sont reconnus dans la zone de failles La Brava Norte. Localement ces plans sont occupés par une zone de boue de faille composée de séricite et de chlorite (mesure structurale M1-1). Ces plans donnent une orientation moyenne de 248°/75° (Figure 2.10c), ce qui correspond à l'orientation E-O de la famille de failles La Brava Norte. La continuité latérale de la veine de part et d'autre de la zone de faille laisse présager soit un déplacement très faible ou un déplacement en composante horizontale non visible dans la section verticale de la cartographie. La présence d'un dyke mafique sans faire intervenir de faille pourrait également expliquer le décalage apparent observé.

En plus des nombreux plans de fractures présents, la déformation au contact dyke-tonalite se caractérise par la présence d'une foliation cataclastique qui démontre bien le caractère fragile de la déformation. La figure 2.12 représente des photographies d'une lame mince présentant des microstructures dans une andésite cataclasée non foliée (a) et dans une tonalite présentant une foliation cataclastique (b). Les porphyroclastes peuvent atteindre 6 millimètres de diamètre et sont arrondis à sub-anguleux. Les

fragments sont composés généralement de 65% feldspath plagioclase, 15% d'épidote, 15% chlorite et 5% de minéraux opaques. La matrice, de couleur brun foncé, est composée à 85% de feldspath plagioclase, 10% d'épidote, 2% chlorite et 3% oxyde de fer. La proportion matrice-porphyroclastes est environ 60-40% respectivement. Selon la classification de Sibson (1977), la partie déformée dans le dyke andésitique forme une ultracataclasite.

La tonalite cataclasée et foliée se caractérise par le développement de deux fabriques qui s'apparentent aux relations reconnues dans les fabriques C-S. Un plan C' (*shear bands*) peut également être reconnu. Elles sont définies par la variation de couleur, l'orientation préférentielle des fragments (surface S), des micro-cisaillements (surface C) selon la définition de Simpson et Schmid (1983). Cette fabrique planaire s'observe autant au niveau mésoscopique (Figure 2.10b) que microscopique (Figure 2.12b). Comme dans les roches mylonitiques, cette foliation cataclastique peut être utilisée pour déterminer le sens du mouvement (Lin, 2001). Selon l'orientation de l'échantillon EM1-1A, le sens du mouvement apparent déduit est senestre à la figure 2.12b et devient normal-dextre lorsque reconstitué dans la bonne orientation.

### 2.3.5 – Altération

Une forte altération est observée dans le dyke andésitique ainsi que dans la roche encaissante (tonalite). La zone d'altération du côté nord de la faille s'étend sur environ 50 mètres et est composée d'épidote  $\pm$  chlorite pour le dyke andésitique et de chlorite  $\pm$  quartz  $\pm$  pyrite pour la tonalite. L'altération du côté sud de la faille est moins intense que celle du côté nord et s'étend sur environ une dizaine de mètres. Elle se compose également de chlorite avec une silicification-pyritisation plus prononcée que dans la partie nord. La quantité de chlorite dans la tonalite diminue plus on s'éloigne de la faille vers le nord ou vers le sud de la galerie.

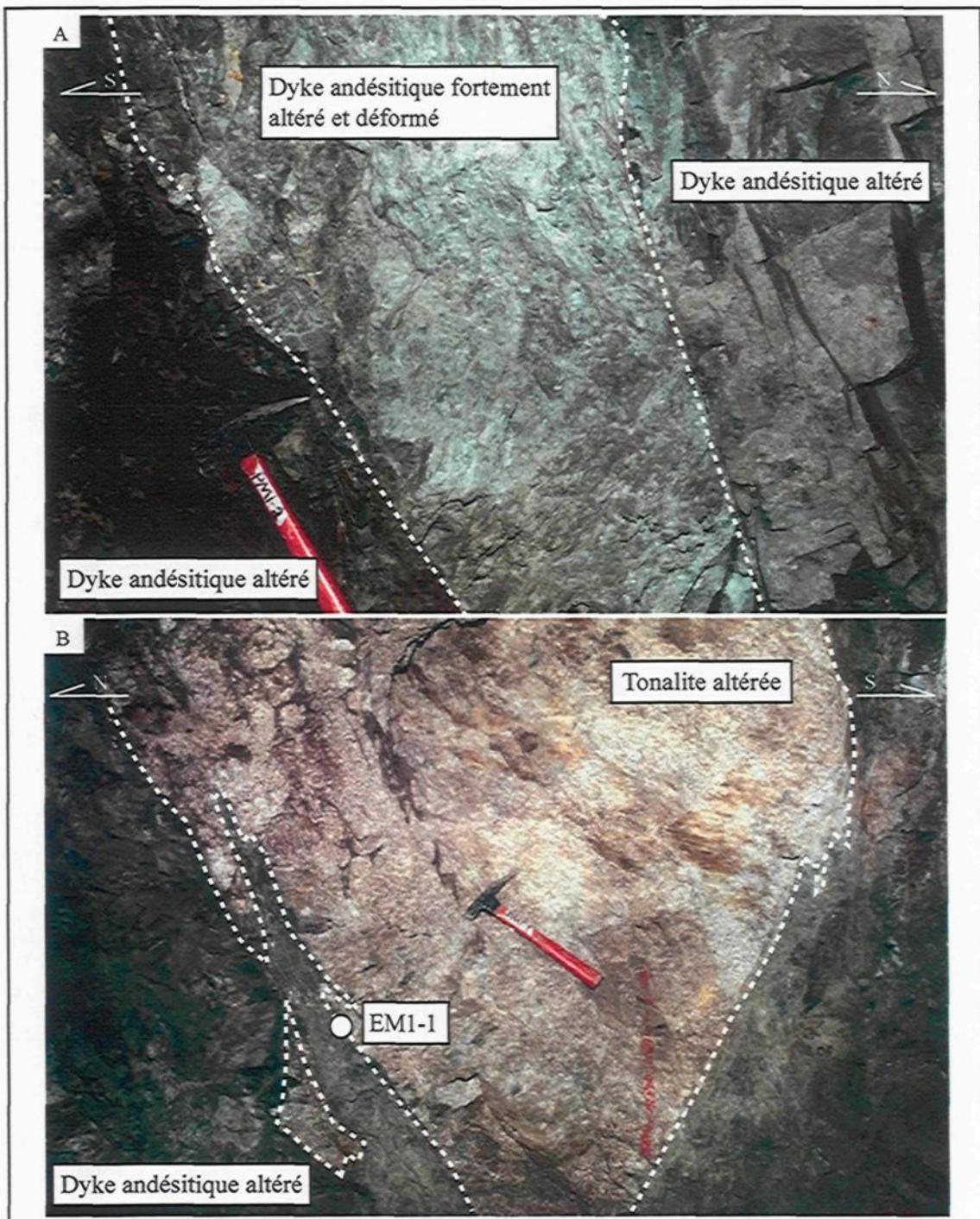


Figure 2.11 - Site 2190-GLN, Zone de failles La Brava Norte, veine Mercedes. a) Dyke andésitique altéré à l'intérieur de la zone de failles La Brava. b) Contact entre le dyke andésitique et la tonalite (Échantillon EM1-1). L'enclave de tonalite à l'intérieur du dyke démontre le caractère tardif de celui-ci par rapport à la tonalite. Marteau comme échelle.

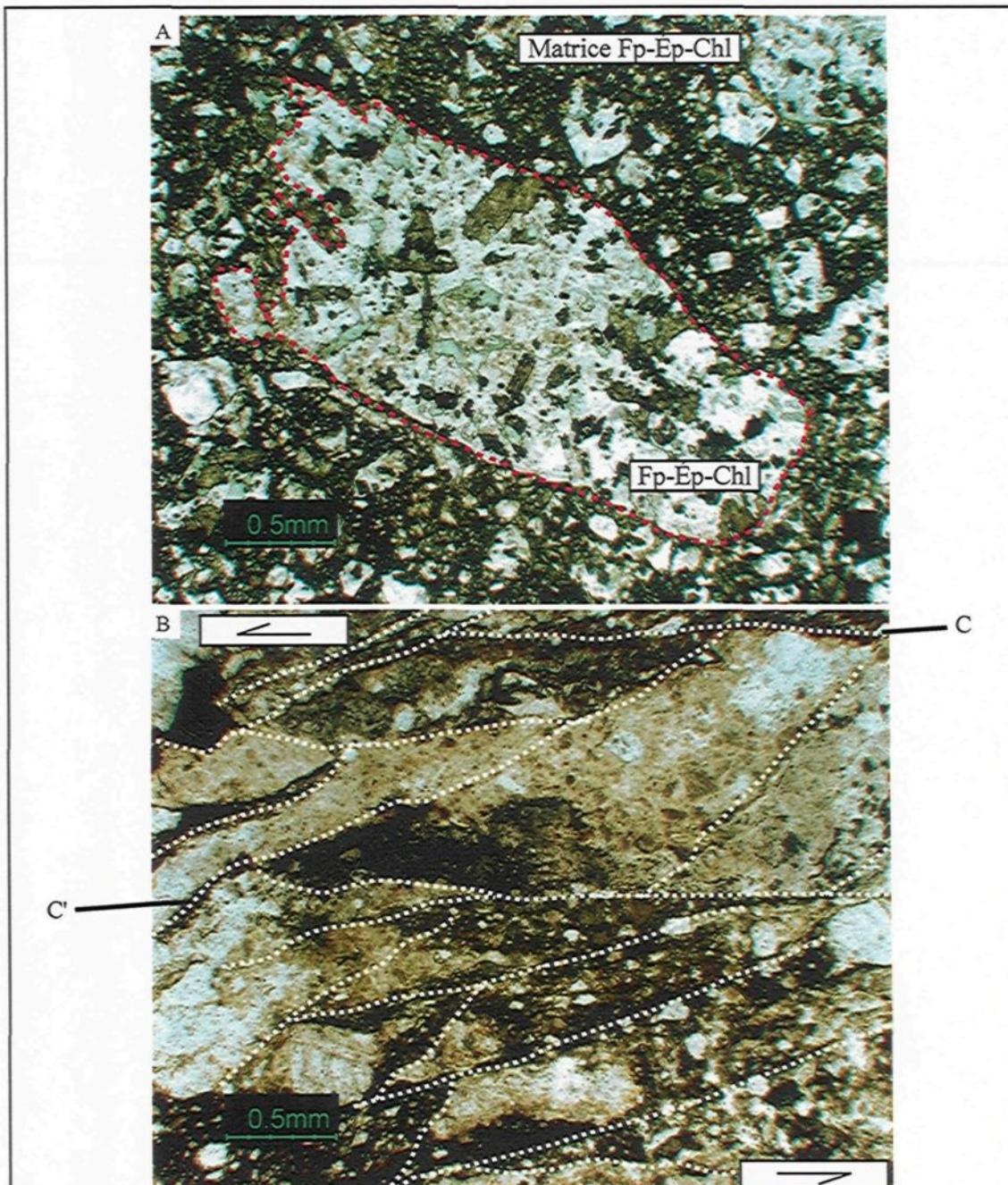


Figure 2.12 - Site 2190-, Zone de failles La Brava Norte, veine Mercedes. a) Échantillon EM2-3. Dyke andésitique ayant subi une déformation fragile et matérialisée par une texture cataclastique non foliée. La ligne pointillée rouge représente un porphyroclaste du dyke andésitique. Lumière transmise naturelle, 2.5X. b) Échantillon EM1-1. Tonalite montrant une foliation cataclastique avec deux fabriques planaires (C et C'). Les flèches représentent le sens du mouvement (senestre). Lumière transmise naturelle, 2.5X.

### 2.3.6 – Sommaire

Le site de la zone de failles La Brava Norte permet de voir la relation entre la veine Mercedes et une faille majeure. Les faits saillants sont résumés ci-dessous :

- L'altération du dyke andésitique en epidote  $\pm$  chlorite et l'altération graduelle de la tonalite en chlorite  $\pm$  quartz  $\pm$  pyrite démontrent que des fluides ont circulés par cette anisotropie.
- Le dyke est tardif et recoupe la veine à ce niveau. Ce dyke pourrait s'être mis en place dans l'anisotropie matérialisée par la faille La Brava Norte.
- Ce site est caractérisé par des plans de failles mineures dont l'orientation correspond à l'attitude E-O du système de failles La Brava Norte.
- La déformation au contact dyke-tonalite se caractérise par la présence d'une texture cataclastique non-foliée pour le dyke andésitique et d'une foliation cataclastique pour la tonalite, témoin d'une déformation fragile. La présence de nombreux plans de fractures est un autre témoin de ce régime de déformation.
- La présence des lames de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine favorise des épisodes multiples d'ouverture-remplissage lors de la formation de la veine.

## 2.4 - Site 1987-GLN, Zone de failles de Cori Huarmi, veine Mercedes

### 2.4.1 - Localisation

Le site 1987-GLN est situé dans la partie supérieure nord et au centre du vecteur minéralisé, à la limite de la zone massive et économique (Figures 2.1 et 2.13). La zone de failles de Cori Huarmi (Figure 2.13a et b) représente une ancienne zone d'exploitation et est accessible à la surface par le niveau 1987. Bien que ce site permet de documenter certaines textures dans la veine, les relations veine-failles et le régime de déformation du système de failles Cori Huarmi sont les contributions les plus importantes. La cartographie de la zone de failles de Cori Huarmi représente une coupe longitudinale à regard vers le SE. Au total, 21 mètres de galeries furent cartographiés mais seulement 7 mètres seront présentés dans cette section.

### 2.4.2 - Lithologie

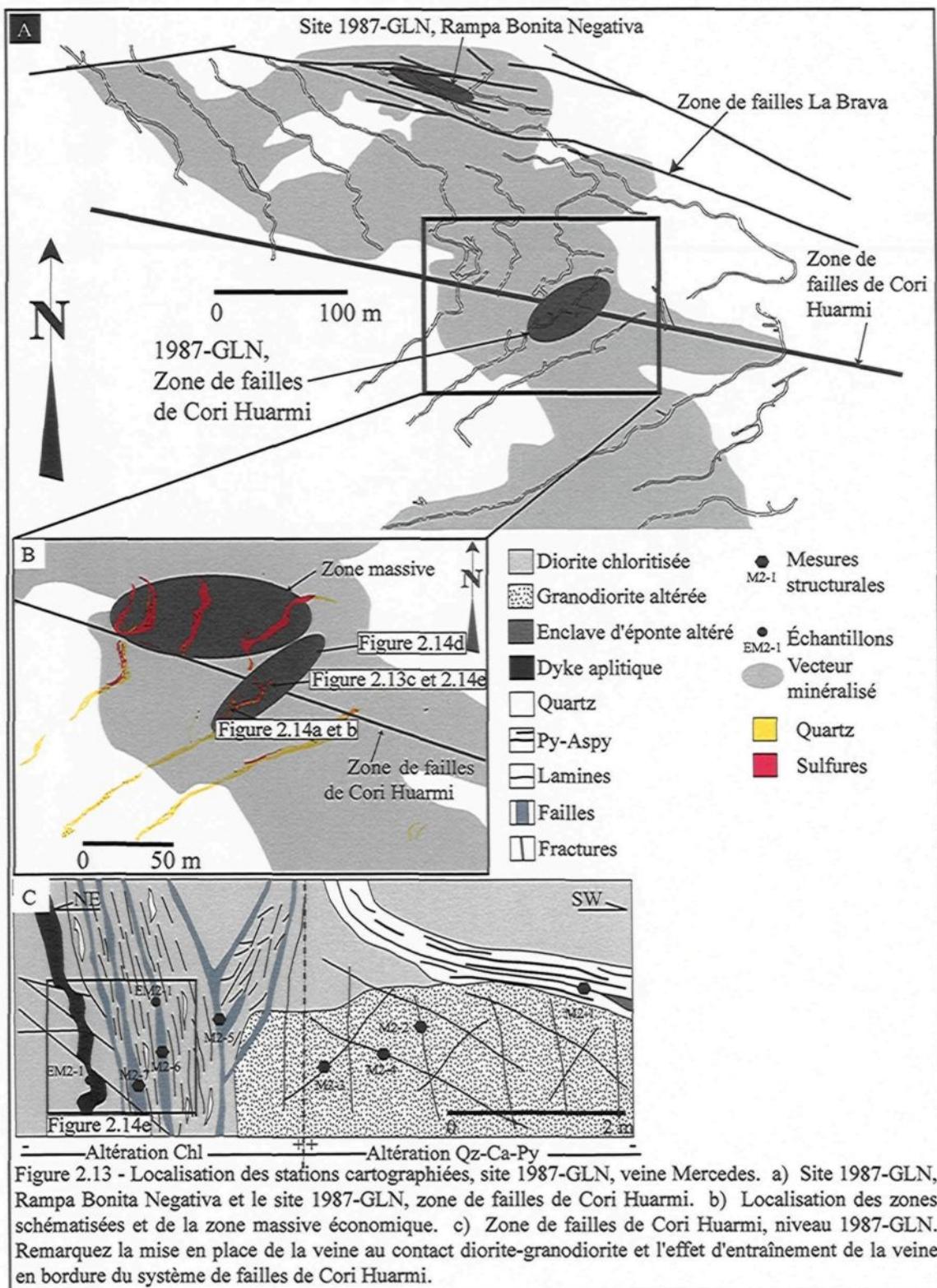
La lithologie encaissante au niveau 1987-GLN est majoritairement de la diorite avec, en plus faible quantité, de la granodiorite. Cette dernière s'observe dans la partie sud de la figure 2.13c. Le contact entre la diorite et la granodiorite est présumé en plusieurs endroits dû à la saleté sur les murs de la galerie et à l'absence d'eau pour les nettoyer. Par contre, il fut possible de constater que la veine se retrouve au contact des deux lithologies au SE de la faille de Cori Huarmi. La présence de la veine semble être contrôlée par cette anisotropie. D'autres lithologies sont également présentes plus au nord de la galerie comme du monzogranite et de la micro-diorite (Figure 2.14d). L'absence de veines dans ces deux lithologies est un fait notable. Un dyke aplitique d'une épaisseur de 20 centimètres est présent dans la zone de faille (Figures 2.13c et 2.14e). Ce dyke est fortement altéré, déformé et affecté par le système de failles.

#### 2.4.3 - Veine

Dans ce secteur, la veine a une orientation générale de 045° avec un pendage qui peut varier de 20° à 40° vers le SE. Près de la faille de Cori Huarmi, la veine est subhorizontale (Figures 2.13c et 2.15a). Celle-ci est affectée par le système de failles de Cori Huarmi (effet d'entraînement) et change de pendage en bordure de la zone de failles. L'épaisseur minimale de la veine est de 20 centimètres et l'épaisseur maximale peut atteindre 70 centimètres avec peu de variation visible (épaisseur constante). Elle se compose de 88% de quartz, traces à 2% de carbonates, de 5% de sulfures (85% pyrite et 15% arsénopyrite) et de 5% de fragments de roche encaissante altérés et incorporés dans la veine. Le tableau 2.4.1 résume les caractéristiques de la veine Mercedes sur le site 1987-GLN-Zone de failles de Cori Huarmi.

Des fragments d'épontes altérés se retrouvent isolés dans la veine et un fait notable est l'absence de schistosité à l'intérieur de ces fragments contrairement aux épontes de la veine où une schistosité locale se développe parallèle à la veine et/ou une zone de boue de faille sont généralement observées. Une texture commune dans la veine à ce niveau est la présence de lamines d'épaisseurs millimétriques de roche encaissante altérées en séricite-chlorite et incorporées dans la veine. Localement, des zones de remplissage avec développement de cristaux de quartz idiomorphes centimétriques (voïde) s'observent du côté sud de la faille (Figure 2.15c). Ces zones peuvent s'étendre sur quelques mètres de long et sur plusieurs dizaines de centimètres de hauteur.

D'autre part, les sulfures (Py + Aspy) se présentent sous forme de lamines ou de rubans continus interprétés comme étant formé par remplissage d'espace ouvert (Figure 2.14a) et/ou disséminés.



Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$					
	$045^{\circ}/30^{\circ}$		$308^{\circ}$ à $45^{\circ}$ et pendage sub-horizontal à $> 45^{\circ}$		$30 \text{ cm}$		$50 \text{ cm}$		Constante					
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse									
	88%	<i>Tr à 2%</i>	5%	5%	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy	85% 15% (?)				
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation							
	<i>Laminés<sup>1</sup> et Disséminés</i>			<i>Laminée, rubannée<sup>2</sup> Texture de remplissage (void)<sup>3</sup></i>			<i>Plissement de la veine, bordure de la faille de Cori Huarmi<sup>4</sup></i>							
Altération visible	Dimension				Minéralogie									
	<i>Altération de la faille domine sur l'altération visible en bordure de la veine</i>				<i>Diorite: Chl + Sér ± Py ± Ca Granodiorite: Sér + Qz ± Py ± Ca</i>									

TABLEAU 2.4.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 1987-GLN-ZONE DE FAILLES DE CORI HUARMI.

#### 2.4.4 – Structures et déformation

Bien que cette partie soit dédiée au site 1987-GLN soit là où s'observe la faille de Cori Huarmi, deux autres sites d'observation de la faille sont intégrés dans cette section. La faille de Cori Huarmi a donc été observée en trois endroits: i) à la surface (Niveau 2080), ii) au niveau 1987-GLN et iii) au niveau 2080, Rampa Lola 3.

En surface, la faille a une orientation NO-SE avec un pendage sub-vertical (Figure 2.14b). La zone de failles se caractérise par une schistosité bien développée et plusieurs fractures parallèles. Une zone de boue de faille (*gauge*) centimétrique semble correspondre au plan de glissement principal (Figures 2.13c et 2.14b). Des veinules de quartz discontinues ( $E_{max} = 1$  centimètres) avec traces de pyrite disséminées sont présentes un peu partout sur l'affleurement et occupent les fractures présentes dans la roche

<sup>1</sup> Figure 2.14a

<sup>2</sup> Figure 2.14a

<sup>3</sup> Figure 2.14c

<sup>4</sup> Figure 2.13c

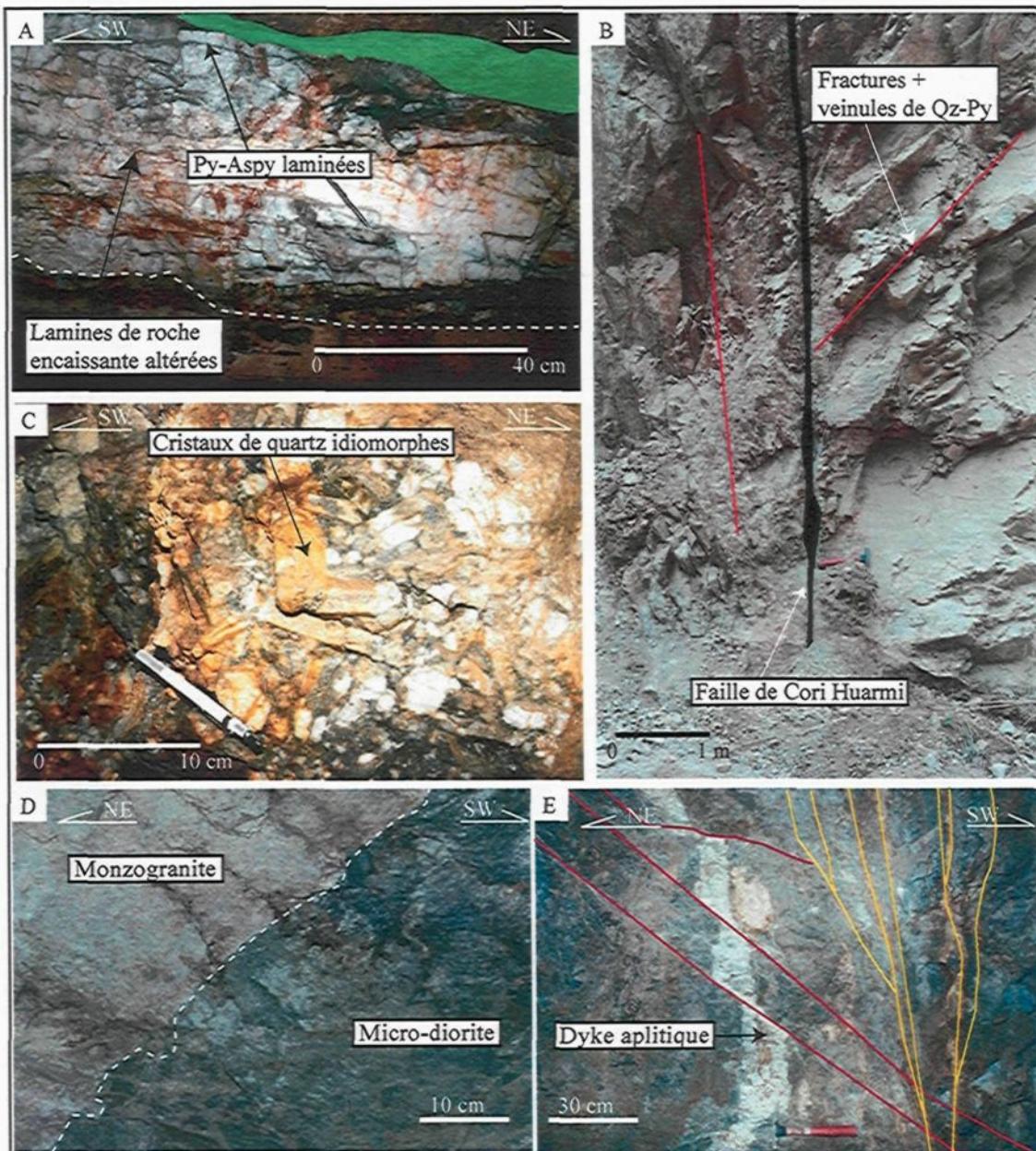


Figure 2.14 - Site 1987-GLN, Zone de failles de Cori Huarmi, veine Mercedes. a) Veine montrant des textures laminées et rubannées (SO de la faille de Cori Huarmi). b) Faille de Cori Huarmi en surface (Niveau 2080). c) Remplissage d'espace ouvert par le quartz (voïde) près de la zone de failles de Cori Huarmi formant des cristaux idiomorphes de plusieurs centimètres. d) Contact franc entre le monzogranite et la micro-diorite. e) Zone de failles de Cori Huarmi, niveau 1987-GLN. Les lignes jaunes représentent la famille de failles de Cori Huarmi (108/81) et les lignes rouges représentent une autre famille de failles sub-parallèle à la veine. La roche encaissante (diorite) est altérée en chlorite et très oxydée. Un dyke aplitique (305/85) déformé et altéré est observé dans la zone de failles.

encaissante (Figures 2.13c et 2.14b). Des échantillons de boue de faille furent prélevés et analysés sur le site de la mine. Les valeurs en Au obtenues étaient inférieures à la limite de détection du laboratoire de la mine qui est de 5 ppb.

Au niveau 2080-GLN, la faille Cori Huarmi a sensiblement la même orientation qu'en surface, soit NO-SE et un pendage sub-vertical. À ce niveau, la faille est matérialisée par une zone de boue de faille (*gauge*), fortement séricitisée avec une texture malléable. Deux fabriques planaires au sein de la zone de boue sont interprétées comme une fabrique C-S donnant un mouvement en composante verticale inverse (Figure 2.15d).

Sur le site 1987-GLN, la faille présente les mêmes caractéristiques avec plusieurs plans de glissement parallèles donnant une orientation moyenne de 106°/80° (Figure 2.15b). Une forte oxydation est observée dans le cœur de la zone de failles (Figures 2.13c et 2.14e) et le degré de fracturation diminue de part et d'autres de cette zone. Ces fractures associées sont généralement sub-parallèles aux failles. Des veinules de quartz-pyrite centimétriques sont également reconnues au niveau 1987-GLN et occupent les plans de fractures parallèles à la zone de failles de Cori Huarmi.

#### 2.4.5 - Altération

Les minéraux d'altération du côté SO de la faille sont principalement le quartz et la séricite accompagnés d'une faible pyritisation-carbonatation. Cette altération s'étend environ sur une dizaine de mètres et diminue en intensité au-delà de cette distance. Du côté NE, la chlorite est dominante comme minéral d'altération (Figure 2.14e). Le degré d'altération est très intense et la quantité de chlorite dans la diorite diminue plus on s'éloigne de la zone de failles. Cette chloritisation s'étend sur environ 50 mètres du côté NE de la galerie. Cette différence d'altération est due au changement de lithologie de part et d'autres de la zone de failles de Cori Huarmi.

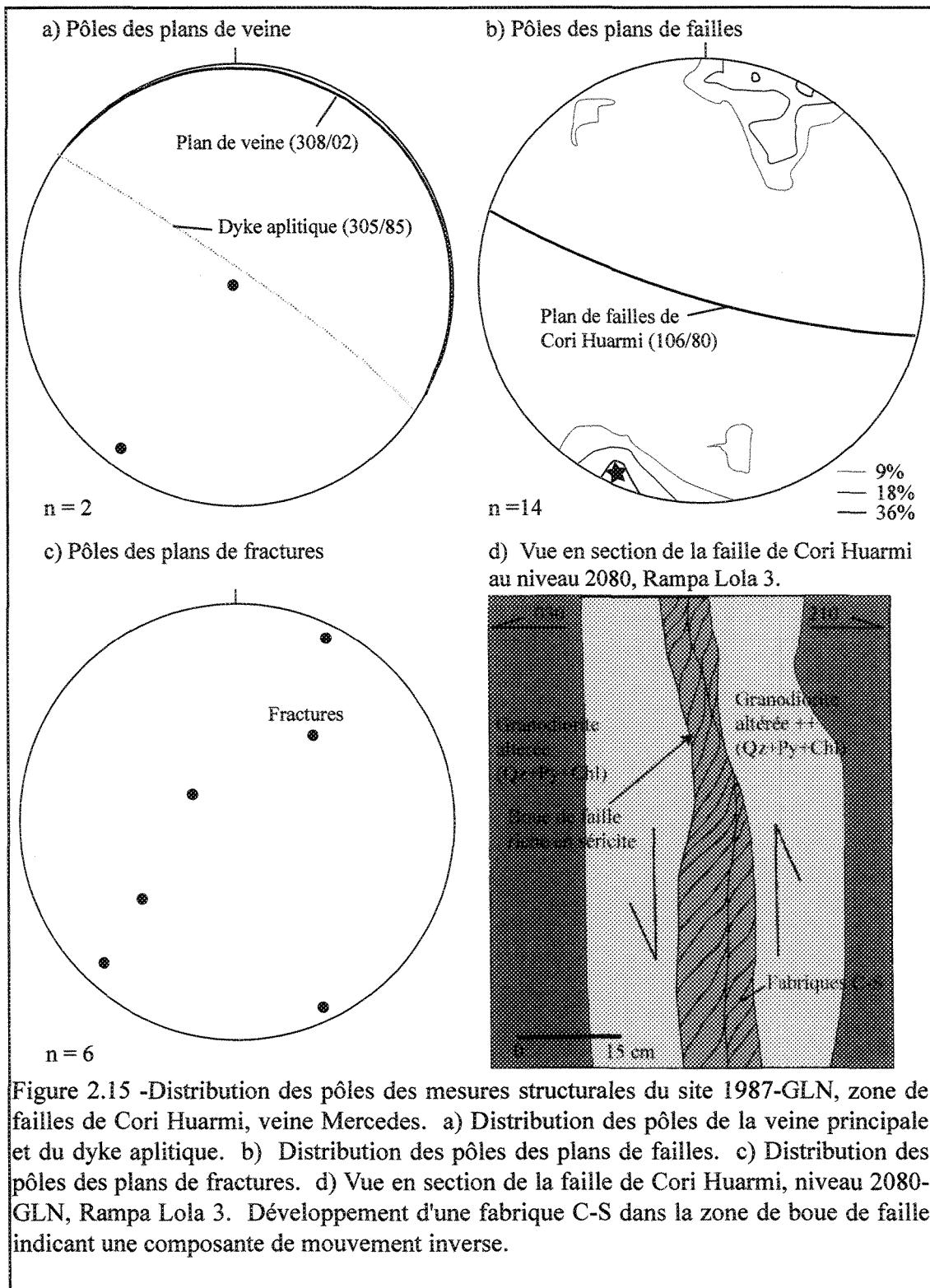


Figure 2.15 -Distribution des pôles des mesures structurales du site 1987-GLN, zone de failles de Cori Huarmi, veine Mercedes. a) Distribution des pôles de la veine principale et du dyke aplitique. b) Distribution des pôles des plans de failles. c) Distribution des pôles des plans de fractures. d) Vue en section de la faille de Cori Huarmi, niveau 2080-GLN, Rampa Lola 3. Développement d'une fabrique C-S dans la zone de boue de faille indiquant une composante de mouvement inverse.

#### 2.4.6 - Sommaire

La contribution principale du site 1987-GLN consiste surtout en la caractérisation d'une faille transversale majeure, soit la faille de Cori Huarmi.

- Cette faille recoupe clairement la veine mais la présence d'une zone d'altération importante implique le passage d'un important volume de fluides dans le plan de faille.
- La présence de fabrique C-S implique généralement un régime de déformation ductile plutôt compatible avec la formation de mylonite. Ce fait paraît contradictoire avec la présence de zone de boue de faille (gauge) qui se forme en association avec les cataclasites dans un régime de déformation plus fragile. Les deux fabriques planaires observées au niveau 2080-GLN donnent un mouvement en composante verticale inverse.
- La présence d'un contact entre la granodiorite et la diorite semble favoriser le développement de la veine le long de cette anisotropie.
- L'alternance de bandes de quartz, de lamines de sulfures et des cristaux de quartz idiomorphiques dans des zones de *voïdes* favorise une ouverture de la veine par des épisodes multiples d'ouverture-remplissage.
- Les fragments de roche encaissante altérés dans la veine sont dénués de schistosité tandis qu'une faible schistosité ou une zone de boue de faille est localement observées au toit et au plancher de la veine.

## 2.5 – Site 1987-GLN, Rampa Bonita Negativa, veine Mercedes

### 2.5.1 - Localisation

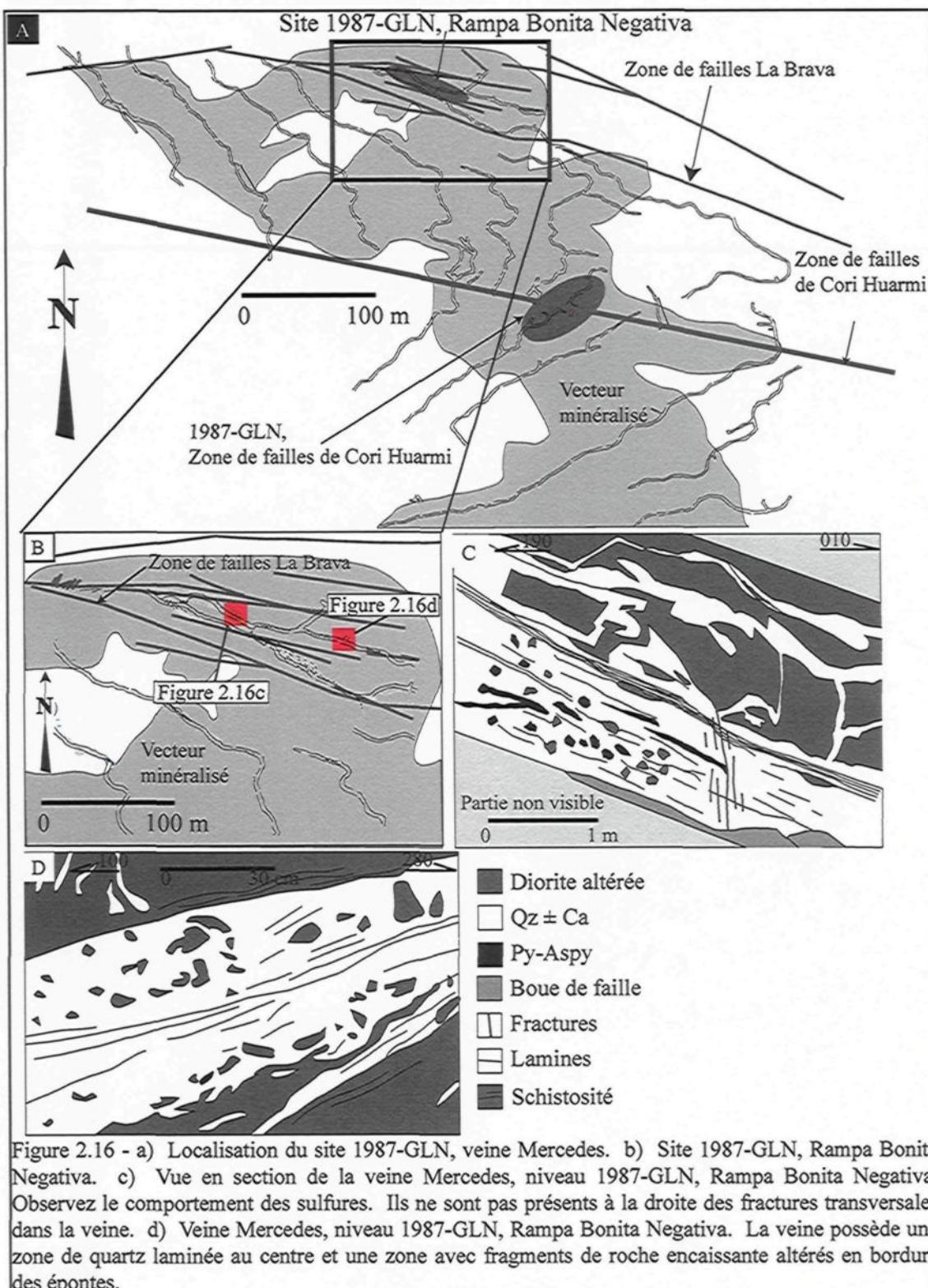
La Rampa Bonita Negativa fut une nouvelle zone exploitée durant la campagne de terrain 2001 et abandonnée au cours de l'année 2002. Elle se situe dans la portion nord de la veine Mercedes, à l'intérieur du secteur nord du vecteur minéralisé et en bordure de celui-ci (Figure 2.16a et b). Ce site est accessible par la galerie 1987-GLN et se situe en bordure du système de failles La Brava. Le site apporte une contribution au niveau des textures de la veine, des zones de brèches dans les épontes, des relations veine-failles et le régime de déformation pour la formation du système de failles La Brava. Les cartographies du site 1987-GLN, Rampa Bonita Negativa représentent une coupe longitudinale à regard vers le SSO (Figure 2.16d) et une section à regard vers l'Ouest (Figure 2.16c). Au total, 6 mètres de galerie furent cartographiés.

### 2.5.2 – Lithologie

La veine est encaissée dans la diorite. C'est la seule lithologie présente sur ce site. La roche encaissante est généralement altérée et les principaux minéraux de remplacement sont la chlorite et le quartz accompagnée de pyrite et de carbonates.

### 2.5.3 - Veine

L'orientation de la veine varie de E-O à NO-SE avec des pendages variant de sub-horizontales à 23° vers le NE (Figure 2.18a). La teneur moyenne dans ce secteur de la mine est de 10 g/t Au. L'épaisseur minimale de la veine est de 50 centimètres et l'épaisseur maximale est de 1 mètre avec des variations de 50 centimètres sur une distance de 100 mètres. La veine à ce niveau est composée de 87% quartz, traces de carbonates, 6-8% sulfures (85% pyrite et 15% arsénopyrite) et de 5-7% fragments altérés et incorporés dans la veine. Le tableau 2.5.1 résume les caractéristiques de la veine Mercedes au niveau 1987-GLN, rampa Bonita Negativa.



Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$					
	$302^{\circ}/23^{\circ}$ $080^{\circ}/04^{\circ}$		<i>Variation de l'attitude et du pendage de la veine</i>		$80 \text{ cm}$		$1\text{m}$		$0,5 \text{ à } 1\text{m sur 100 mètres}$					
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse									
	85%	<i>tr</i>	10%	5%	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy					
	90%	<i>tr</i>	1%	9%	85% 100%	15% (?)	-	-	-					
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation							
	<i>Amas massifs allongés<sup>3</sup></i> <i>Disséminée</i>			<i>Laminée<sup>4</sup></i> <i>Laminée<sup>5</sup></i>			<i>Changement d'attitude de la veine. Effet d'entraînement ou de plissement dû aux systèmes de failles La Brava</i>							
Altération visible	Dimension				Minéralogie									
	<i>Métrique</i> <i>Métrique</i>				<i>Qz ± Chl ± Py</i> <i>Qz ± Chl ± Py</i>									

TABLEAU 2.5.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 1987-GLN, RAMPA BONITA NEGATIVA<sup>6</sup>.

La figure 2.16c représente une vue en section de la veine. La veine a une orientation de  $302^{\circ}/23^{\circ}$  (Figure 2.18a). Une zone laminée de 10 centimètres d'épaisseur est observée au toit de la veine. Les lames de roche encaissante altérées en chlorite et en séricite ont une épaisseur maximale de quelques milimètres. Dans la galerie et près du site cartographié, la zone de brèche observée sur cette figure se poursuit au toit de la veine avec un contact progressif avec la roche encaissante.

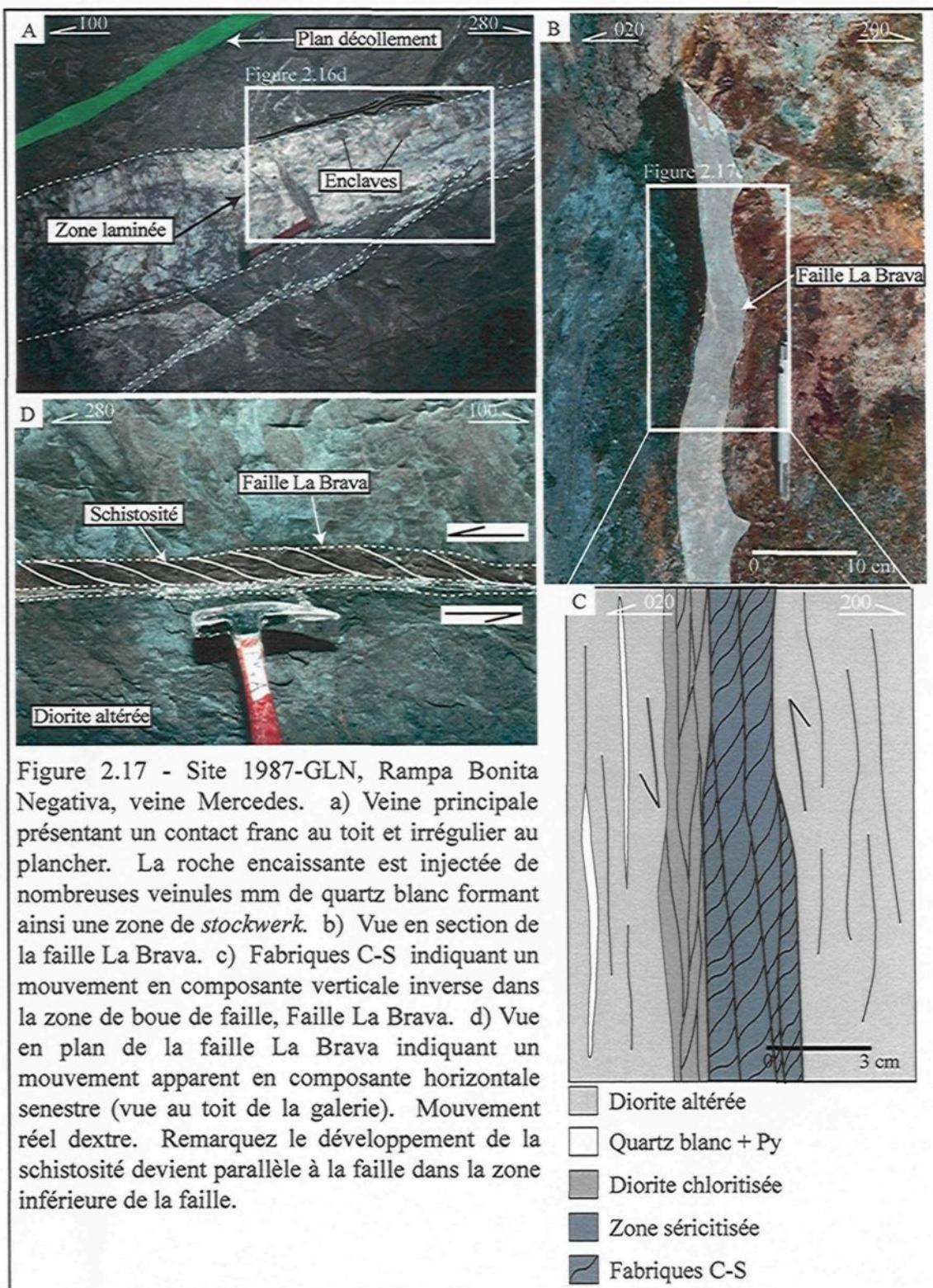
La figure 2.16d montre une vue orientée NO-SE de la veine. La veine est orientée E-O avec un pendage sub-horizontal (Figure 2.18a). Le contact supérieur diorite-veine est franc et le contact inférieur est irrégulier. Les veines secondaires se ramifiant à la veine principale incorporent des segments de roche encaissante pour éventuellement produire des fragments d'éponge altérés et isolés dans la veine. Les veines secondaires

<sup>3</sup> Figure 2.16c

<sup>4</sup> Figures 2.16d et 2.17a

<sup>5</sup> Figures 2.16d et 2.17a

<sup>6</sup> La première série de données se réfère à la figure 2.16c tandis que la deuxième à la figure 2.16d (*italique et caractère gras*).

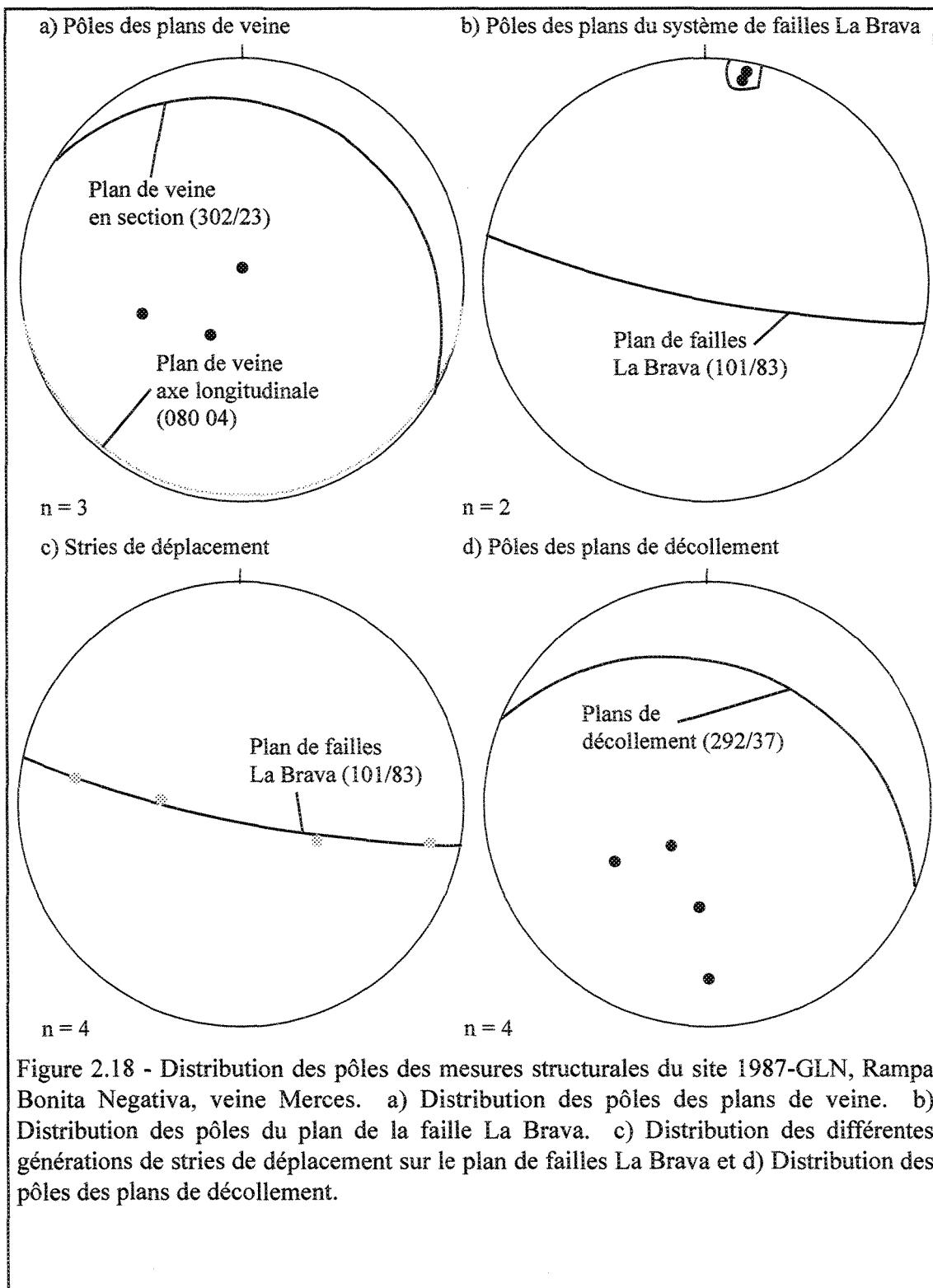


ramifiées à la veine principale présentent des lamines de roche encaissante d'épaisseurs millimétriques et altérées en séricite-chlorite. Aucune schistosité n'est observée dans les fragments d'épontes altérés et incorporés dans la veine ainsi que dans les fragments d'épontes dans les zones de brèches tandis qu'une schistosité est localement observée dans les épontes au toit et au plancher de la veine. Les brèches présentent une texture caractéristique en « casse-tête », avec des fragments anguleux à sub-anguleux et de dimensions centimétriques à métriques. Les textures magmatiques de la lithologie encaissante sont préservées dans les fragments. Les brèches sont généralement situées au toit de la veine mais peuvent également s'observer au plancher de celle-ci. Localement la diorite est injectée par des veinules centimétriques de quartz blanc aussi bien au toit qu'au plancher de la veine formant ainsi une zone de *stockwerk*.

#### 2.5.4 - Structures

La faille La Brava est présente au début de la rampe Bonita Negativa. L'orientation de la faille ( $101^\circ/83^\circ$ ) est sensiblement la même que la faille de Cori Huarmi (Figure 2.18b). La boue de faille est riche en séricite avec une texture malléable. À l'intérieur de cette zone de boue de faille, une fabrique C-S s'apparentant aux fabriques observée dans les zones de mylonite fut observée et indiquant une composante de mouvement vertical inverse (Figure 2.17b et c). Une schistosité développée dans la zone de faille fut également observée sur une vue en plan de la faille La Brava suggérant une composante de mouvement horizontale dextre (Figure 2.17d). Ces deux composantes de mouvement peuvent indiquer soit une composante oblique inverse dextre ou soit deux mouvements distincts le long de la faille. Plusieurs générations de stries de glissement sont reconnues sur le plan de la faille (Figure 2.18c). Ces stries indiquent différents mouvements enregistrés par la faille. Sur un même site, quatre générations de stries d'orientations différentes ont été mesurées.

De nombreux plans de décollement sont présents sur le site. Ces plans ont une épaisseur variant de quelques centimètres à une épaisseur maximale de 15 centimètres et sont observés autant au plancher qu'au toit de la veine principale (Figure 2.16c et d).



Ces plans de décollement peuvent présenter une orientation légèrement différente de la veine principale (Figure 2.18d) ou parallèle à celle-ci. Les minéraux de remplacement dominants dans les zones de boue de faille sont la séricite accompagnée de quartz et de chlorite en plus faible pourcentage.

### 2.5.5 - Altération

L'altération dominante de la roche encaissante est une silicification-chloritisation accompagnée d'une faible pyritisation. Les fragments arrondis et incorporés dans la veine présentent un plus haut degré de silicification que les fragments situés dans les brèches au toit ou au plancher de la veine principale. Cette différence sur l'intensité d'altération des fragments pourrait s'expliquer par la quantité de fluide ayant affectée les fragments d'éponges et le temps d'exposition de ceux-ci à ces mêmes fluides. Localement, des fantômes de fragments sont distingués dans la veine et la roche encaissante est complètement remplacée par la silice.

L'altération au pourtour de la faille La Brava se compose de séricite, de chlorite et d'épidote. Localement, la roche encaissante peut être fortement oxydée comme le montre la figure 2.17b. L'étendue de la zone altérée est impossible à déterminer puisque la faille est vue en section et parallèle à la galerie, mais cette altération semble relativement importante.

### 2.5.6 - Sommaire

Le site 1987-GLN, Rampa Bonita Negativa permet d'établir les éléments suivants :

- Contrairement aux autres sites étudiés sur la veine Mercedes, la diorite est injectée par des veinules de quartz blanc autant au toit qu'au plancher de la veine formant ainsi une zone de *stockwerk*.

- Les zones de brèche avec une texture en « casse-tête » s'observent généralement au toit de la veine.
- La veine montre communément des lamines de roche encaissante altérées et incorporés dans la veine. Elle se compose de bandes de quartz laminés en alternance avec des lamines de sulfures et des bandes de quartz avec incorporation de fragments de roche encaissante altérés. Ces textures indiquent une ouverture de la veine par des épisodes multiples.
- Les fragments de roche encaissante dans la veine se caractérisent par l'absence de schistosité tandis qu'une schistosité bien développée s'observe localement au toit et au plancher.
- Le changement d'orientation de la veine peut être le résultat d'un effet d'entraînement ou de plissement dû à la famille de failles La Brava.
- L'orientation de la faille La Brava ( $101^\circ/83^\circ$ ) est sensiblement la même que la famille de failles de Cori Huarmi.
- La présence d'une foliation cataclastique au sein de la zone de boue de faille dans le plan de faille La Brava indique un régime de déformation fragile.
- Les fabriques planaires développées en bordure de la faille La Brava indiquent une composante de mouvement verticale inverse (vue en section) ou une composante de mouvement horizontale dextre (vue en plan). Ces deux composantes de mouvement combinées aux nombreuses générations de stries de glissement sur le plan de faille indiquent alors différents mouvements enregistrés par la faille au lieu d'une composante unique de mouvement le long de ce même plan de faille.

- Il est impossible de déterminer si la faille recoupe la veine. Toutefois, comme pour le site précédent, la présence d'une zone d'altération importante implique le passage d'un volume important de fluides hydrothermaux dans le plan de faille.

## 2.6 – Site 1757-GLE, veine Mercedes

### 2.6.1 – Localisation

La galerie 1757-GLE se situe dans la partie inférieure de la veine Mercedes (Figures 2.1 et 2.19). Le site est situé sur la bordure NE du vecteur minéralisé. La moitié des cartographies sont situées dans le vecteur minéralisé et l'autre moitié à l'extérieur. Ce site est accessible par le niveau 1780 de la veine Karola. Le site n'est plus en exploitation aujourd'hui sauf pour la récupération de piliers de soutien. Ce site fut très difficile à cartographier en raison de la saleté présente sur les murs et d'absence d'eau pour le nettoyage. Par contre, ce site apporte une contribution dans l'étude de la veine dans le vecteur minéralisé et en dehors de celui-ci. La galerie 1757-GLE permet de voir le comportement de la veine en fonction de la lithologie encaissante. De plus, la veine possède une orientation différente de celle des galeries supérieures étudiées. La proximité de la faille Maria 2 pourrait expliquer ce changement d'attitude de la veine Mercedes. Les cartographies du site 1757-GLE représentent des coupes longitudinales à regard vers le Sud. Au total, 112 mètres de la galerie furent cartographiés.

### 2.6.2 - Lithologie

La veine sur ce site traverse un contact diorite-granodiorite. La diorite est localisée dans la partie NE de la zone de cartographie alors que la granodiorite se localise dans la partie SO. Localement, il est possible d'observer au toit de la veine, un dyke aplitique d'épaisseur décimétrique (Figure 2.20c). Le tableau 2.6.1 résume les caractéristiques de la roche encaissante.

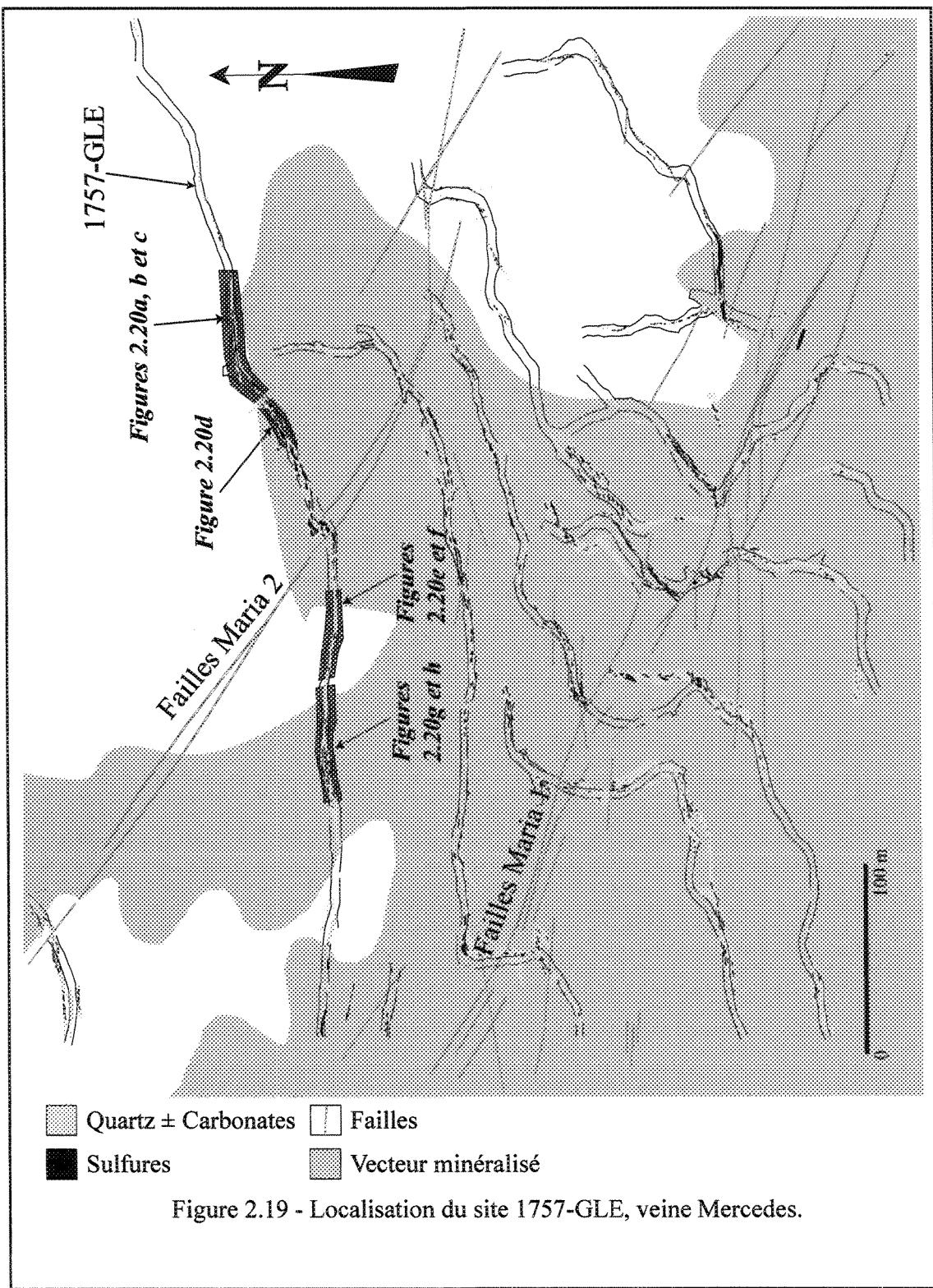


Figure 2.19 - Localisation du site 1757-GLE, veine Mercedes.

Lithologie	Composition				Texture	Commentaire
	F-P	Sér	Qz	Am-Bo		
<b>Diorite quartzifère</b>	13%	59%	10%	12%	Hypidiomorphe granulaire	12% chlorite, 2% calcite, 1% opaque et 1% actinote.
<b>Granodiorite</b>	45%	-	50%	5%	Hypidiomorphe granulaire	Traces de minéraux opaques.
<b>Micro-diorite</b>	x	-	-	x	?	Riche en minéraux mafiques (Bo et Am), enclaves dans diorite et granodiorite, dm, sub-arrondies.
<b>Monzogranite</b>	x	x	x			Enclaves métriques, arrondies, roses, dans diorite.
<b>Dyke aplittique</b>	x	?	x	x	?	Situé au toit, orienté sub-// à structure, $E_{max}=20$ cm.

TABLEAU 2.6.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 1757-GLE.

### 2.6.3 - Veine

À cet endroit, l'orientation moyenne de la veine est plus ou moins E-O avec un pendage de 35° vers le SE. (Figure 2.22a) variant de 020°/20° à 105°/31°. Les valeurs en or sur ce site varient de 5 g/t à 160 g/t Au en bordure de la faille Maria 2. L'épaisseur minimale de la veine est de 10 à 15 centimètres et l'épaisseur maximale est de 1,6 mètre avec une épaisseur moyenne de 50 centimètres. L'épaisseur de la veine peut varier de quelques centimètres à 1,6 mètre sur une distance de moins de 10 mètres. Elle se compose de 85% de quartz, 5% de carbonates, 7-10% de sulfures (60 % pyrite, 20% arsénopyrite, 15% galène et 5% sphalérite) et 3% de fragments altérés et incorporés dans la veine. Les sulfures se rencontrent généralement sous forme de lames millimétriques de Py-Aspy ou en bandes massives centimétriques continues (Tableau 2.6.2). Ce site représente un bel exemple de l'hétérogénéité de la veine et des variations possibles de l'épaisseur de celle-ci. La veine peut occuper un ou plusieurs plans de fractures parallèles et passant localement d'une épaisseur de 1.6 mètre à l'absence total de la veine ne laissant seulement que la structure principale altérée ou une fracture avec de l'altération. L'ouverture et l'épaisseur de la veine semblent en partie contrôlées par la lithologie puisque la veine tend à être moins développée ou tout simplement absente quand elle se retrouve dans la granodiorite (Figure 2.20). Localement, il est possible d'observer des lames de roche encaissante d'épaisseurs

millimétriques, altérées en séricite et incorporées dans la veine. Ces lames peuvent être parallèles ou obliques dans quelques veines secondaires (Figure 2.21e) au plan de la veine. L'alternance de rubans de quartz et de sulfures est une texture communément observée sur le site 1757-GLE (Figures 2.20h et 2.21e).

Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$					
	070°/35°		020°/20° à 105°/31°		50 cm		1,6 m		Localement, 0 à 1,6 m. sur 10 m.					
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse									
	85%	5%	7-10%	3%	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy	60% 20% 15% 5% -				
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation							
	1) Lames mm de Py-Aspy <sup>1</sup> 2) Bandes massives cm, continues <sup>2</sup> . 3) Amas massifs arrondies et/ou allongés cm à m.			1) Lames oblique ou // au plan de la veine <sup>3</sup> .			Duplication de la veine <sup>4</sup>							
Altération visible	Dimension				Minéralogie									
	Centimétrique à métrique				1) Diorite = Chl + Qz 2) Granodiorite = Sér + Qz ± Py ± Ca.									

TABLEAU 2.6.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE MERCEDES, SITE 1757-GLE.

#### 2.6.4 - Structures

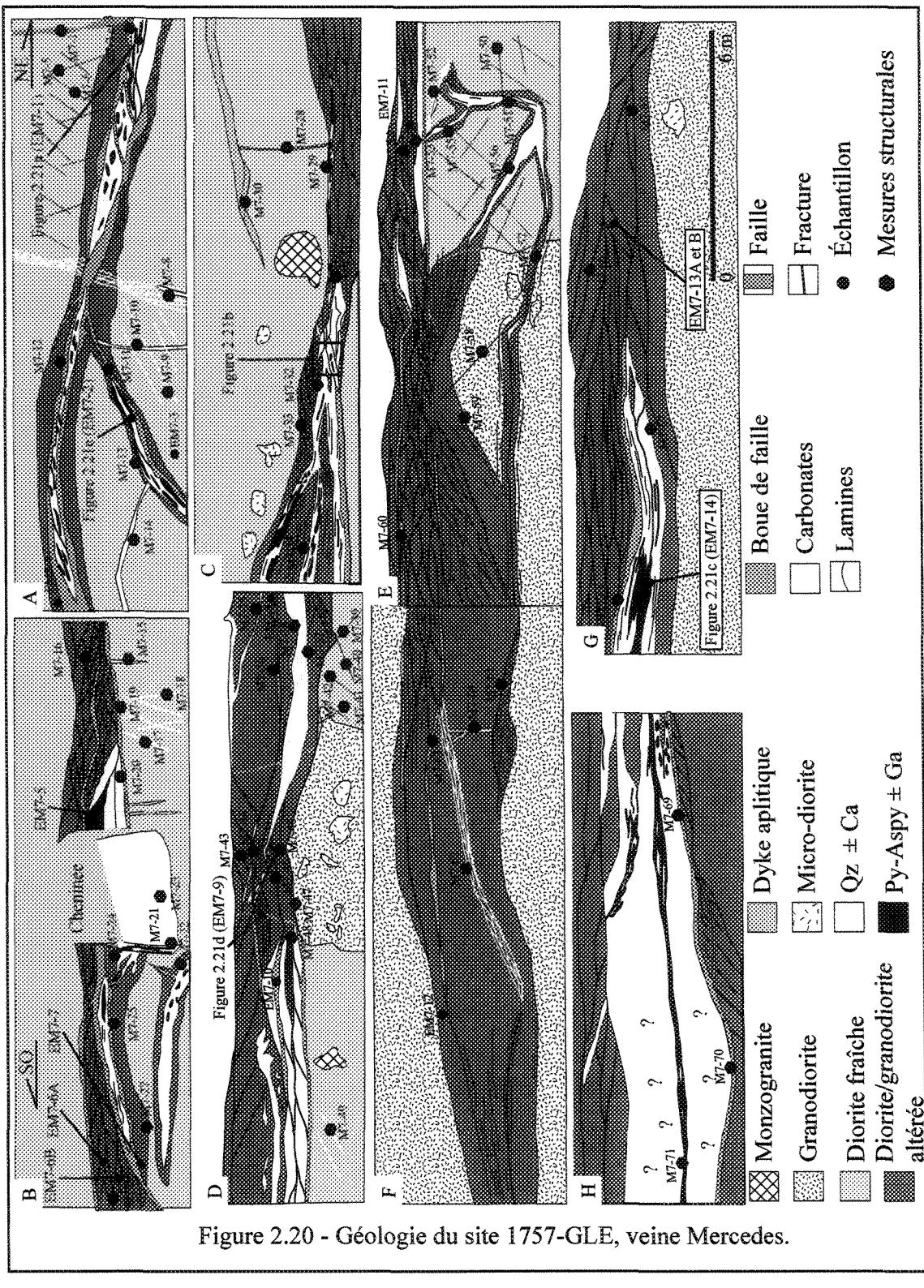
Les caractéristiques des structures présentes sur le site 1757-GLE (failles, fractures et plans de décollement) sont résumées dans le tableau 4.5.3. Les fractures observées dans la roche encaissante fraîche sont habituellement rectilignes et discontinues tandis que celles rencontrées dans la zone d'altération se développent communément avec un agencement anastomosé (Figure 2.19). Dans ce dernier cas, l'épaisseur de la zone d'altération est proportionnelle à la densité de fractures.

<sup>1</sup> Figure 2.21a

<sup>2</sup> Figures 2.20h et 2.21c et e

<sup>3</sup> Figure 2.21d

<sup>4</sup> Figures 2.20a, c, d et 2.21b



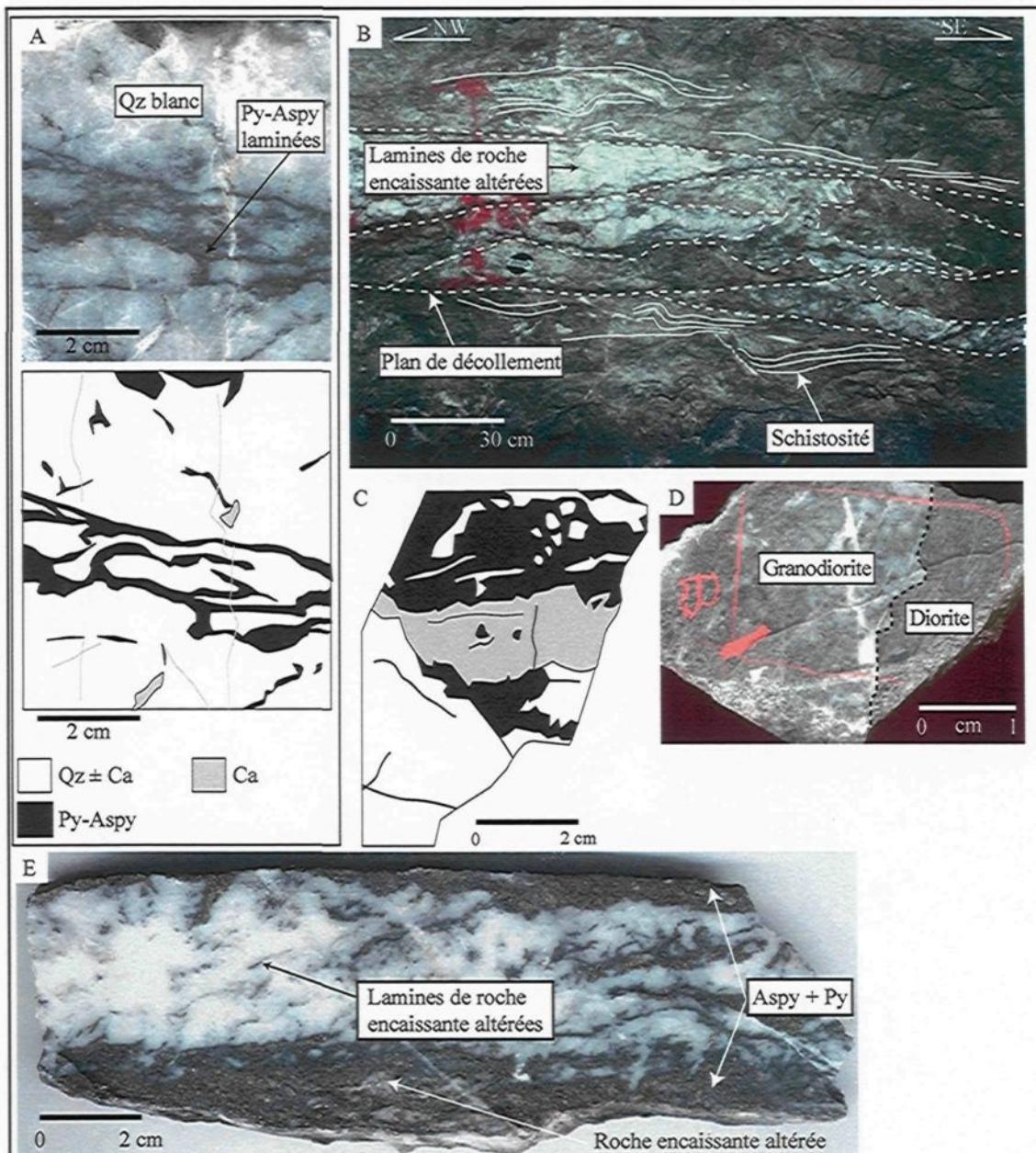


Figure 2.21 - Site 1757-GLE, veine Mercedes. a) Échantillon EM7-1. Quartz blanc avec lamination de Py-Aspy fine. b) PM7-4. Duplication de la veine. Observez les plans de décollement rectilignes au toit et au plancher de la veine. Vue en section de la veine Mercedes. c) Échantillon EM7-14. Veine principale avec alternance de rubans de Qz, Ca et Py-Aspy massive. L'ouverture contenant les carbonates semble tardive. d) Échantillon EM7-9. Différence d'altération entre la granodiorite (Qz + Sér) et la diorite (Chl ± Sér). e) Échantillon EM7-2. Laminas de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine avec Py-Aspy laminées et semi-massives (toit et plancher). L'échantillon représente l'épaisseur réelle de la veine. Les sulfures semblent remplacer la roche encaissante incorporée dans la veine. Remarquez les lamination de roche encaissante obliques au plan de la veine.

Sur les plans de la mine, la veine est faiblement décalée par la faille Maria 2 et un mouvement senestre apparent est observé en plan. Des plans de failles secondaires sont observés et quelques uns sont parallèles à la zone de failles Maria (Figure 2.22c).

La déformation se manifeste dans la veine par la présence de nombreux plans de glissement avec communément de la boue de faille (gauge) et produisant des décollements au toit et au plancher de la veine. Mais ces plans peuvent traverser la veine causant des répétitions et des duplications de celle-ci (Figure 2.21b). Les plans de fractures anastomosés et parallèles à la structure principale peuvent agir également comme plans de décollement et sont généralement sub-parallèles à la structure ou à la veine principale (Figure 2.22d). Une schistosité est localement observée au toit et/ou au plancher de la veine principale et de certaines veines secondaires (Figure 2.21b). Cette schistosité est sub-parallèle à parallèle au plan de la veine.

		Description							
Structures	Orientation	Type	Altération	Caractéristiques					
Fractures	Famille A	-	Bordure mm à cm, local (Qz + Sér ± Chl ± Ca).	Rectilignes, ondulantes ou anastomosées <sup>1</sup> , localement remplissage de Ca + patron anastomosé <sup>2</sup> , // à sub-parallèle ou perpendiculaire à la structure principale.					
	?								
	Famille B	-	-						
	-								
Failles	Famille A	Fragile	Zone de boue de faille : Sér-chl ± Py et fortement oxydé	Cm, boue de faille mal structurée, parfois recoupe la veine ou recoupée par la structure principale, // ou perpendiculaire à la veine <sup>3</sup> .					
	350 087								
	82 86	Fragile	-	Réseau de fractures anastomosé avec remplissage de Ca, sub-// ou perpendiculaire à la structure principale, recoupe l'altération mais recoupée par plan de décollement <sup>4</sup> .					
	120 092								
Plan de décollement	Famille B	Fragile-Ductile	Sér + Chl ± Qz ± Ca	Associés à une zone de boue de faille ou à une schistosité, mm à 20 cm, rectilignes ou ondulants, continus ou discontinus, sub-// plan de la veine, souvent patron anastomosé <sup>5</sup> .					
	60 28								
Veinules	088	Qz + Ca	?	Veinules de Qz + Ca ou Ca, mm à cm, // a sub-// à la structure principale.					
	34								
Veinules									
Famille 1									
108 41									

TABLEAU 2.6.3 – CARACTÉRISTIQUE DES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX, SITE 1757-GLE.

<sup>1</sup> Figure 2.20

<sup>2</sup> Figure 2.20f

<sup>3</sup> Figure 2.20a et c

<sup>4</sup> Figure 2.20a et f

<sup>5</sup> Figure 2.20

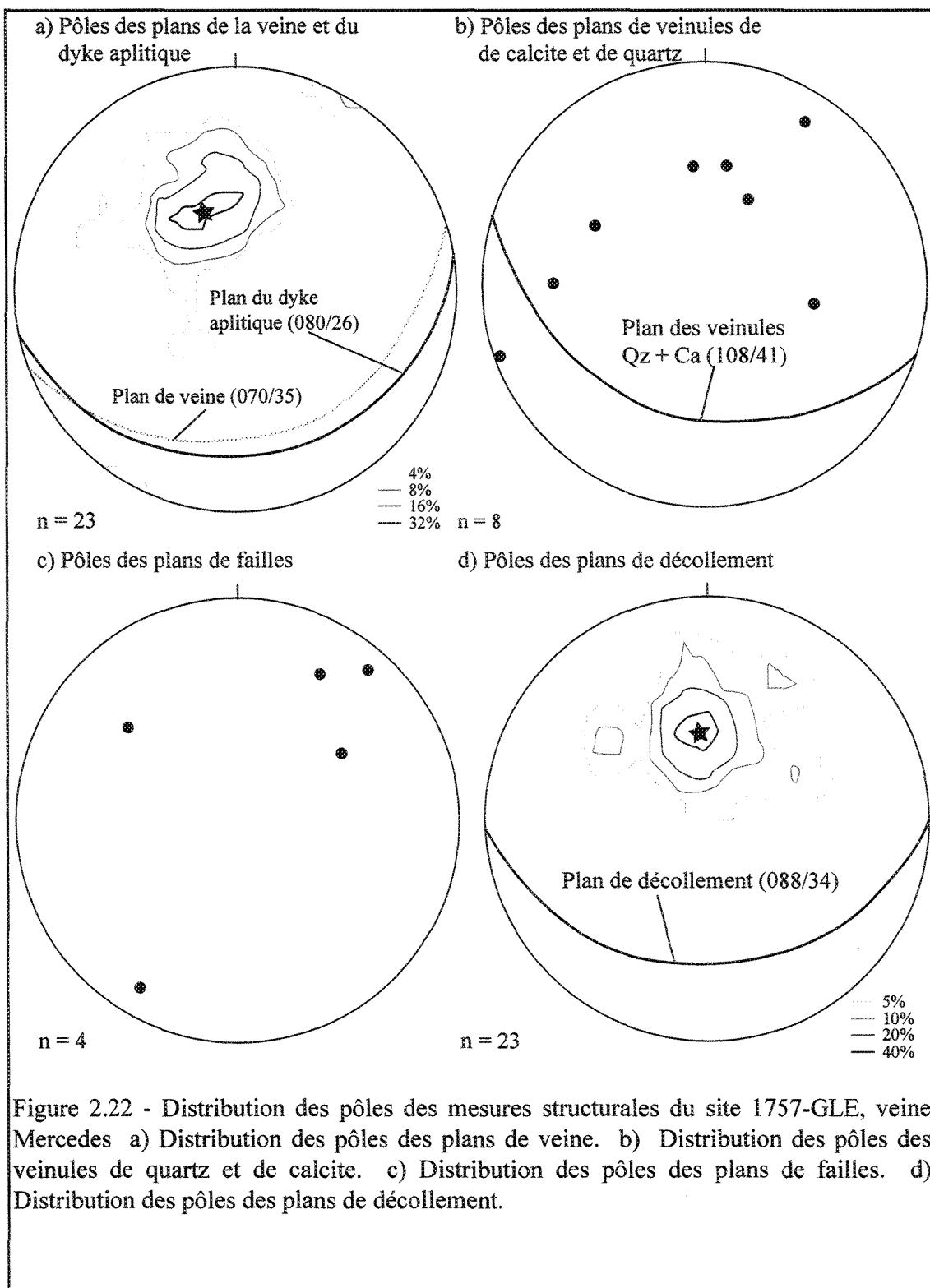


Figure 2.22 - Distribution des pôles des mesures structurales du site 1757-GLE, veine Mercedes a) Distribution des pôles des plans de veine. b) Distribution des pôles des veinules de quartz et de calcite. c) Distribution des pôles des plans de failles. d) Distribution des pôles des plans de décollement.

### 2.6.5 - Altération

La zone d'altération a une épaisseur qui varie de quelques centimètres à plus de 2 mètres (Figure 2.20). La séricite et le quartz dominent comme minéraux de remplacement dans la granodiorite tandis que pour la diorite, la chlorite et la séricite sont les minéraux dominants (Figure 2.21d). D'autres minéraux d'altération sont présents dans les deux lithologies comme les carbonates et la pyrite mais en quantité moindre.

### 2.6.6 - Sommaire

Le site 1757-GLE est un exemple montrant l'hétérogénéité de la veine le long de la structure principale (intérieur et extérieur du vecteur minéralisé). Les points saillants suivants peuvent être décrits:

- Localement, la présence d'un réseau de fractures avec un agencement anastomosé associé avec la zone d'altération suggère un rôle précoce des fractures pour la canalisation des fluides.
- L'architecture du réseau de fractures et des plans de glissement dans la zone d'altération et la présence de fractures parallèles à la veine dans la roche encaissante suggèrent que la veine a suivi un plan principal constitué d'une ou plusieurs fractures parallèles.
- La déformation de la roche encaissante est localement matérialisée par le développement d'une schistosité au toit ou au mur de la veine et par de nombreux plans de décollement provoquant la duplication de la veine.
- La compétence de la roche encaissante est un facteur qui contrôle l'épaisseur de la veine mais des variations importantes sont également observées dans une même lithologie.

- Généralement, l'épaisseur de la veine est plus grande dans les zones à l'intérieur du vecteur minéralisé (Figures 2.20b, g et h) qu'à l'extérieur de ces zones.
- La veine montre localement des textures comme des lamines de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine ou l'alternance de rubans de quartz avec des bandes ou lamines de sulfures. Ces textures indiquent une ouverture de la veine par des épisodes multiples de remplissages.
- Les lamines obliques observées localement dans les veines peuvent indiquer un vecteur d'ouverture oblique par rapport au plan de fracture principale. Si la veine se développe dans un plan de fracturation secondaire, une orientation différente de ce plan de fracture par rapport au plan de fracture principale pourrait également expliquer les lamines obliques.

## 2.7 – Site 2017-GLN, Veine Jimena

### 2.7.1 - Localisation

Le site 2017-GLN est accessible par la Rampa Lola Positiva (Figures 2.23 et 2.24). Il est situé dans la partie SSO du vecteur minéralisé. Les cartographies 2.25b et c sont situées à l'intérieur du vecteur minéralisé et la cartographie 2.25d est située à l'extérieur. Ce site montre le caractère successif de la formation de la veine en incorporant des fragments d'épontes altérés. De plus, le site apporte une contribution sur la mode de fermeture de la veine associé à des relais sur des plans de fractures différents. Les cartographies du site 2017-GLN représentent des coupes longitudinales avec un regard vers le SO. Au total, environ 50 mètres de galerie furent cartographiés (Figure 2.25).

### 2.7.2 - Lithologie

La roche encaissante sur ce site est la *diorite mafique* (nomenclature interne de la mine). La composition initiale est difficile à évaluer vu le degré élevé d'altération. Localement, des dykes de granodiorite recoupent la diorite au NO de la galerie (Figure 2.25d). Ces dykes se composent de quartz, de feldspath potassique et plagioclase ainsi que de biotite et de chlorite en plus faible quantité.

### 2.7.3 - Veine

L'orientation moyenne de la veine est de 285° avec un faible pendage de 12° vers le NNE (Figure 2.27a) avec des variations de 253°/12° à 310°/15°. Les teneurs en or varient de nul à l'extérieur du vecteur minéralisé à 43 g/t Au à l'intérieur du vecteur. L'épaisseur minimale de la veine est de 1 mètre et l'épaisseur maximale est de 4 mètres avec des variations visible de 2 à 4 mètres sur une distance de moins de 8 mètres. Elle se compose de 40 à 55% de quartz, 5% de carbonates, 7 à 30% sulfures (77 à 80%

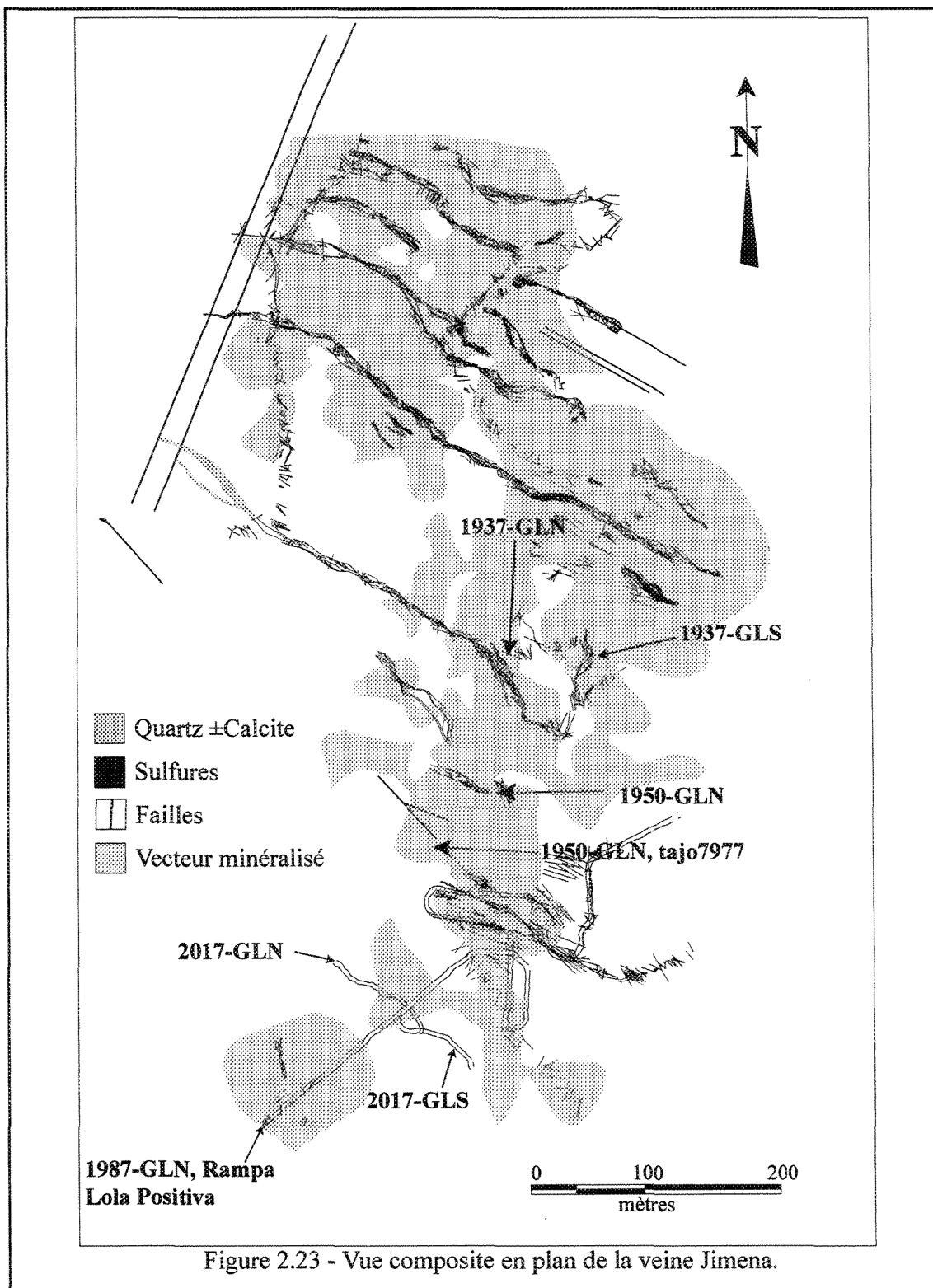
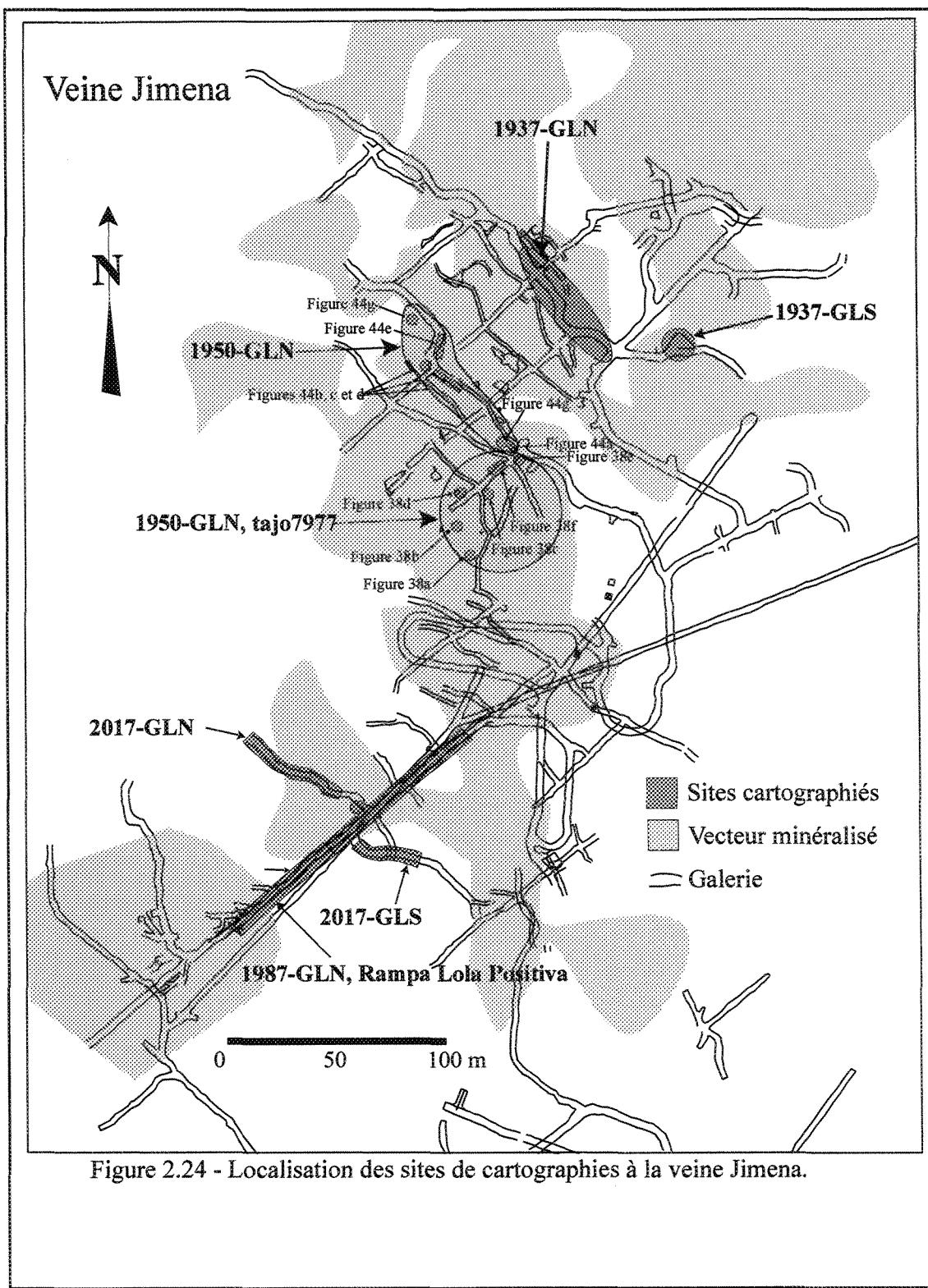


Figure 2.23 - Vue composite en plan de la veine Jimena.

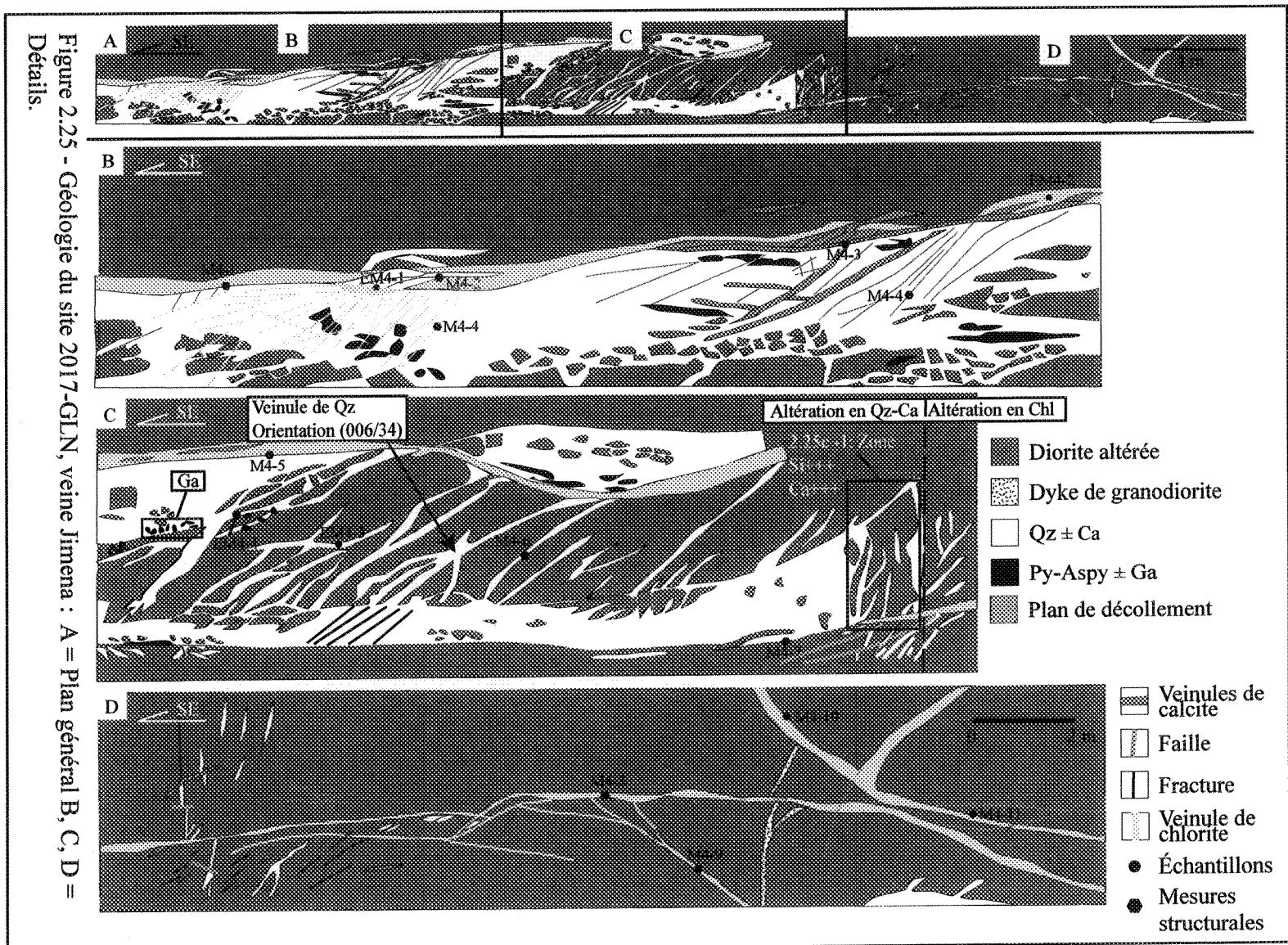


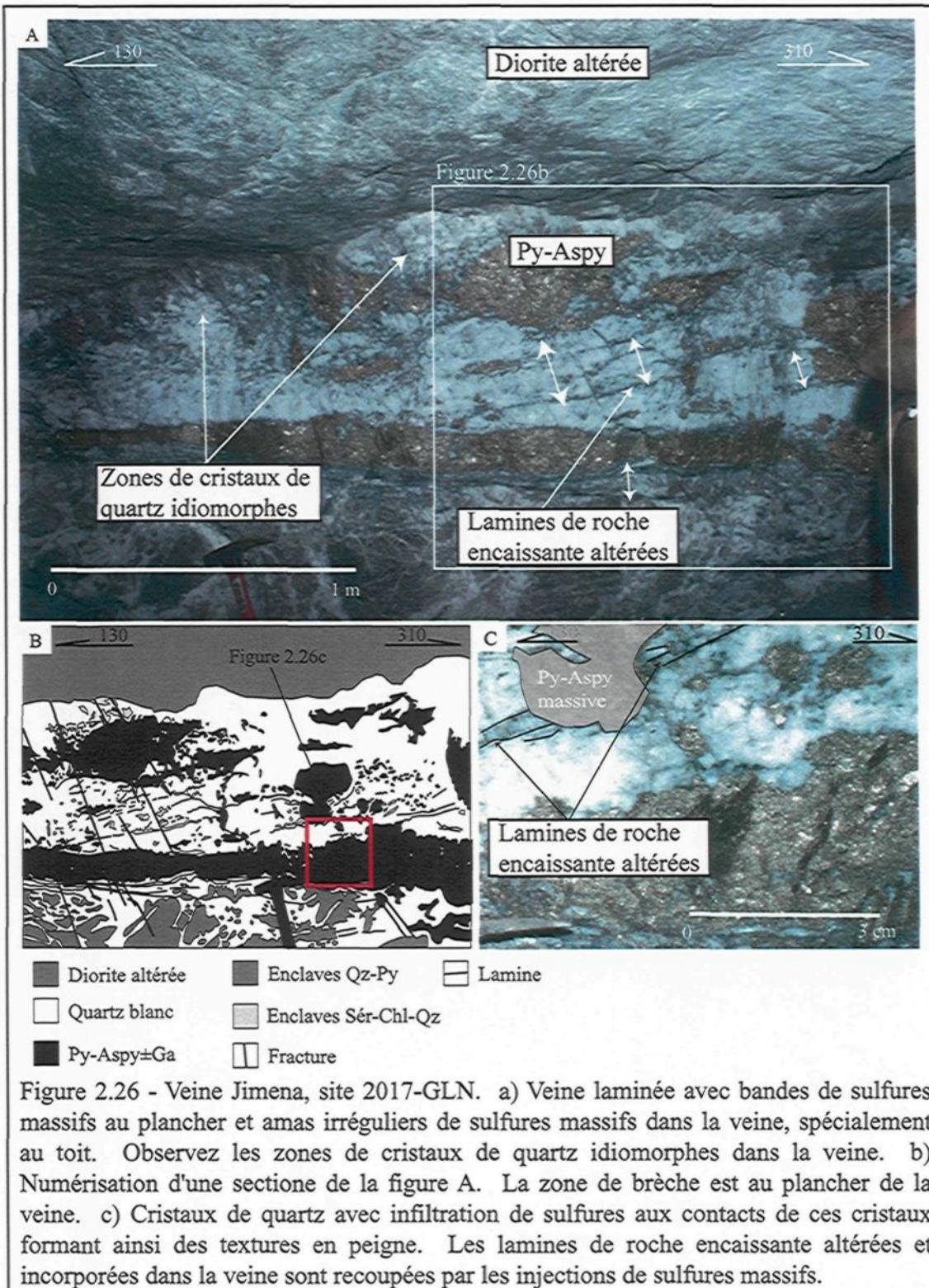
pyrite, 20% arsénopyrite et traces à 3% galène) et de 33% fragments de roche encaissante altérés et incorporés dans la veine. Le tableau 2.7.1 résume les caractéristiques de la veine Jimena au niveau 2017-GLN.

Un fait notable est la présence d'un relais et d'un pont entre deux fractures (avec *gauge*) localisées au toit et au plancher de la veine. Ces fractures obliques segmentent les fragments de roche encaissante altérés dans la veine par des injections de quartz blanc formant ainsi un motif en « casse-tête ». L'orientation moyenne du plan de ces veinules de quartz est N-S avec un pendage de 34° vers l'Est (Figure 2.27b). Il est intéressant d'observer encore une fois l'absence de schistosité dans les fragments incorporés dans la veine et dans la zone d'altération au toit et au plancher de la veine.

Plusieurs phénomènes sont observés à la jonction des sites 1987-GLN Rampa Lola Positiva et 2017-GLN. La figure 2.26a montre une organisation de la veine de ce secteur. La veine est régulière et continue composée de bandes de quartz qui s'alternent avec des bandes de sulfures massifs. Les sulfures se présentent en bandes rectilignes à la base de la veine ou en amas irréguliers à travers la veine. Dans cette situation, ces amas de sulfures sont associés à des zones irrégulières de cristaux de quartz idiomorphes. Les amas de sulfures cristallisent dans les espaces libres entre les cristaux de quartz. Le plancher de la veine est constitué d'une zone de brèche et la roche encaissante est injectée par un réseau de veinules de quartz produisant une texture caractéristique en « casse-tête ». Les fragments isolés et altérés entre les veinules présentent différents degrés d'altération.

Deux générations de lamines de roche encaissante d'épaisseur millimétriques, altérées en séricite-chlorite et incorporées dans la veine sont observées (Figure 2.26a). Ces deux générations de lamines indiquent des vecteurs d'ouverture différents. Les lamines A (contact brèche-ruban sulfures massifs au plancher de la veine) sont parallèles au plan de la veine ce qui indique un vecteur d'ouverture perpendiculaire à ce plan. Les lamines B, à l'intérieur même de la veine, sont obliques au plan de fracturation  $S_0$  et indiquent un vecteur d'ouverture à angle.





Il est intéressant de noter que cette dernière génération de lamination est recoupée par les sulfures (Figure 2.26c).

Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		E <sub>moy</sub>		E <sub>max</sub>		E <sub>var</sub>					
	285°/12° ?	253°/15° à 310°/15° ?			3 m 70 cm		Visible = 4 m 1 m		2 à 4 m sur 8 m Constante					
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse									
	55%	5%	7%	33%	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy					
	40%	-	30%	30%	80% 75%	20% 22%	Tr 3%	-	-					
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation							
	Py-Aspy : 1) Amas massifs ± allongés, cm à m, dans la veine ou dans les fragments d'éponges altérées <sup>1</sup> 2) Disséminée Ga : amas ± sphérique, mm à cm, en bordure des fragments d'éponges altérées <sup>2</sup>			1) Quartz blanc généralement massif										
	Py-Aspy: 1) Amas massifs dm 2) Bande massive continue au plancher de la veine <sup>3</sup> 2) Disséminée Ga : Amas massifs cm			1) Quartz blanc laminé <sup>4</sup> 2) Localement massif 3) Texture en peigne perpendiculaire aux bandes de Py-Aspy massive <sup>5</sup>			Site peu déformé							
	Altération visible	Dimension			Minéralogie									
		Métrique ?			Chl + Qz ± Sér ± Ca ± Py Qz + Sér ± Chl ± Ca ± Py									

TABLEAU 2.7.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 2017-GLN<sup>7</sup>.

#### 2.7.4 - Structures

Le degré de déformation de la roche encaissante est faible mais la présence de nombreuses zones de boue de faille indique des épisodes de cisaillement sur le plan de la veine ou des fractures présentes. Ces zones de boue de faille sont continues dans la roche encaissante même si la veine principale ne s'observe plus.

<sup>1</sup> Figure 2.25

<sup>2</sup> Figure 2.25c

<sup>3</sup> Figures 2.26a et b

<sup>4</sup> Figure 2.26

<sup>5</sup> Figure 2.26c

<sup>7</sup> *Italique* pour la figure 2.25 et *italique-caractère gras* pour la figure 2.26

Deux types de veinules se mettent en place au sein de la veine principale soit les veinules de chlorite et les veinules de carbonates (Figure 2.25b). Ces veinules sont orientées N-S avec des pendages de 35° vers l'Est (Figure 2.27b). Généralement rectilignes, de longueurs décimétriques à métriques, leurs épaisseurs varient de quelques centimètres à plus de 15 centimètres. Quelques-unes de ces veinules sont parallèles à la veine principale mais généralement elles sont obliques à celle-ci. Les veinules obliques sont parallèles aux veinules de quartz segmentant les fragments d'épontes incorporés dans la veine. Les relations de recouplement montrent que ces veinules sont tardives par rapport à la mise en place de la veine mais s'infiltrent dans des plans de fractures parallèles aux veinules de quartz qui segmentent les fragments d'épontes altérés à l'intérieur de la veine principale.

Un plan de décollement est observé au toit de la veine et est orienté 300°/18° (Figure 2.27c). Ce plan se caractérise par une zone de boue de faille continue et ondulante. L'épaisseur maximale de cette zone est de 15 centimètres et peut avoir des ramifications avec d'autres zones de boue de faille plus petites. La boue est composée en grande partie de chlorite et de quartz accompagnés en plus faible quantité de séricite et de carbonates.

### 2.7.5 - Altération

L'altération des épontes en bordure de la veine est composée en majorité de chlorite, de séricite et de quartz accompagnés d'une faible carbonatation-pyritisation. L'encadré 2.25c-1 représente une zone où les fragments d'éponte et la roche encaissante sont fortement silicifiés et carbonatés. Au sud de cette zone, le quartz et la séricite dominent comme minéraux d'altération et au nord, la chlorite devient le principal minéral d'altération. Cette différence d'altération est peut être dû à un changement lithologique graduel et non observé sur le terrain.

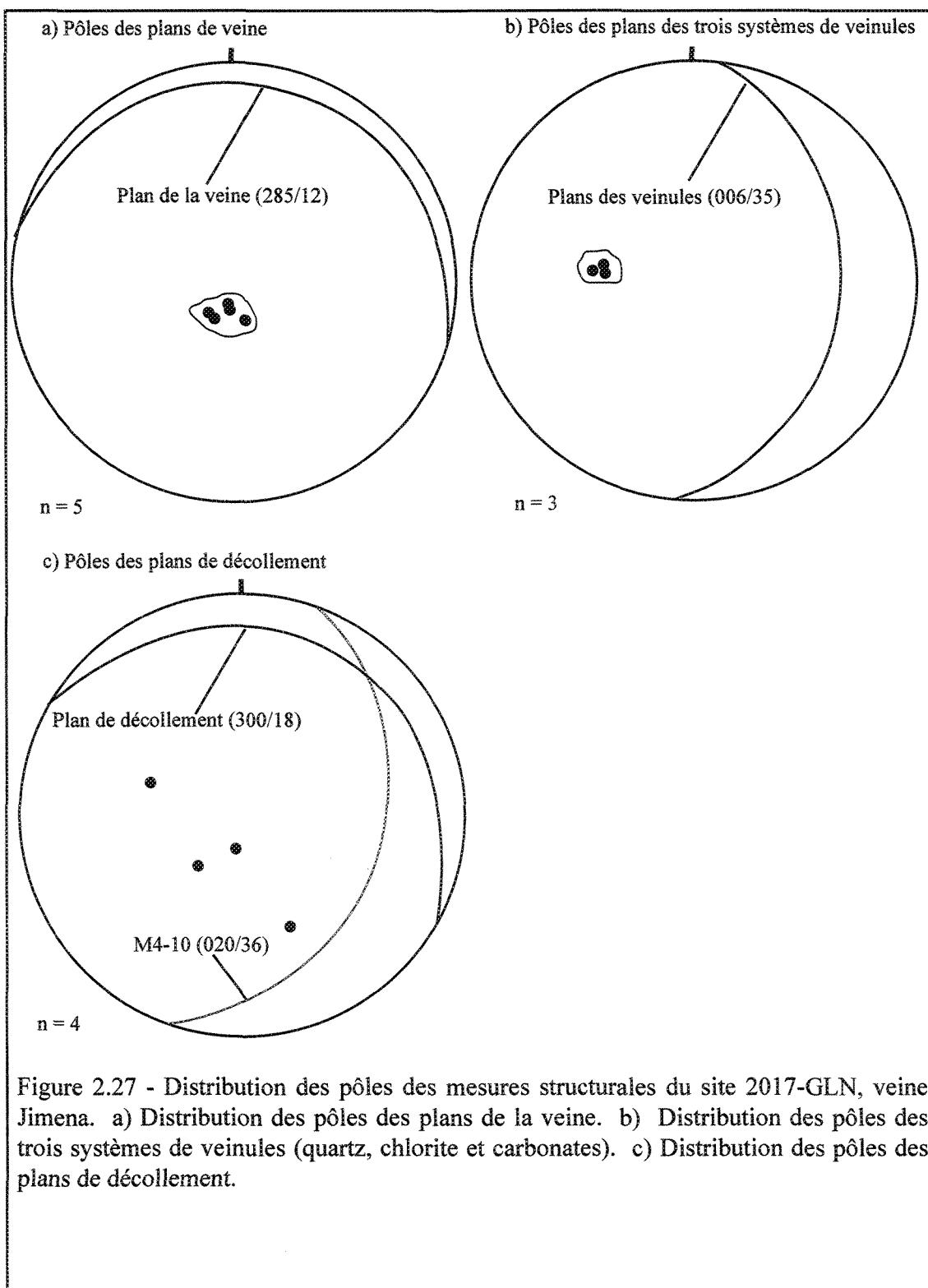


Figure 2.27 - Distribution des pôles des mesures structurales du site 2017-GLN, veine Jimena. a) Distribution des pôles des plans de la veine. b) Distribution des pôles des trois systèmes de veinules (quartz, chlorite et carbonates). c) Distribution des pôles des plans de décollement.

### 2.7.6 – Sommaire

Le site 2017-GLN est un bel exemple pour expliquer le mode d'ouverture et de fermeture de la veine, de l'incorporation de fragments d'épontes de grandes dimensions dans la veine et du mécanisme de remplissage du plan de fracture principal. En voici les principaux faits saillants:

- La présence de lamines de roche encaissante altérées et incorporées à l'intérieur de la veine indiquent un mécanisme d'ouverture par des épisodes multiples.
- Les différences d'attitudes de ces lamines montrent que l'ouverture de la veine peut se produire dans plusieurs directions. Dans le cas de ce site, l'ouverture peut se faire soit perpendiculaire au plan de fracturation  $S_0$  ou oblique à ce même plan.
- La présence de zones de cristaux de quartz idiomorphes et des textures en peigne indique un remplissage d'espaces ouverts dans le plan de fracturation principal.
- Les sulfures remplissent les espaces libres au contact des cristaux de quartz. Le recouplement des lamines de roche encaissante incorporées dans la veine par les sulfures indique une mise en place tardive des sulfures par rapport au quartz et que la formation de la veine était amorcée lors de l'introduction des sulfures.
- La roche encaissante est localement bréchifiée et la brèche s'observe particulièrement au plancher de la veine.
- La morphologie de la veine permet de déduire le mécanisme de production des fragments de grandes dimensions. Ils sont formés à partir de fractures obliques. Les fluides détachent puis incorporent les fragments dans la veine.

- Deux plans de fractures parallèles principales semblent être un contexte favorable pour la mise en place de la veine.
- La conjonction entre deux plans de fractures parallèles permet le développement des fractures obliques (relais). Cette zone semble contrôler la bréchification des fragments dans la veine. Ces grandes zones de relais peuvent également expliquer le mode de fermeture de la veine principale.
- La limite du vecteur minéralisé correspond à la fermeture de la veine.

## 2.8 – Site 2017-GLS, Veine Jimena

### 2.8.1 - Localisation

Le site 2017-GLS est localisé à 20 m au SE du site 2017-GLN (Figure 2.24). Il est situé au SSE du vecteur minéralisé de la veine Jimena. Les 10 premiers mètres sont cartographiés à l'intérieur du vecteur minéralisé tandis que les 18 derniers mètres sont situés à l'extérieur du vecteur (Figure 2.23). Le site se distingue par son degré de déformation plus intense dans la veine et dans la roche encaissante autant au toit qu'au plancher. Il apporte une bonne compréhension de la déformation au sein de la veine et également dans les épontes. Les cartographies du site 2017-GLS représentent des coupes longitudinales avec un regard vers le SO et au total, 28 mètres de galeries furent cartographiés.

### 2.8.2 – Lithologie

Le tableau 2.8.1 résume les caractéristiques de la roche encaissante sur le site 2017-GLS. La diorite est la lithologie principale et occupe la partie sud du site tandis que la granodiorite occupe la partie nord. Le contact entre ces deux lithologies est occupé par une veine étroite de quartz-sulfures (Figure 2.28a). Cette veine est perpendiculaire à la

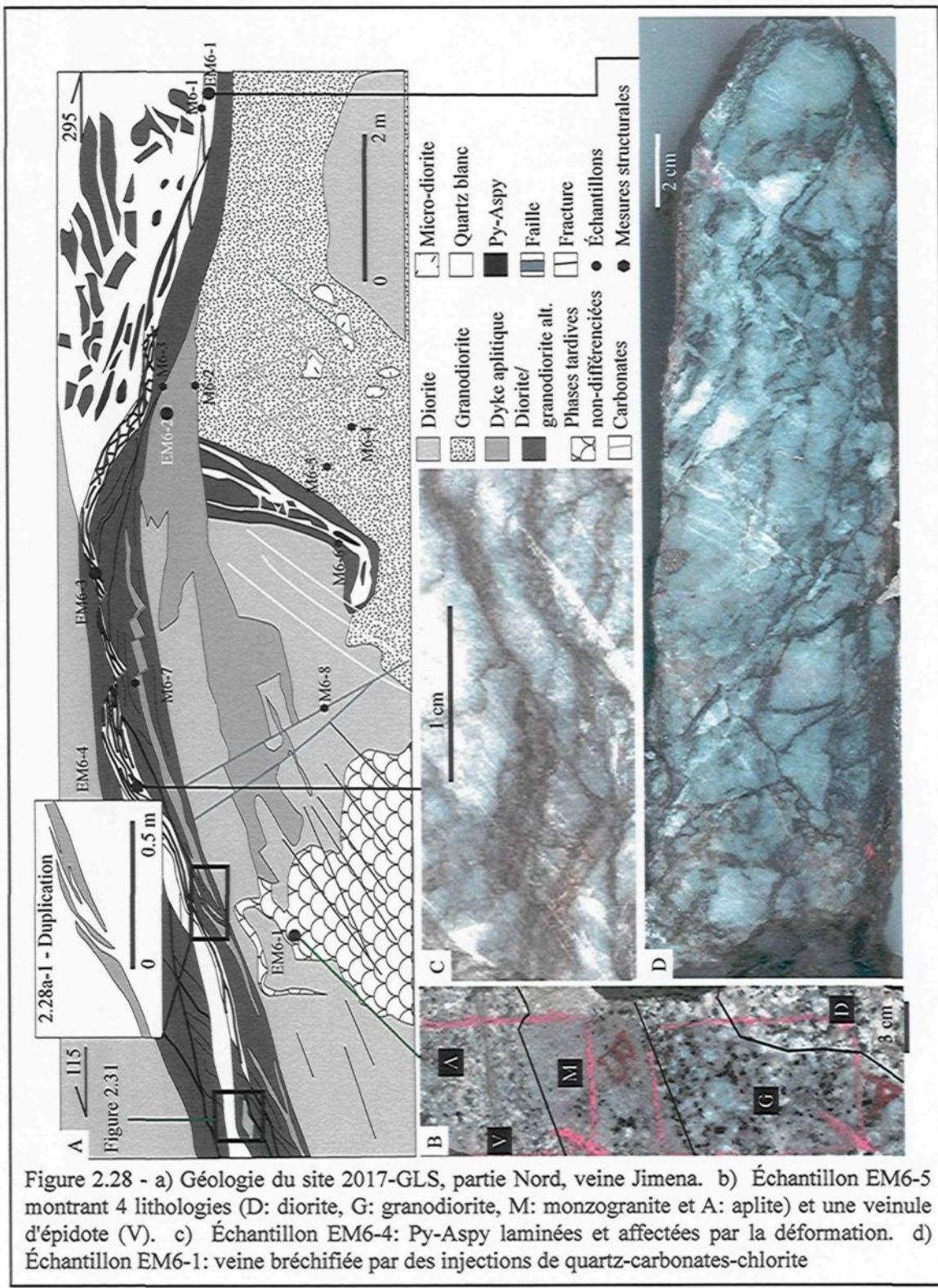
structure principale. Quelques dykes aplitiques sont présents sur le site. Les dykes présentent des phénomènes de duplication (Figures 2.28a-1 et 2.29b) et de boudinage (Figure 2.29b). L'épaisseur de ces dykes varie de quelques centimètres à environ 50 centimètres. Ces phases aplitiques semblent être recoupées par la veine qui suit le contact diorite-granodiorite.

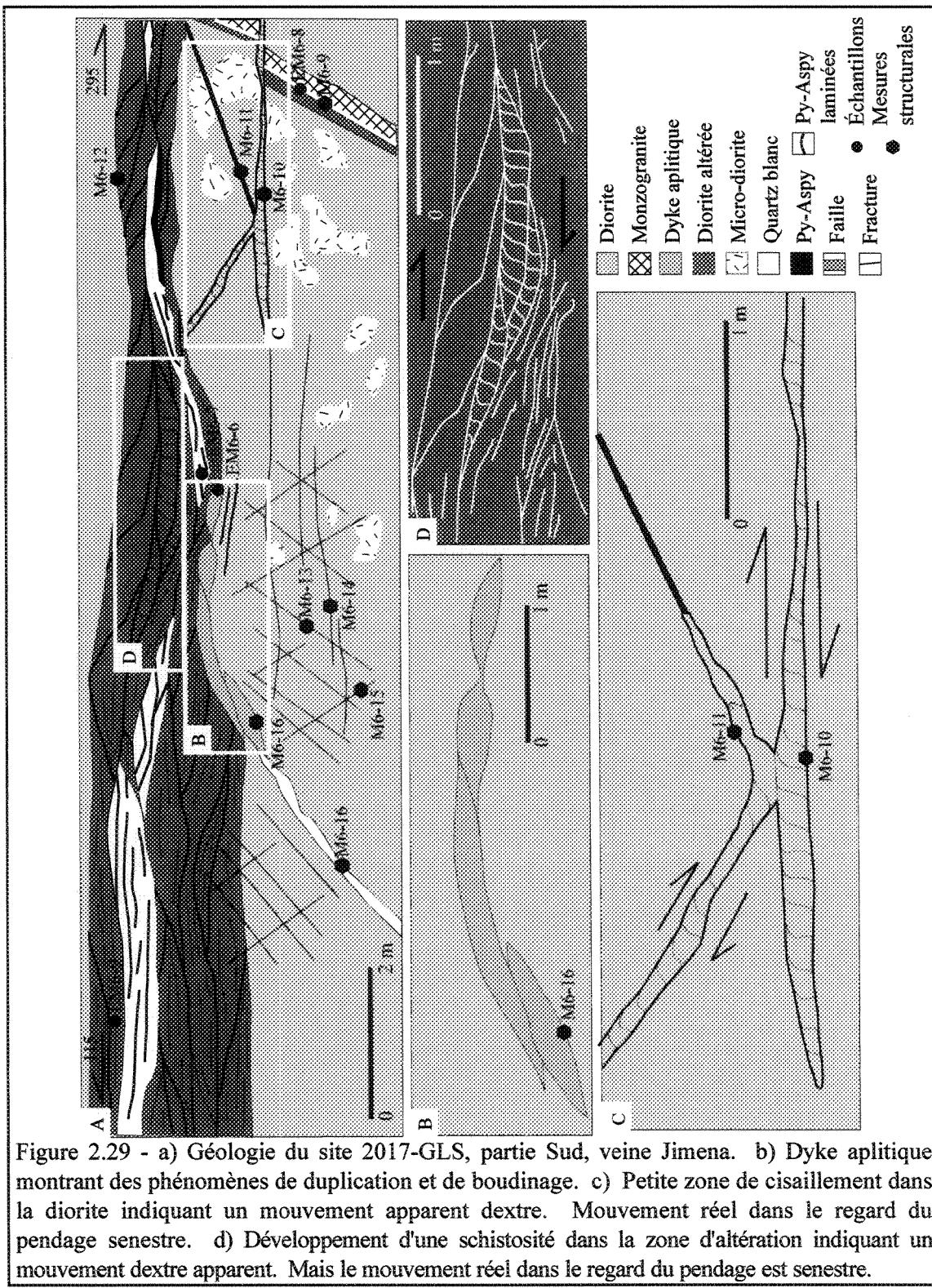
Lithologie	Composition				Texture	Commentaire
	<i>F-P</i>	<i>Sér</i>	<i>Qz</i>	<i>Am-Bo</i>		
<b>Diorite</b>	75%	5%	10%	4%	Hypidiomorphe granulaire	6% chlorite.
<b>Granodiorite</b>	15%	x	70%	10%	Hypidiomorphe granulaire	5% feldspath potassique, traces Py et Sér.
<b>Monzogranite</b>	x	x	50%	Tr	Hypidiomorphe granulaire	50% feldspath potassique
<b>Dyke aplitique</b>	50%	15%	30%	1%	Hypidiomorphe granulaire	Tr muscovite.

TABLEAU 2.8.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA ROCHE ENCAISSANTE, SITE 2017-GLS.

### 2.8.3 - Veine

La veine principale a une orientation de 300°/34°. Il est à noter que le pendage est plus élevé que les autres sites en général (Figure 2.30a) avec très peu de variation dans l'orientation de la veine. Les teneurs en or varient de 5 g/t à 31 g/t Au. L'épaisseur minimale de la veine est de 10 centimètres et l'épaisseur maximale est de 1,5 mètre avec des variations locales de 20 centimètres à 1,5 mètres sur une distance de 5 mètres. Mais de manière générale, l'épaisseur moyenne est de 20-25 centimètres et est relativement constante. La portion NO du site montre une veine qui a une épaisseur visible de 1,5 mètre. Deux zones distinctes y sont reconnues, soit la partie supérieure avec des fragments d'épontes altérés, incorporés et bréchifiés ainsi que la partie inférieure plus laminée. Un fait important est l'absence de schistosité dans ces fragments d'épontes tandis que localement, une schistosité s'observe au toit ou au plancher de la veine dans les épontes. La veine se compose de 80% de quartz, 5% de carbonates, 5% de sulfures (90% pyrite et 10% arsénopyrite) et 10% de fragments de roche encaissante altérés et incorporés dans la veine (Tableau 2.8.2).





Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$	$E_{max}$	$E_{var}$	<i>1,5 à 20 cm sur 5m. Par la suite, constant.</i>		
	300°/34°		Pas de variation		20 cm	Visible = 1,5 m				
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse					
	80%	5%	5%	10%	Py	Aspy	Ga	Sp Cpy		
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation			
	1) Amas massifs dm, ± allongés (plancher de la veine) 2) Laminées et cisailées <sup>1</sup>			1) Texture bréchique (1 <sup>ère</sup> génération de Qtz blanc bréchifié par 2 <sup>ème</sup> génération de Qtz blanc ± Chl ± Ca) <sup>2</sup> 2) Quartz blanc laminé <sup>3</sup> 3) Localement, quartz blanc massif			Duplication et démembrément de la veine <sup>4</sup>			
Altération visible	Dimension				Minéralogie					
	Cm (veine secondaire) à m.				Chl + Qz + Sér ± Ca ± Py					

TABLEAU 2.8.2 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 2017-GLS.

#### 2.8.4 - Structure

Les plans de décollement sont communs le long de la veine, localement dans la veine et surtout dans la zone d'altération. La figure 2.29 est une vue longitudinale avec un regard vers le sud qui montre des plans de décollement sub-parallèles à la structure principale et qui décrivent une configuration anastomosée. L'association d'une schistosité oblique à ces plans de décollement (Figure 2.29d) peut s'interpréter comme une fabrique CS indiquant un mouvement dextre apparent dans la figure mais qui correspond en fait à un mouvement réel senestre en regardant dans la direction du pendage.

<sup>1</sup> Figure 2.28c

<sup>2</sup> Figure 2.28d

<sup>3</sup> Figure 2.31

<sup>4</sup> Figure 2.29a

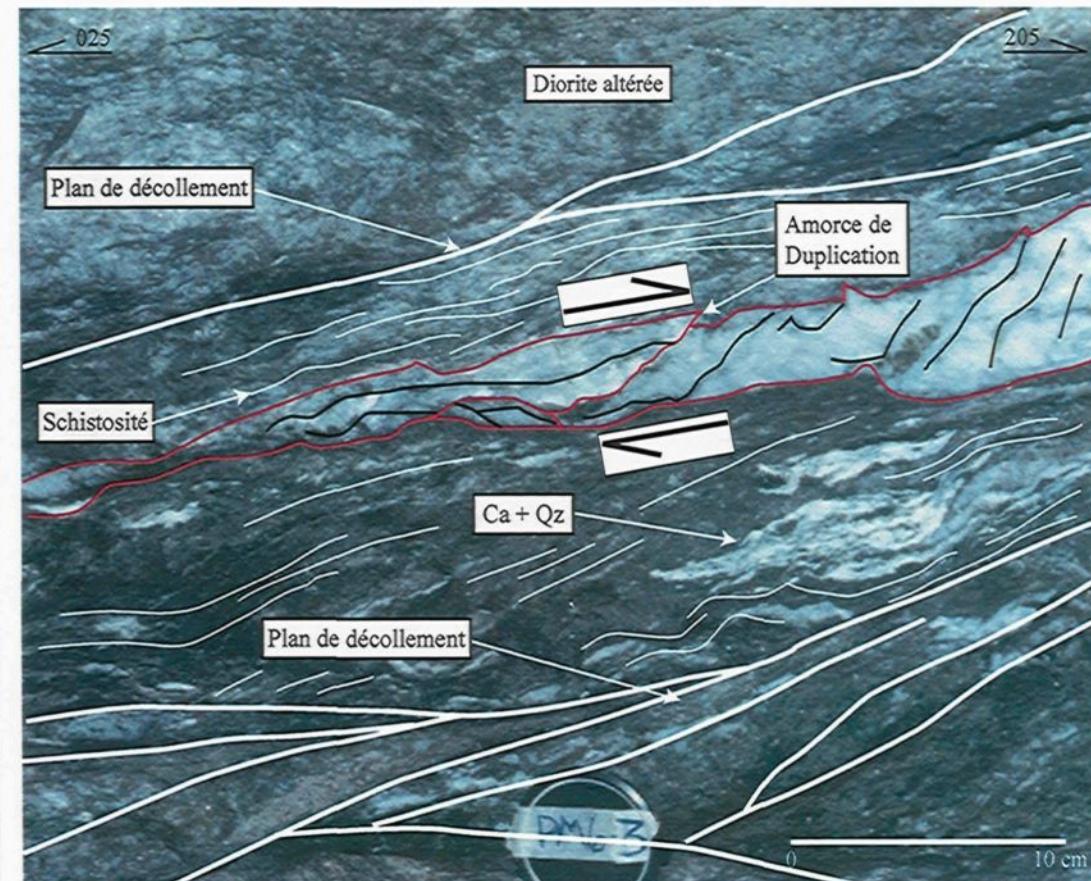


Figure 2.30 -Site 2017-GLS, veine Jimena. Veine de quartz blanc avec amorce de duplication et lamine de roche encaissante altérés en chlorite-séricite et incorporées dans la veine. Les lamine sont localement obliques au plan de la veine. Présence de nombreux plans de décollement et d'une zone d'altération avec développement d'une schistosité. La schistosité développée au toit de la veine est légèrement oblique au plan de la veine. Les lamine obliques, la schistosité dans la zone d'altération et les phénomènes de duplication indiquent un mouvement inverse (vue en section).

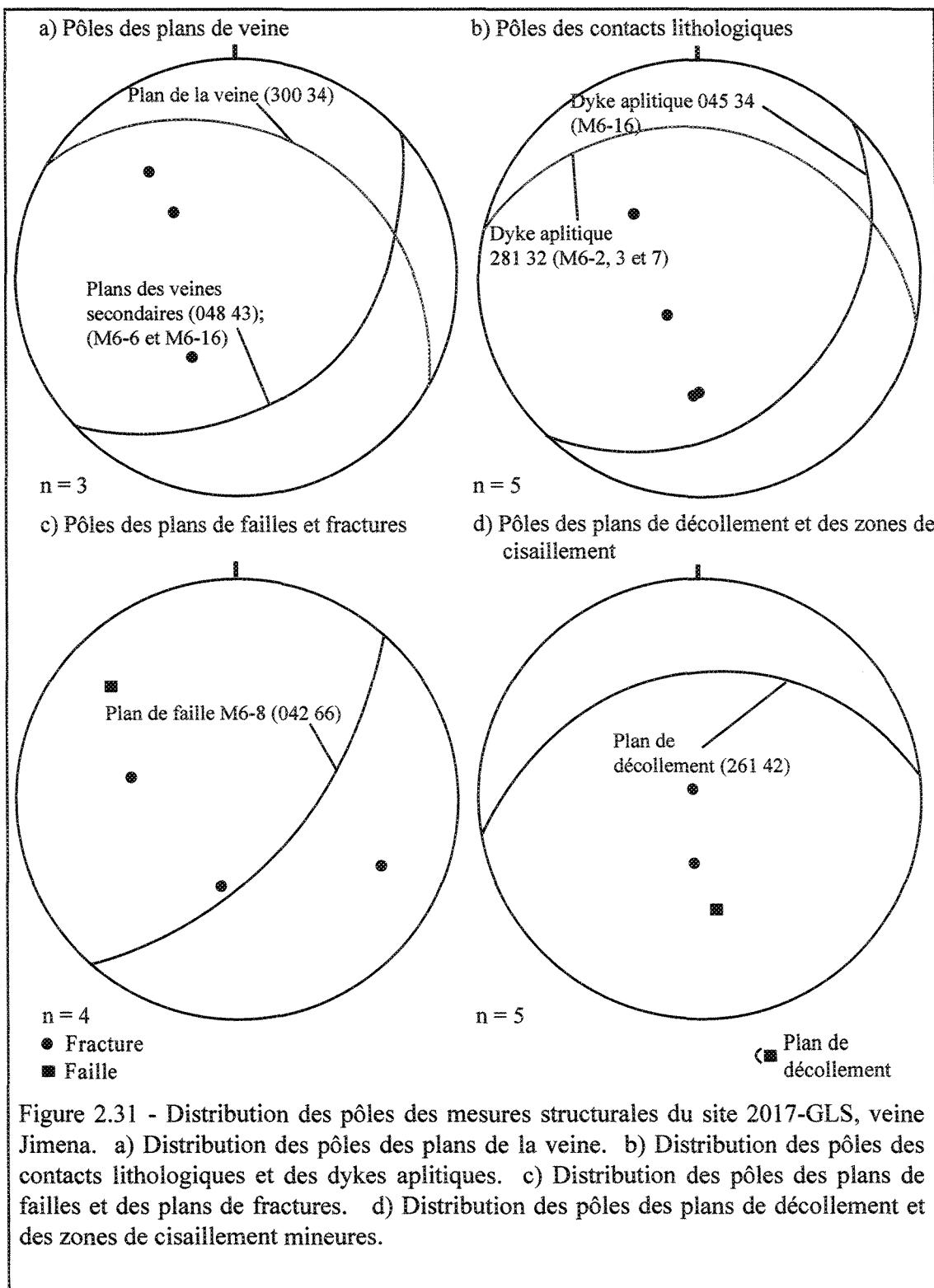


Figure 2.31 - Distribution des pôles des mesures structurales du site 2017-GLS, veine Jimena. a) Distribution des pôles des plans de la veine. b) Distribution des pôles des contacts lithologiques et des dykes aplitiques. c) Distribution des pôles des plans de failles et des plans de fractures. d) Distribution des pôles des plans de décollement et des zones de cisaillement mineures.

La figure 2.30 montre un bon exemple, vue en section, de la déformation qui peut affecter la veine. La zone est structurée, laminée, fortement chloritisée et carbonatée. La schistosité, oblique aux plans de décollement, peut s'interpréter comme une fabrique CS donnant un mouvement inverse. Les phénomènes de duplication de la veine sont cohérents avec cette interprétation.

#### 2.8.5 - Altération

Une zone d'altération visible est présente de chaque côté de la veine avec une épaisseur de 15 centimètres à 1 mètres. L'altération de la roche encaissante est composée en majorité de séricite, de quartz et de chlorite accompagnée d'une carbonatation et d'une faible pyritisation. L'altération en bordure des fractures, des veines secondaires, du dyke de monzogranite et des veinules de calcite est de la même nature. Cette altération paraît plus développée dans les parties où la veine est plus déformée (Figures 2.29 et 2.31). Cette association peut indiquer une altération synchrone à la déformation ou une déformation qui a profité de la zone d'altération pour se développer.

#### 2.8.6 - Sommaire

Le site 2017-GLS montre bien la déformation au toit, au plancher et dans la veine ainsi que du contrôle que peuvent avoir les anisotropies présentent dans la roche encaissante sur la mise en place des veines. Voici les faits saillants observés sur ce site:

- La déformation est matérialisée par le développement d'une schistosité dans les épontes et peut s'interpréter comme une fabrique C-S avec un mouvement senestre-inverse.
- D'autres phénomènes observées résultent de la déformation comme de la duplication (veine et dyke aplitique), du boudinage (dyke aplitique) et cisaillement de la veine principale visible par les lamination de sulfures déformées.

- Bien que ce site soit fortement affecté par la déformation, en aucun cas les fragments incorporés dans la veine ne montrent des évidences de déformation.
- La déformation est plus intense lorsque l'altération est également plus intense. Ceci peut s'expliquer par l'attendrissement de la roche encaissante par le processus d'altération.
- Ce site correspond au plus haut degré de déformation cartographié à la veine Jimena.
- Les pendages observés sont les plus élevés de tous les sites étudiés à la veine Jimena.
- Le contact lithologique diorite-granodiorite favorise le développement de la veine au NO de la galerie. La différence de compétence entre ces lithologies pourrait expliquer l'ouverture de la veine au contact diorite-granodiorite et non dans le dyke aplitique.
- Malgré la présence de cette anisotropie (dyke d'aplite), la veine suit un plan principal constitué d'une ou plusieurs fractures parallèles. La présence de plans de glissement avec un agencement anastomosé dans la zone d'altération et de fractures parallèles à la veine dans la roche encaissante suggère que la veine a suivi ce plan principal.
- La limite du vecteur minéralisé concorde avec le contact diorite-granodiorite.
- L'alternance de bandes de quartz avec des lames de sulfures indiquent l'ouverture de la veine par des épisodes multiples.

## 2.9 - Site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva – Veine Jimena

### 2.9.1 – Localisation

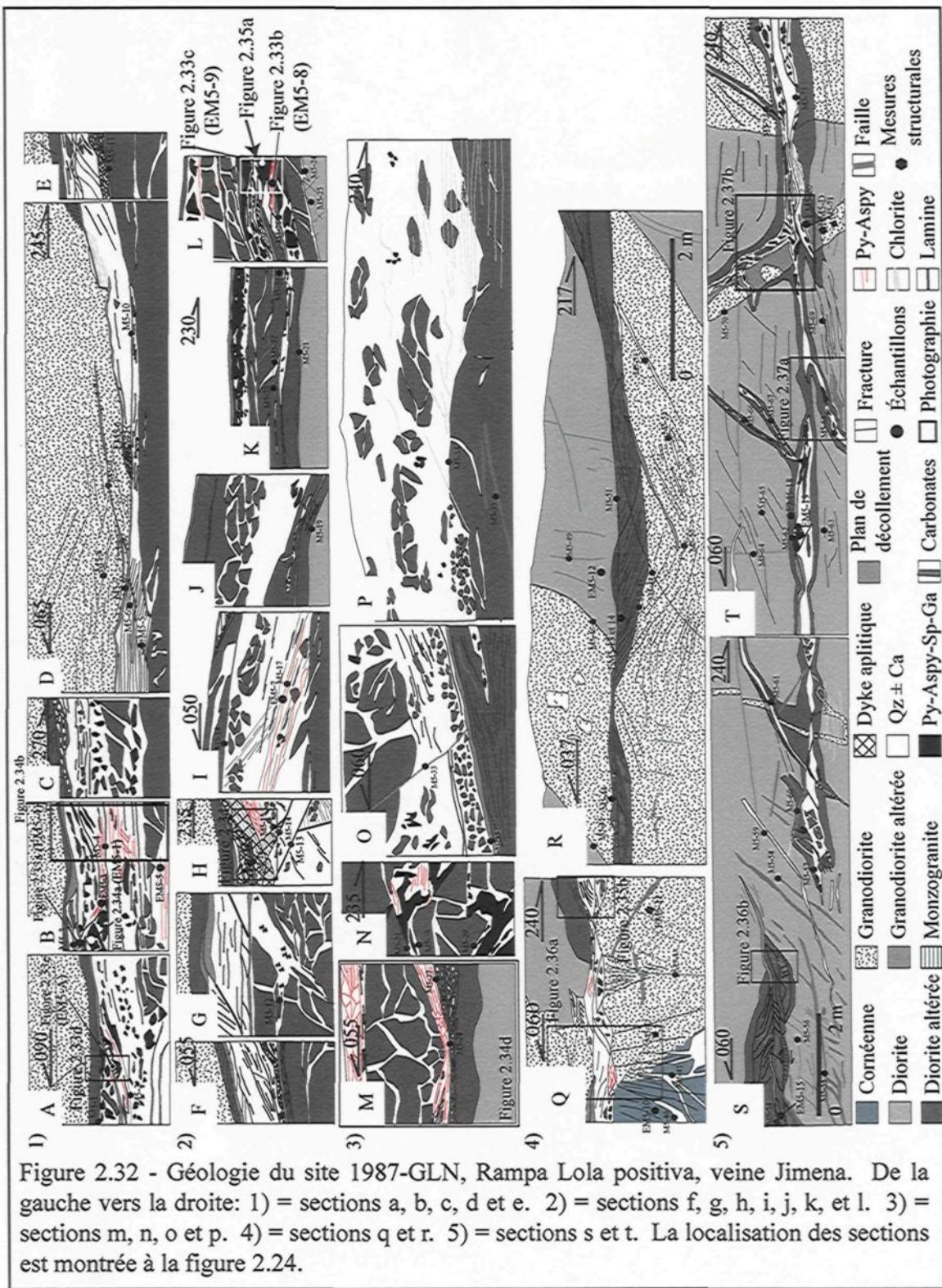
La Rampa Lola Positiva est accessible par le niveau 1987-GLN (Figure 2.24). La veine exposée dans la rampe donne une vue en section. Le site est situé dans l'extrême sud du vecteur minéralisé principale et secondaire de la veine Jimena (Figure 2.23). Ce site permet d'apprécier plusieurs textures de remplissage de la veine, son comportement en fonction de la roche encaissante, l'ouverture et la fermeture de la veine par des relais et finalement, différents degrés de déformation dans la zone d'altération aux pourtours de la veine selon la lithologie. En tout, 130 mètres de galerie furent cartographiés (Figures 2.24 et 2.32).

### 2.9.2 - Lithologie

Plusieurs lithologies sont présentes sur le site 1987-GLN, rampa Lola positiva. La diorite et la granodiorite en sont les deux composantes principales. La diorite peut avoir localement jusqu'à 30% de phénocristaux de feldspath plagioclase ( $\varnothing=1$  à 5 millimètres) et 3% de phénocristaux d'amphibole ( $\varnothing=1$  à 3 millimètres). La granodiorite peut se présenter sous forme de dyke de 10 à 40 centimètres d'épaisseur, avec des contacts francs et rectilignes avec la diorite (Figures 2.32s, t et 2.37b). On retrouve également, en plus faible proportion, de la micro-diorite, des phases aplitiques qui semblent être sous forme de dyke au toit de la veine, parallèles à celle-ci et fortement sérichtisées (Figures 2.32h et 2.34c) ainsi que des cornéennes altérées en séricite, muscovite et pyrite (Figures 2.32q et 2.36a).

### 2.9.3 - Veine

L'attitude moyenne de la veine est de  $319^{\circ}$  avec un pendage moyen sub-horizontal ( $09^{\circ}$ ) vers l'Est (Figure 2.38a) avec des variations de  $265^{\circ}/17^{\circ}$  à  $040^{\circ}/14^{\circ}$ . Les valeurs en or varient de 13 g/t Au à l'extérieur du vecteur minéralisé à 43 g/t Au à l'intérieur du vecteur. L'épaisseur de la veine varie de 30 centimètres à une épaisseur maximale de



plus de 2 mètres. Par contre, l'épaisseur moyenne de la veine à ce niveau est de 1 mètre avec des variations allant de 30 centimètres à 1,6 mètre sur une distance de 6 mètres. La portion est de la rampe montre une section de la veine avec une épaisseur généralement plus grande que 1 mètre et la partie ouest, une veine d'épaisseur maximale de 40 centimètres. Elle se compose de 70% quartz, traces à 1% carbonates, 5-15% sulfures (81% pyrite, 15% arsénopyrite, 2% galène, 2% chalcopyrite et traces de sphalérite) et 15-25% fragments de roche encaissante altérés et incorporés dans la veine (Tableau 2.9.1).

Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$				
	319°/09°		265°/17° à 040°/14°		1 m		Visible = 2 m		30 cm à 1,5 m sur chaque 6m.				
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse								
	70%	tr	5-15%	15-25%	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy	81% 15% 2% Tr 2%			
Textures et structures	Sulfures				Veine			Déformation					
	<i>Py + Aspy : Amas massifs cm à dm ± allongés. Bandes massives ± continues, 10 cm d'épaisseur<sup>1</sup> Laminés mm et discontinues<sup>2</sup>. Ga : disséminée et en traces, Ø = 0,1 à 0,5 cm<sup>3</sup>.</i>				<i>Quartz blanc laminé<sup>4</sup> Texture en peigne<sup>5</sup> Quartz blanc massif</i>			<i>Duplication de la veine principale<sup>6</sup> Asymétrie des plans au toit et au plancher de la veine<sup>7</sup></i>					
Altération visible	Dimension				Minéralogie								
	10 cm à 1m				<i>Sér + Chl + Qz ± Ca ± Py</i>								

TABLEAU 2.9.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 1987-GLN, RAMPA LOLA POSITIVA.

On observe des relations qui permettent d'interpréter le mode d'ouverture et de fermeture de la veine par des relais et des ponts le long de plans de fracture (Figures 2.32s et 2.37a). Localement la structure principale est présente dans le prolongement

<sup>1</sup> Figures 2.32k, 2.33 a et c

<sup>2</sup> Figures 2.33b et 2.35b

<sup>3</sup> Figure 2.33d

<sup>4</sup> Figures 2.35a et 2.37b

<sup>5</sup> Figures 2.33a, c, d et e

<sup>6</sup> Figures 2.35a et b

<sup>7</sup> Figure 2.36a

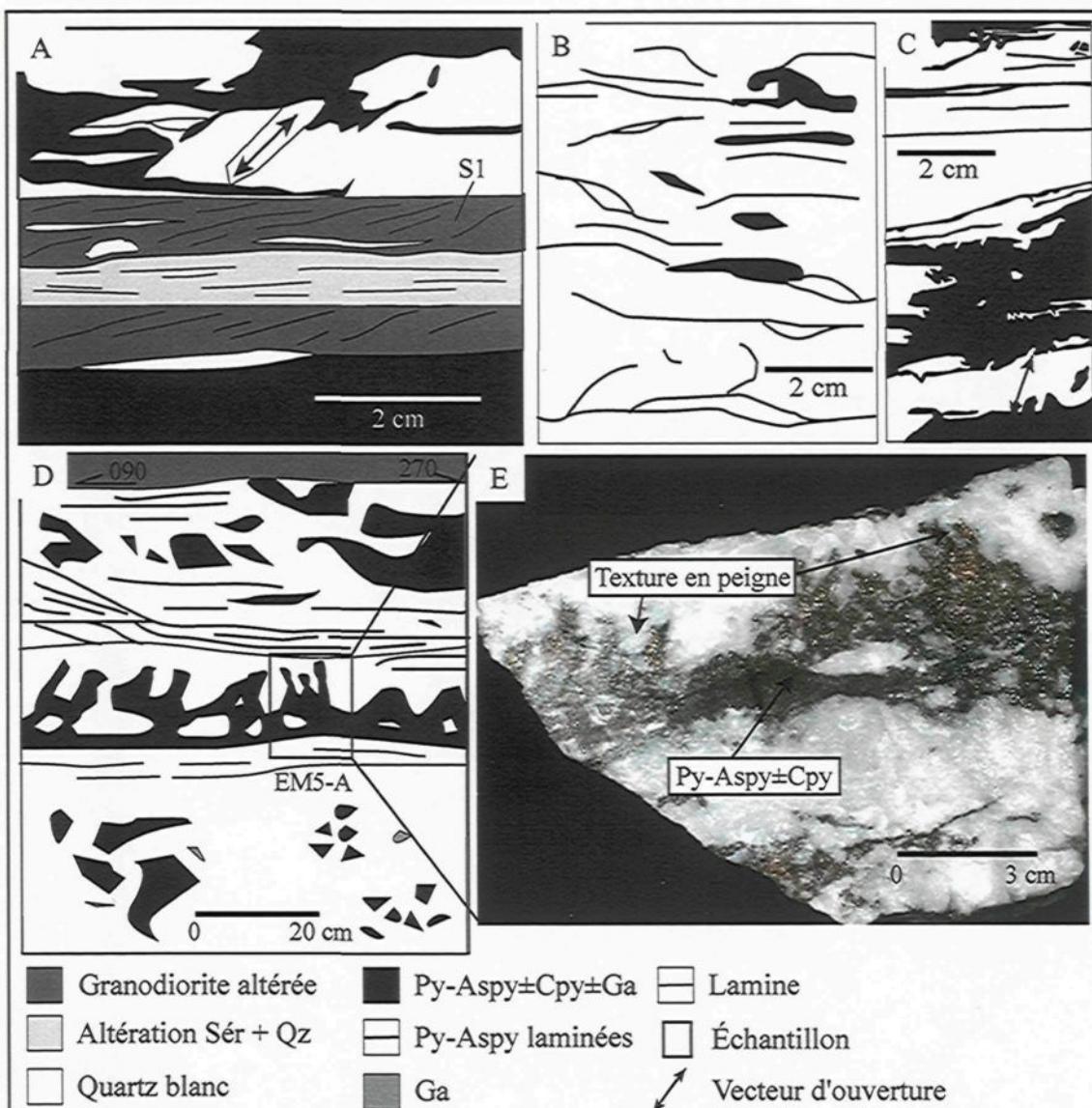


Figure 2.33 - Site Rampa Lola positiva-GLN, veine Jimena. a) Cristaux de quartz indiquant un vecteur d'ouverture oblique par rapport au plan de fracturation So. b) Lamines de sulfures millimétriques. c) Alternance de rubans de sulfures massifs (Py-Aspy±Cpy) et de rubans de quartz. Les sulfures se mettent en place aux contacts des cristaux de quartz (texture en peigne) permettant de définir un vecteur d'ouverture oblique par rapport au plan de fracturation So. d) Section de la veine montrant différentes textures: quartz laminé, quartz avec texture en peigne, sulfures laminés, rubans massifs centimétriques à décimétriques et disséminés. Présence de lamines de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine. e) Quartz blanc montrant des textures en peigne visibles par la mise en place des sulfures aux contacts des cristaux de quartz.

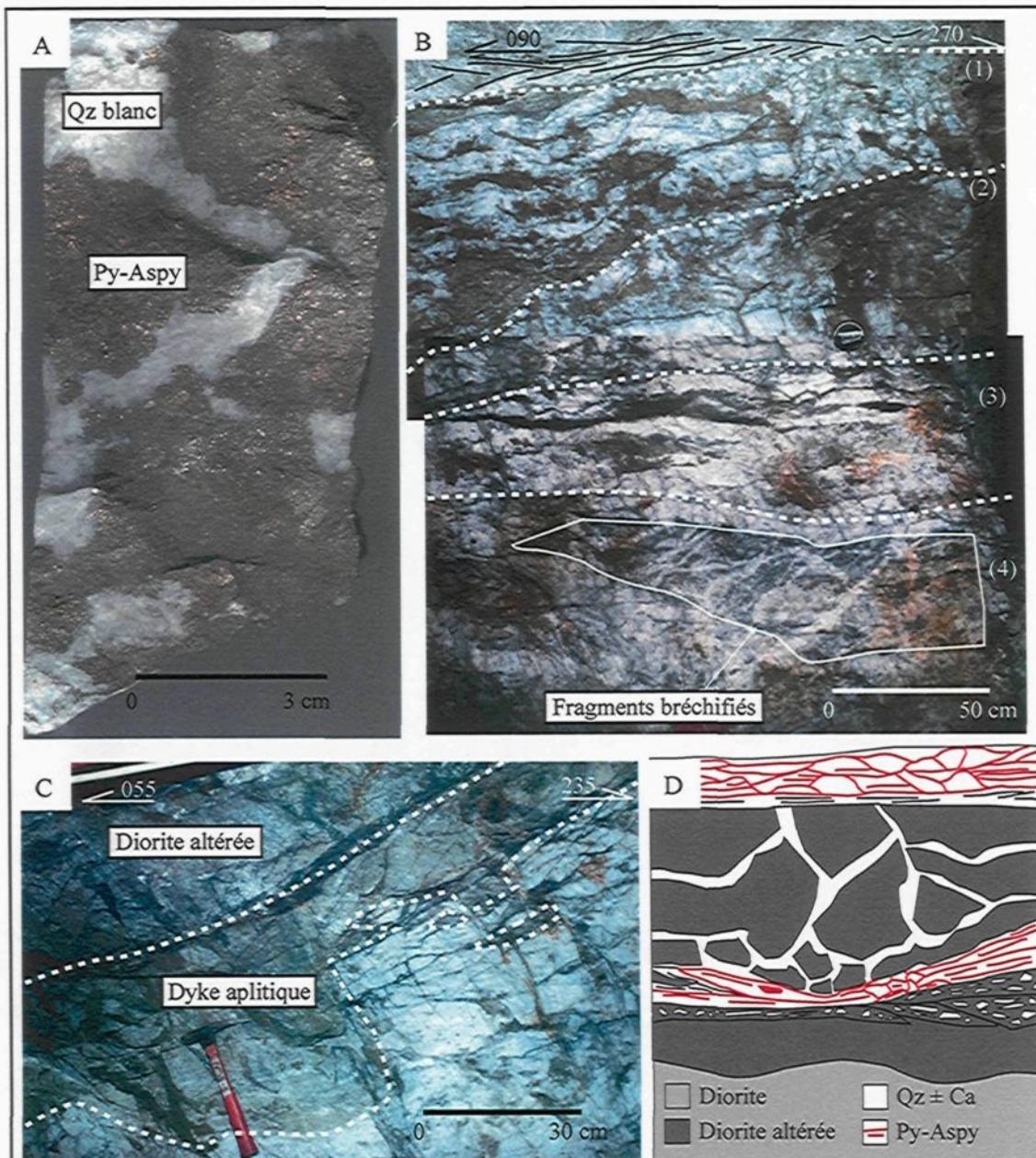


Figure 2.34 - Site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. a) Quartz blanc bréchifiant la pyrite-arsénopyrite massives. b) Veine composite avec, du toit au plancher: (1) une zone d'amas étirés de pyrite massive, (2) une zone de pyrite laminée avec amas étirés de pyrite massive, (3) une zone de pyrite laminée et d'amas massifs et (4) une zone de quartz blanc avec fragments de roche encaissante altérés et bréchifiés par des injections de quartz. Remarquez la schistosité bien développée dans l'éponte au toit de la veine. c) Fragments de dyke aplitique altérés en séricite au toit de la veine principale. Observez les veinules de carbonates qui recoupent la veine et les fragments de dyke. d) Infiltration des sulfures dans un quartz bréchifié formant un agencement anastomosé.

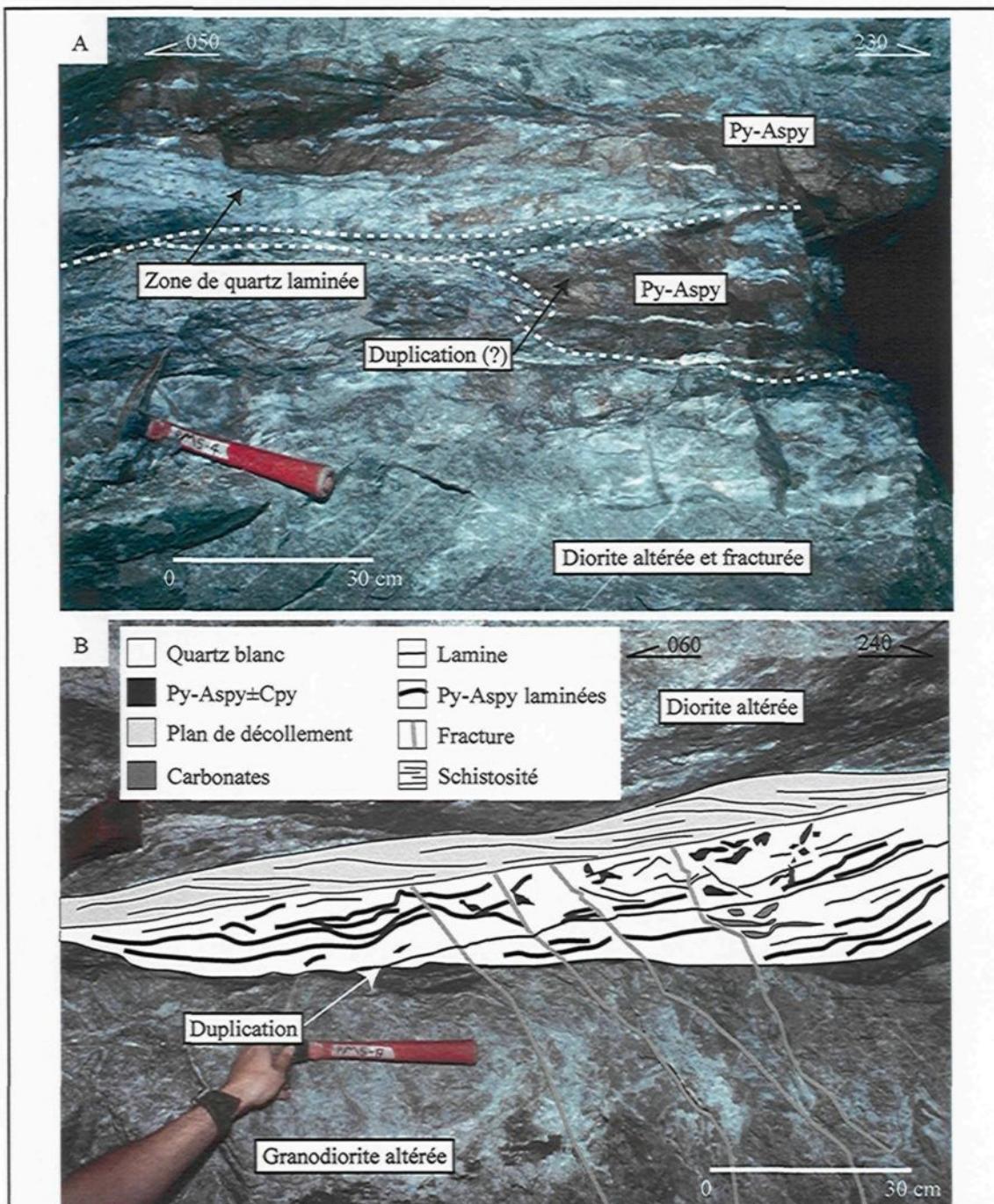


Figure 2.35 - Site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. a) Veine composite (?) ou dupliquée avec une bande massive de Py-Aspy±Cpy au toit et au plancher de la veine et une zone laminée au centre. b) Veine principale avec alternance de rubans de quartz laminé et des lames de sulfures. La veine montre des phénomènes de duplication. Observez les fractures transversales qui recoupent les lames de sulfures et les lames de roche encaissante altérée. Le plan de décollement est situé au toit de la veine avec développement d'une schistosité plus ou moins parallèle à la veine.

du plan de fracturation initiale  $S_0$  mais sans le développement de la veine. Lorsque la structure principale se développe sans la veine, la densité de fractures est plus importante à l'intérieur de cette structure et aux pourtours de celle-ci que dans la roche encaissante avoisinante. Cette structure altérée se situe entre deux vecteurs minéralisés et coïncide avec un dyke de granodiorite.

Comme le quartz injecté dans les zones de brèches, des veines de quartz blanc ± carbonates recoupent et bréchifient les sulfures massifs présents (Figure 2.34a) montrant le caractère tardif de ces injections. Dans certains cas, lorsque la veine a une épaisseur supérieure à 1 mètre (Figure 2.34b), une zonalité peut être décrite. Dans cet exemple, 4 zones distinctes sont observées: une zone avec amas de sulfures massifs allongés (1), une zone de sulfures laminés avec amas massifs allongés (2), une zone de quartz laminée avec amas de sulfures massifs (3) et une zone avec des fragments d'éponte altérées et bréchifiées (4). Toutefois, cette zonalité est locale et n'est pas systématique.

Les zones de bréchification (incluant les zones de *stockwerk*; figure 2.32k) sont observées le plus souvent au plancher de la veine mais peuvent également s'observer, localement au toit. Les fragments sont centimétriques à métriques et forment des motifs caractéristiques en « casse-tête » (Figure 2.32). Les fragments d'éponges altérés et incorporés dans la veine peuvent également être bréchifiés et former un agencement en « casse-tête ». Aucune schistosité n'est observée dans les fragments de roche encaissante altérés et incorporés dans la veine tandis que localement, une schistosité peut se développer dans les éponges et plus souvent au toit de la veine (Figures 2.34b et 2.35b).

Généralement les sulfures s'observent en lames d'épaisseur millimétriques à centimétriques, en amas massifs et/ou semi-massifs et disséminés. Localement, les sulfures s'injectent dans une partie de la veine où le quartz est déjà bréchifié. Ainsi, les sulfures s'infiltrent dans les fractures engendrées par cette bréchification et forment un agencement anastomosé (Figure 2.34d). Cette morphologie pourrait également

s'expliquer par une remobilisation mécanique des sulfures lors des épisodes de déformation.

La localisation de la veine peut être contrôlée par la présence de contacts lithologiques dans la roche encaissante (Figure 2.37b). Sur cette figure, la veine laminée et la bordure d'altération visible recoupent le dyke de granodiorite. Par contre, une partie de la veine est localisée au contact du dyke et de la roche encaissante et se poursuit vers le toit de la galerie. Des veines secondaires se ramifient à la veine principale et ces veines montrent des relais le long de fractures obliques (Figures 2.32t et 2.37a), à l'image des relais observés sur la structure principale.

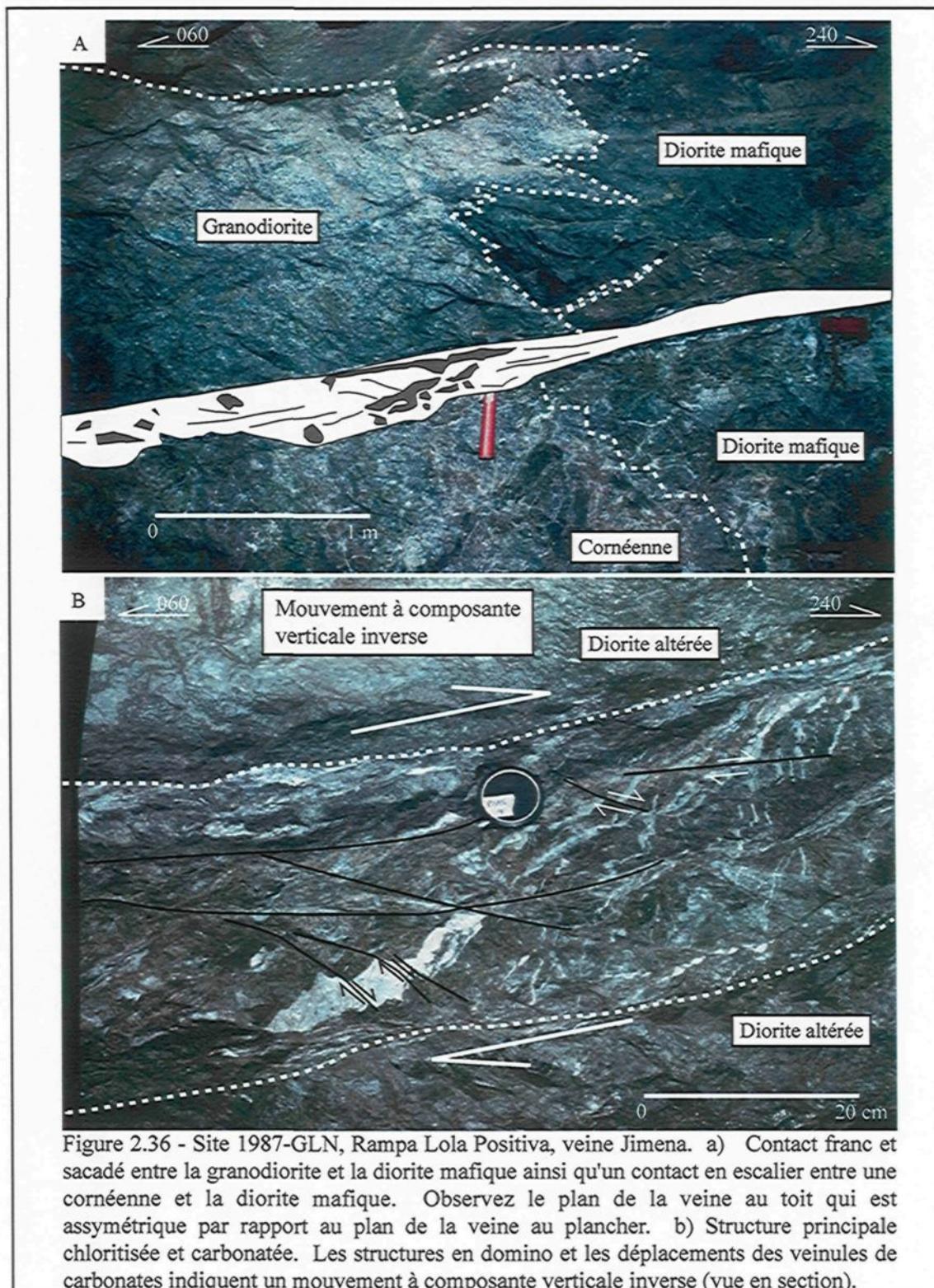
#### 2.9.4 - Structures

La zone d'altération est localement structurée (Figure 2.36b) et fortement altérée. Les nombreux déplacements des veines de quartz, des veinules de carbonates ainsi que les structures en domino indiquent un mouvement avec composante verticale inverse.

Les plans de décollement avec remplissage de boue de faille (gauge) peuvent atteindre une épaisseur de 20 centimètres en certains endroits (Figure 2.35b) et se retrouvent habituellement au toit et plus rarement au plancher de la veine (Figure 2.32) ou de la structure principale. D'autres surfaces de glissement sont reconnues sur le site, de moindre envergure et forment localement des motifs anastomosés (Figure 2.32s). L'attitude moyenne des plans de décollement sur ce site est de  $315^{\circ}/08^{\circ}$  (figure 2.38d) soit une attitude sub-parallèle à la veine principale.

#### 2.9.5 - Altération

L'altération de la roche encaissante varie en fonction de la lithologie encaissante. Dans la diorite, la zone d'altération est composée en majorité de séricite accompagnée de chlorite donnant une couleur gris-verdâtre à la roche (Figure 2.37a). Pour la granodiorite, l'altération est composée de quartz et de séricite accompagné de



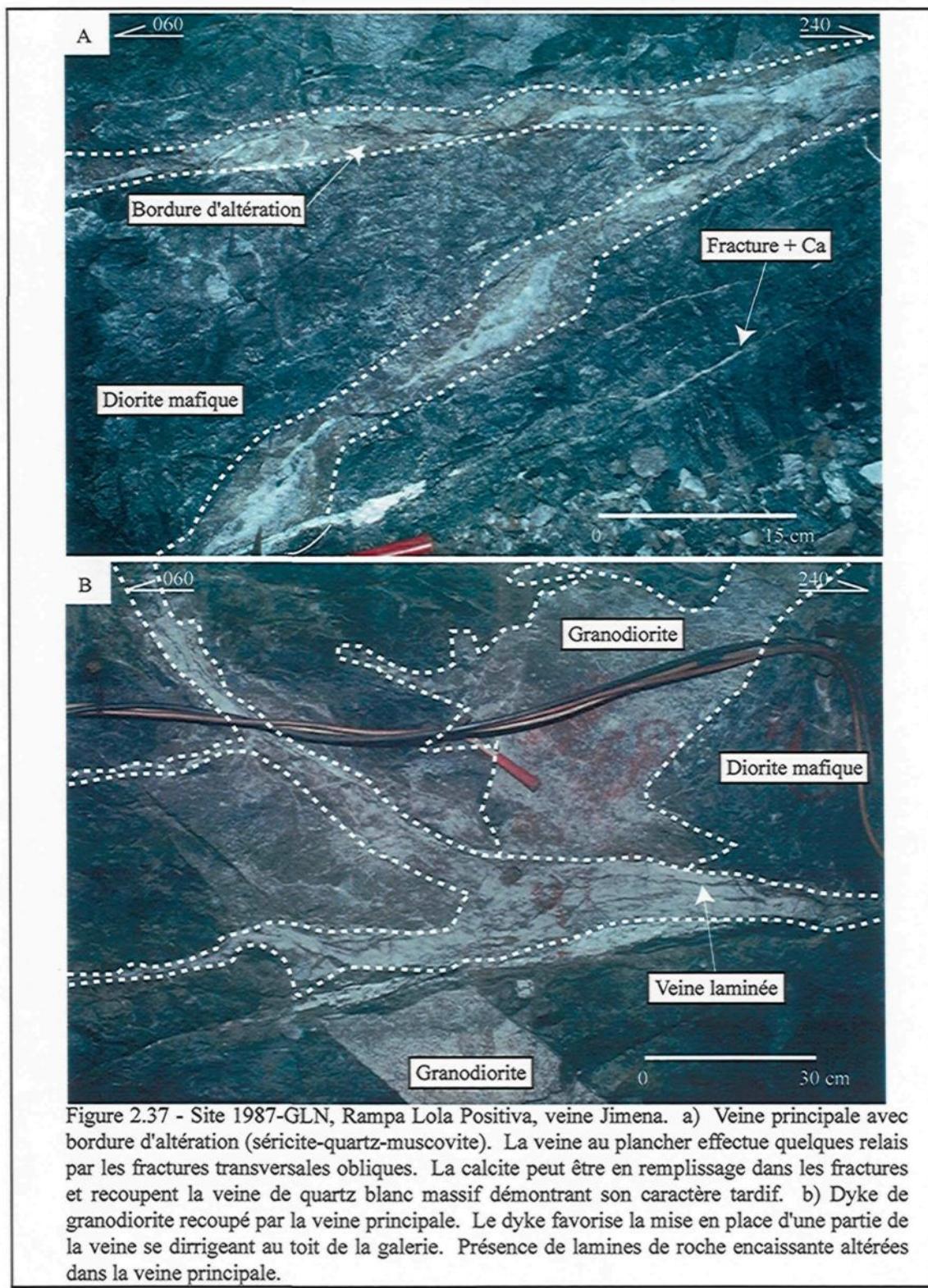


Figure 2.37 - Site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. a) Veine principale avec bordure d'altération (séricite-quartz-muscovite). La veine au plancher effectue quelques relais par les fractures transversales obliques. La calcite peut être en remplissage dans les fractures et recoupe la veine de quartz blanc massif démontrant son caractère tardif. b) Dyke de granodiorite recoupé par la veine principale. Le dyke favorise la mise en place d'une partie de la veine se dirigeant au toit de la galerie. Présence de lames de roche encaissante altérées dans la veine principale.

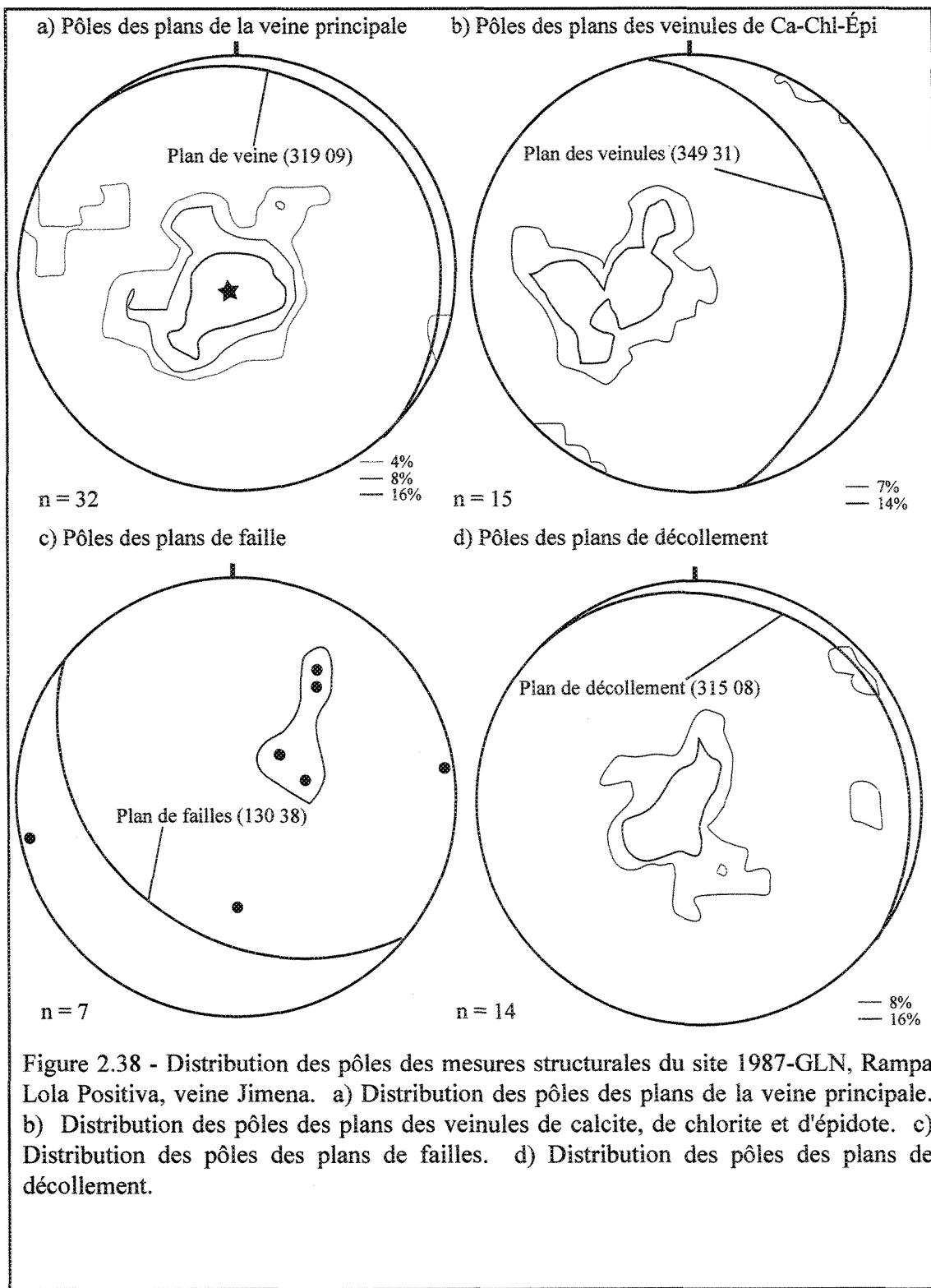


Figure 2.38 - Distribution des pôles des mesures structurales du site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. a) Distribution des pôles des plans de la veine principale. b) Distribution des pôles des plans des veinules de calcite, de chlorite et d'épidote. c) Distribution des pôles des plans de failles. d) Distribution des pôles des plans de décollement.

pyrite et de carbonates. Les dykes aplitiques sont altérés surtout en séricite et les cornéennes sont fortement séricitisées et pyritisées. L'étendue de la zone d'altération aux pourtours de la veine varie de 10 centimètres à plus de 1 mètre. L'altération en bordure des fractures sur ce site est de la même composition que l'altération aux pourtours de la veine.

#### 2.9.6 - Sommaire

Les éléments suivants sont retenus pour le site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva :

- La veine se caractérise par des épaisseurs variables pouvant atteindre localement 2 m puis disparaissant pour ne laisser que la structure principale altérée.
- La veine change de plan de fracture à la faveur de relais et de ponts. Ces structures favorisent la fermeture de la veine sur un plan de fracture et l'ouverture d'une autre veine sur un autre plan de fracture parallèle.
- Les zones de brèche sont présentes le plus souvent au plancher de la veine et localement au toit.
- La veine montre des lamines ou des fragments de roche encaissante incorporés et isolés dans la veine ainsi que des texture en peigne. Les fragments d'éponte au sein de la veine peuvent être à leur tour bréchifiés. Ces textures indiquent un remplissage d'espaces ouverts par des épisodes multiples.
- Aucune évidence de déformation ne fût observée à l'intérieur des fragments isolés dans la veine ou dans les zones de brèches, contrairement à une schistosité locale bien développée dans les épontes et située généralement au toit de la veine.
- Les plans de décollement avec remplissage de boue de faille sont concentrés au toit de la veine.

- Les veines occupent communément des contacts lithologiques, soit en bordure de dykes d'aplite ou des contacts entre la diorite et des dykes de granodiorite.
- Les sulfures se mettent en place dans les espaces libres laissés par la cristallisation du quartz et peuvent être bréchifiés par des injections de quartz blanc tardives.
- La zonalité locale de la veine montre que sur une même section, les faciès varient à l'intérieur de la veine donnant des textures différentes dans chaque incrément d'ouverture.
- Le développement d'une structure altérée sans veine est situé entre deux vecteurs minéralisés et correspond avec une lithologie précise, soit la granodiorite. De plus, la densité de fractures est plus importante dans cette structure altérée et aux pourtours de celle-ci que dans la roche encaissante aux pourtours des veines.

## 2.10 – Site 1950-GLN, tajo 7977, Veine Jimena

### 2.10.1 - Localisation

Le site 1950-GLN, tajo 7977 est accessible par la Rampa Lola Negativa (Figure 2.24). Les cartographies sont situées dans la partie sud centrale du vecteur minéralisé de la veine. L'exploitation de ce niveau est très avancée et les seules expositions de la veine au moment de l'étude étaient des piliers représentants des vues en section. Ce site montre plusieurs textures de remplissage de la veine principale et des veines secondaires qui permettront de contraindre la formation de la veine. Six piliers furent cartographiés et seront décrits dans cette section (Figure 2.39). Cette portion de la veine est très peu déformée mais un pilier cartographié montre les effets du cisaillement sur le plan de la veine. Au total, 12 mètres de la galerie furent cartographiés.

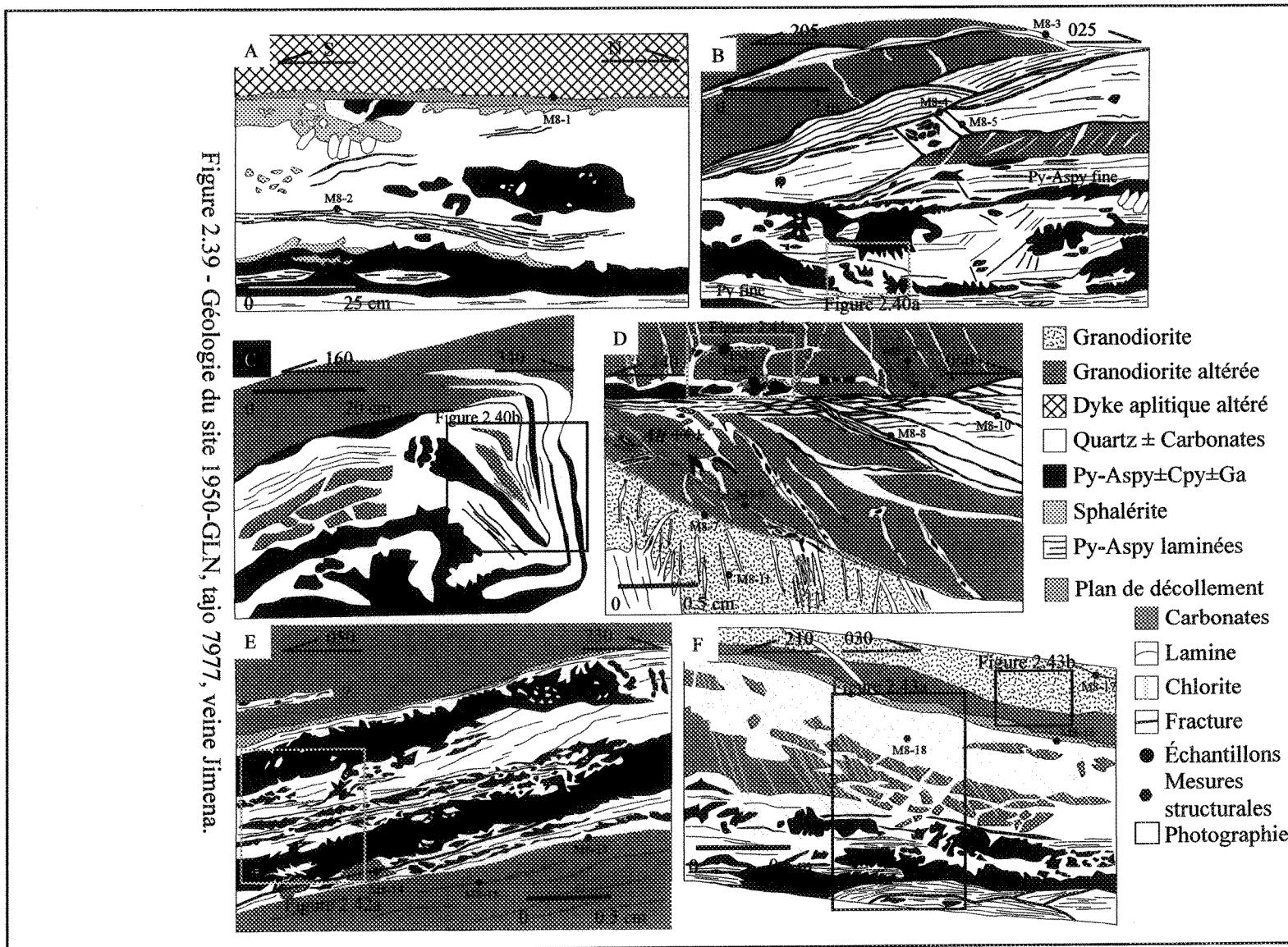
### 2.10.2 – Lithologie

Le niveau d'exposition de la roche encaissante sur ce site est très faible, le toit et le plancher de la veine représentant souvent le chantier complet. Trois lithologies furent néanmoins identifiées. Les deux composantes principales sont la diorite (Figure 2.41c) et la granodiorite. La roche encaissante est localement injectée par des veinules de quartz blanc avec sulfures, formant ainsi des zones de *stockwerk* ou de brèches (Figure 2.39d). Un dyke d'aplite fut également observé au toit de la veine (Figure 2.39a).

### 2.10.3 – Veine

L'orientation moyenne de la veine principale est de  $334^{\circ}/21^{\circ}$  avec un pendage vers le NE (Figure 2.44a) avec des variations allant de  $315^{\circ}/24^{\circ}$  à  $080^{\circ}/05^{\circ}$ . Les teneurs en or varient de 20 g/t à 63 g/t Au. L'épaisseur minimale de la veine est de 15 centimètres et l'épaisseur maximale visible est plus de 2 mètre. Elle se compose de 40 à 70% de quartz, de traces carbonates, de 10 à 45% de sulfures (75% pyrite, 12% arsénopyrite, 2-10% sphalérite, traces à 1% galène et traces de chalcopyrite) et de 15 à 20% fragments d'éponte altérés et incorporés dans la veine (Tableau 2.10.1).

De nombreuses textures de remplissage d'espaces ouverts sont observées sur ce site : des cristaux de quartz idiomorphes, des textures en peignes (Figures 2.39a) et des textures incrustantes (Figures 2.41a et b). Localement, les cristaux de quartz idiomorphes sont visibles grâce à l'infiltration des sulfures aux contacts de ces cristaux (Figure 2.41b). Ces cristaux de quartz au sein de la veine peuvent indiquer plusieurs vecteurs d'ouverture (Figure 2.40a). Des laminés millimétriques ou des fragments de roche encaissante altérées en séricite-chlorite et incorporées dans la veine sont communément observées (Figures 2.39b, f et 2.40b). Ces fragments peuvent être parfois bréchifiés et montrent souvent un agencement en « casse-tête ». Un fait notable est l'absence de schistosité et des textures magmatiques bien préservées à l'intérieur de ces fragments. Par contre, localement une faible schistosité peut se développer au toit de la veine (Figure 2.43a).



Les figures 2.40a et b sont de bons exemples montrant plusieurs séquences d'ouverture-remplissage au sein de la veine. Les injections de quartz blanc laminé au plancher de la veine à la figure 2.43a représentent bien différentes séquences d'ouverture-remplissage en recouplant la veine au toit et les sulfures, montrant leur caractère tardif par rapport à la mise en place des sulfures.

Généralement les sulfures s'observent aux contacts des cristaux de quartz dans la veine montrant ainsi des vecteurs d'ouverture soit perpendiculaires au plan de fracturation  $S_0$  (Figure 2.43a, flèche blanche au plancher de la veine) ou dans des directions aléatoires (Figure 2.40a). Les lamines de Py-Aspy à granulométrie fine observées dans la veine montrent localement un motif anastomosé (Figure 2.39d). Les sulfures peuvent se présenter en rubans massifs disposés de manière symétrique en alternance avec des rubans de quartz (Figure 2.39e). Dans certains cas, la sphalérite se trouve au contact d'amas de pyrite-arsénopyrite massifs formant des textures incrustantes (Figures 2.41a et b) Sur cette figure, la sphalérite permet de définir les cristaux de quartz idiomorphes (texture en peigne) dans une zone relativement déformée.

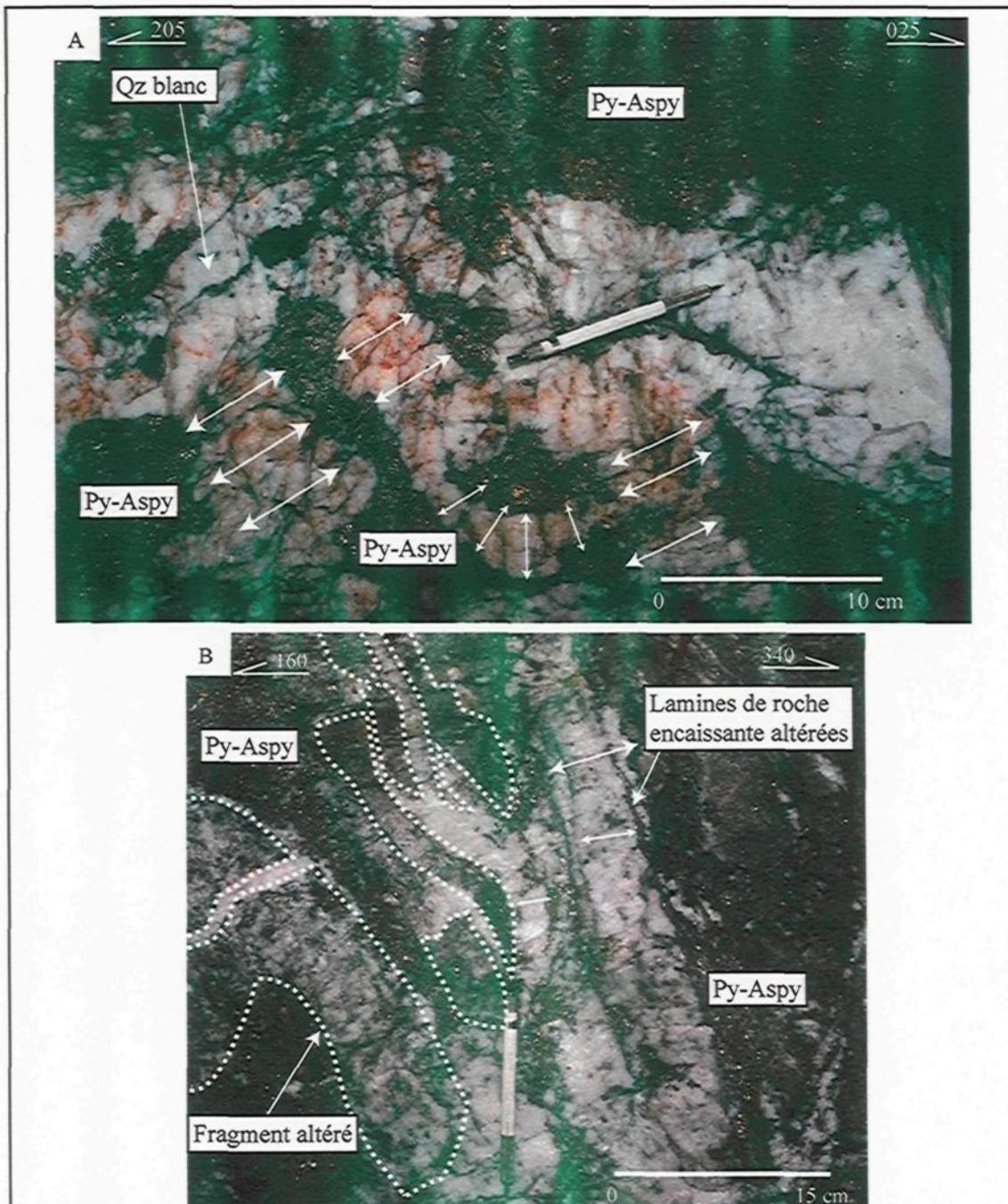
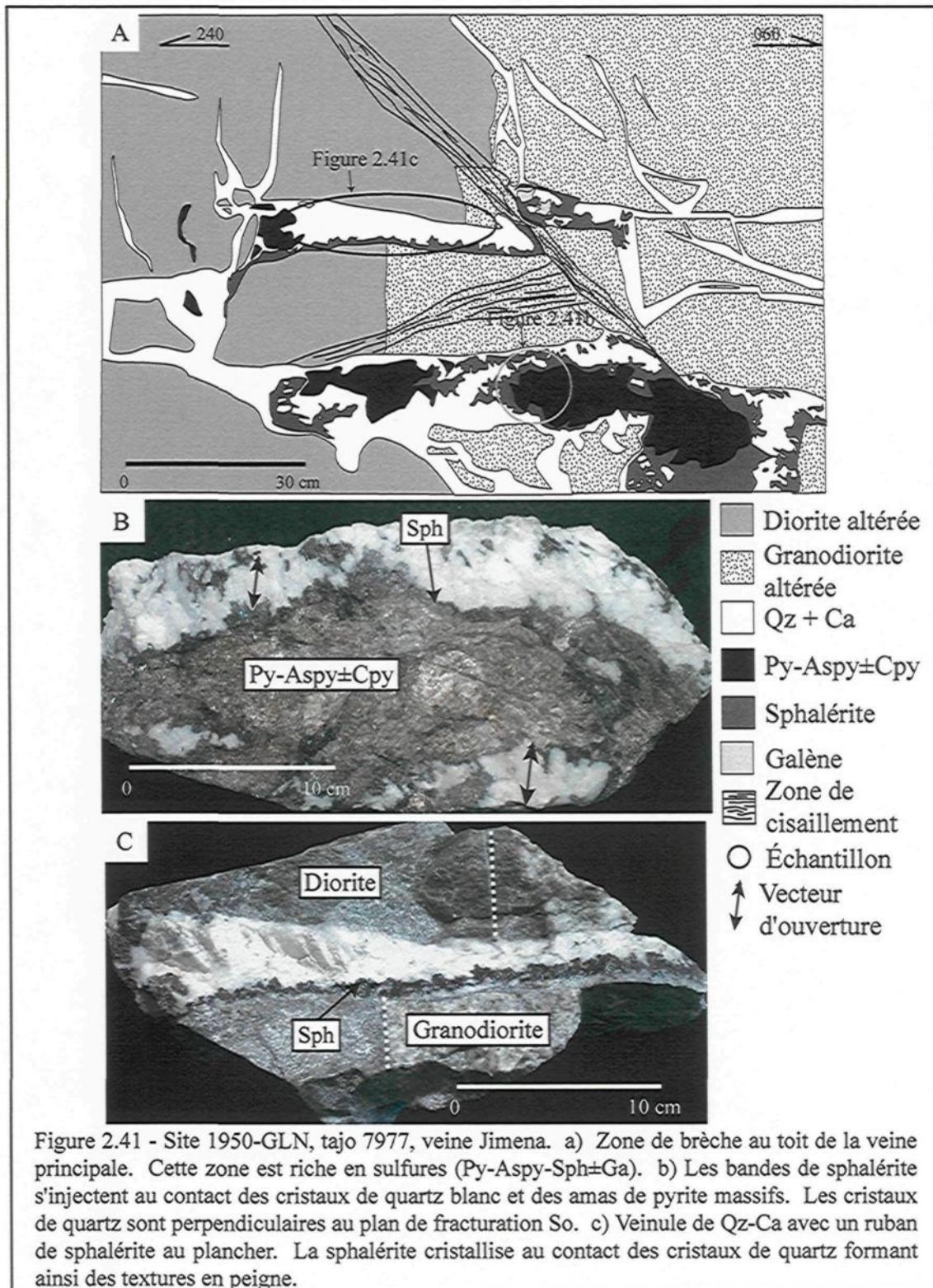


Figure 2.40 - Site 1950-GLN, tajo 7977, veine Jimena. a) Les amas massifs de Py-Aspy s'observent en bordures des cristaux de quartz. b) Veine de quartz blanc dans une zone d'incorporation de fragment ou de brèche. Les lamines de roche encaissante altérées indiquent différentes épisodes d'ouverture et de remplissage par le quartz (flèche blanche). Les fragments de roche encaissante altérés sont bréchifiés et montrent différents degrés d'altération. La couleur verdâtre sur les deux photos est un artefact.



Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$			
	$334^\circ/21^\circ$		$315^\circ/24^\circ$ à $080^\circ/05^\circ$		$1\ m$		$Visible > 2m$		-			
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse							
	40-70%	tr	10-45%	15-20%	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy			
	Sulfures			Veine			Déformation					
Textures et structures	<i>Py + Aspy ± Cpy: lamination à Ø fine et continues<sup>1</sup></i>			<i>Quartz blanc laminé (veine principale, zone de stockwerk et brèche)<sup>4</sup></i>								
	<i>Amas massifs cm à dm ± allongés</i>			<i>Quartz blanc ± massif<sup>5</sup></i>								
	<i>Rubans massifs cm à dm<sup>2</sup></i>			<i>Texture en peigne<sup>6</sup></i>								
	<i>Sph : Incrustation de bandes de Sph au contact d'amas Py-Aspy massive<sup>3</sup></i>			<i>Quartz laminé</i>								
	<i>Ga : Amas massifs cm Py, Ga ou Sph disséminée</i>											
Altération visible	Dimension				Minéralogie							
	$> 20\ cm$				<i>Sér + Qz ± Ca ± Py ± Chl</i>							

TABLEAU 2.10.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 1950-GLN, TAJO 7977.

#### 2.10.4 - Structure

L'état des connaissances ne permet pas de déterminer si le site présente un haut degré de fracturation, le toit de la galerie représentant souvent le toit de la veine. Les fractures observables sont rectilignes, discontinues et contenant communément du matériel de remplissage (Qz, Ca et Chl). Les veinules de chlorite (Figure 2.39f) montrent un caractère plus tardif recoupant la veine principale et s'arrêtant au toit de celle-ci.

<sup>1</sup> Figure 2.39

<sup>2</sup> Figures 2.39, 2.42a et 2.43a

<sup>3</sup> Figure 2.41a et b

<sup>4</sup> Figures 2.39, 2.40b, 2.42a et b

<sup>5</sup> Figure 2.43a

<sup>6</sup> Figures 2.41

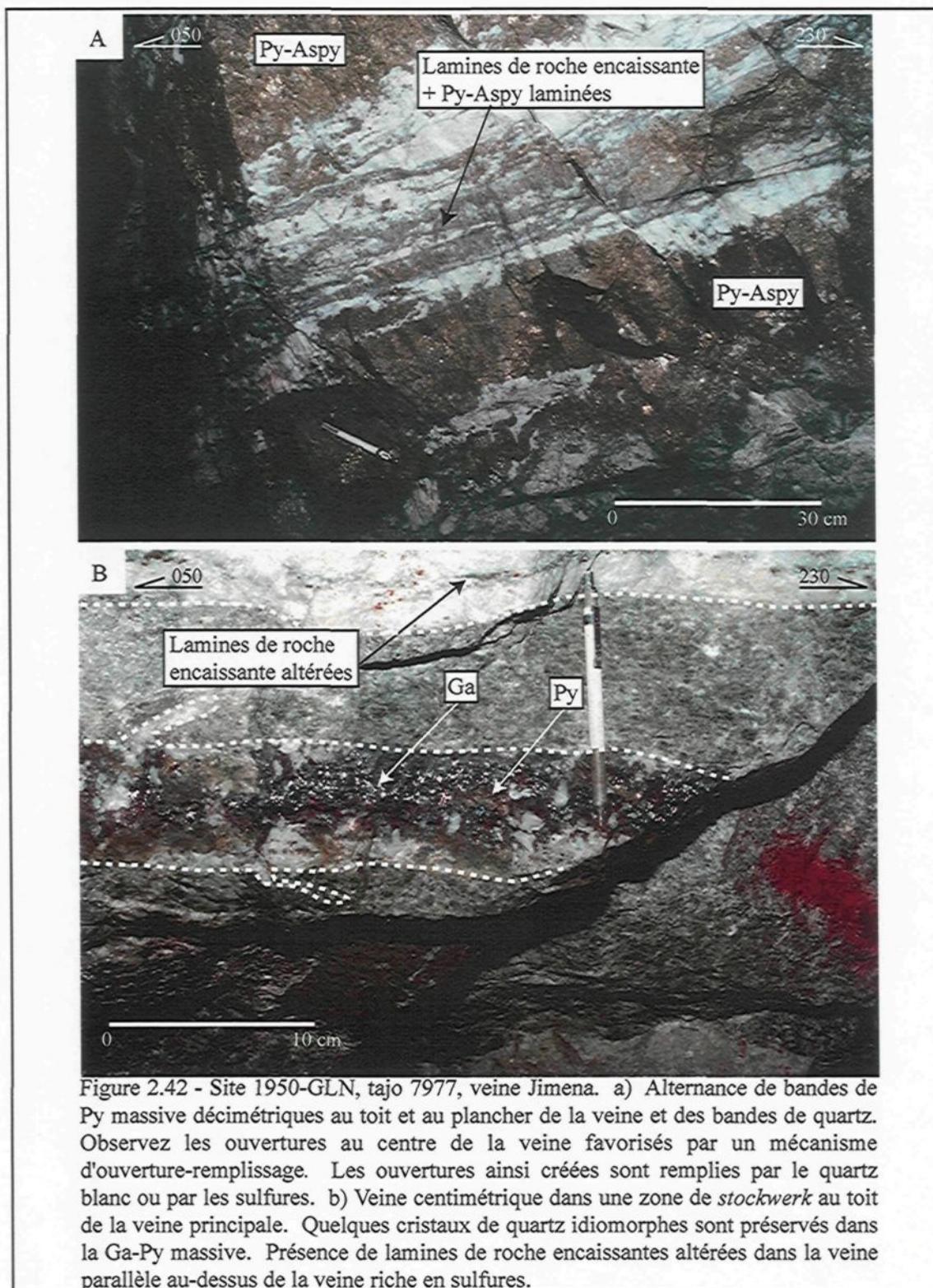
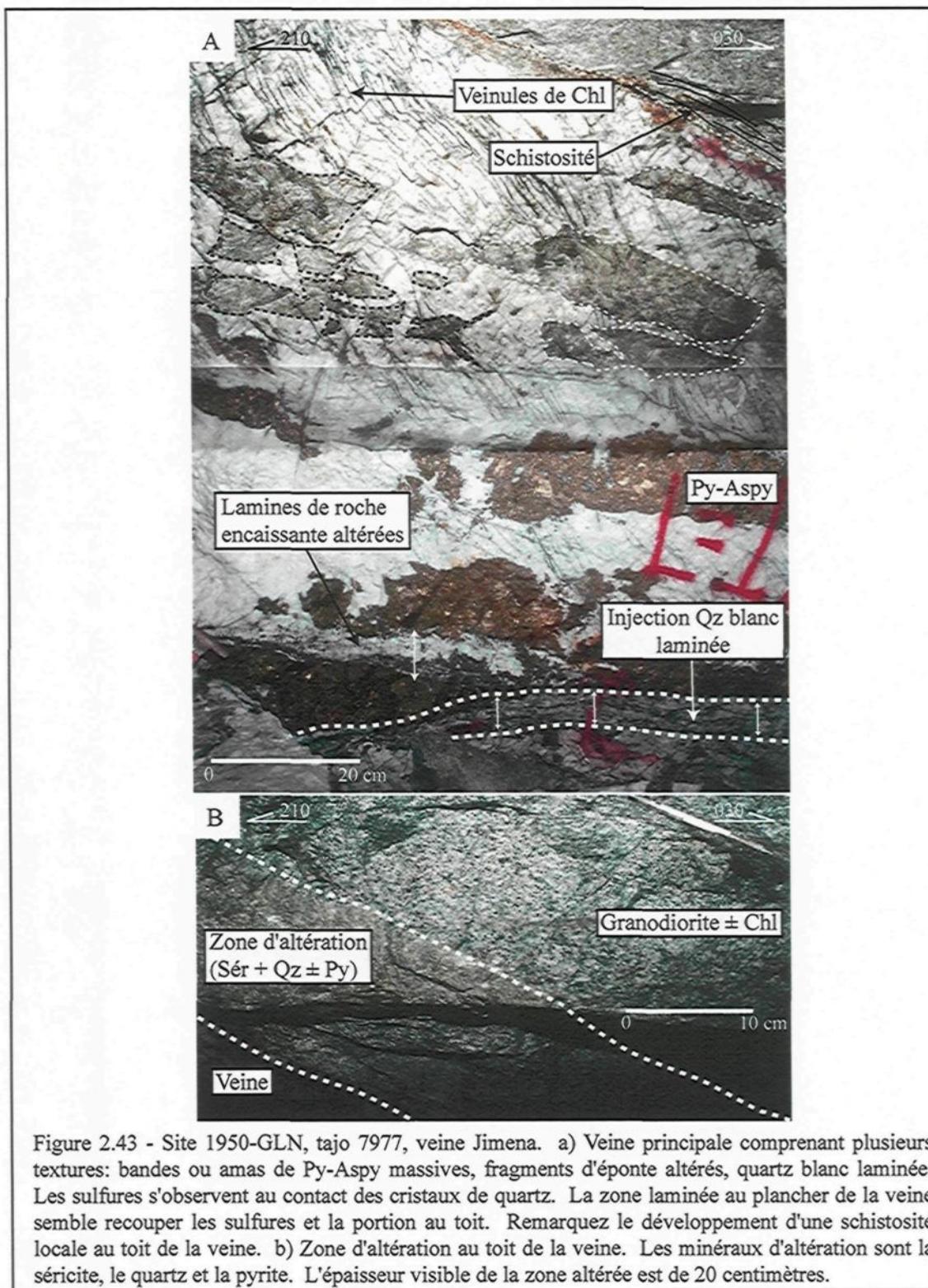


Figure 2.42 - Site 1950-GLN, tajo 7977, veine Jimena. a) Alternance de bandes de Py massive décimétriques au toit et au plancher de la veine et des bandes de quartz. Observez les ouvertures au centre de la veine favorisés par un mécanisme d'ouverture-remplissage. Les ouvertures ainsi créées sont remplies par le quartz blanc ou par les sulfures. b) Veine centimétrique dans une zone de stockwerk au toit de la veine principale. Quelques cristaux de quartz idiomorphes sont préservés dans la Ga-Py massive. Présence de laminas de roche encaissantes altérées dans la veine parallèle au-dessus de la veine riche en sulfures.



Puisque le toit et le plancher de la veine représente celui de la galerie, il est impossible de déterminer si les plans de décollement sont présents plus souvent au toit qu'au plancher de la veine. Ces plans sont matérialisés par une zone de boue de faille, composée de matériel mal structuré comme la séricite, le quartz, la pyrite. L'épaisseur de cette zone varie de 1 à 3 centimètres avec un contact franc et ondulant. L'attitude moyenne des plans de décollement sur le site 1950-GLN, tajo7977 est de 328°/28° avec un pendage vers le NE (Figure 2.44c), soit une attitude sub-parallèle à la veine principale.

#### 2.10.5 - Altération

L'altération de la roche encaissante est fonction de la lithologie présente. Lorsque la roche encaissante est de la granodiorite, les principaux minéraux d'altération sont la séricite et le quartz accompagnés localement de pyrite, de chlorite et de carbonates. Lorsque la roche encaissante est de la diorite, les minéraux de remplacement sont la chlorite et la séricite-muscovite accompagnées de carbonates et de pyrite tandis que la roche encaissante est fortement séricitisée et légèrement pyritisée lorsqu'il s'agit d'une phase aplitique. La zone d'altération en bordure de la veine a une épaisseur moyenne, lorsque visible, de 20 centimètres avec un contact franc et régulier (Figure 2.43b).

#### 2.10.6 - Sommaire

Les observations sur ce site démontrent le caractère séquentiel de la formation de la veine et permettent d'énumérer les faits saillants suivants :

- La veine est régulière et continue, composée de bandes de quartz laminé qui s'alternent avec des bandes de sulfures massifs et des zones de sulfures laminés. Parfois les injections de quartz blanc laminées recoupent les sulfures démontrant le caractère tardif de ces injections par rapport aux sulfures en place.

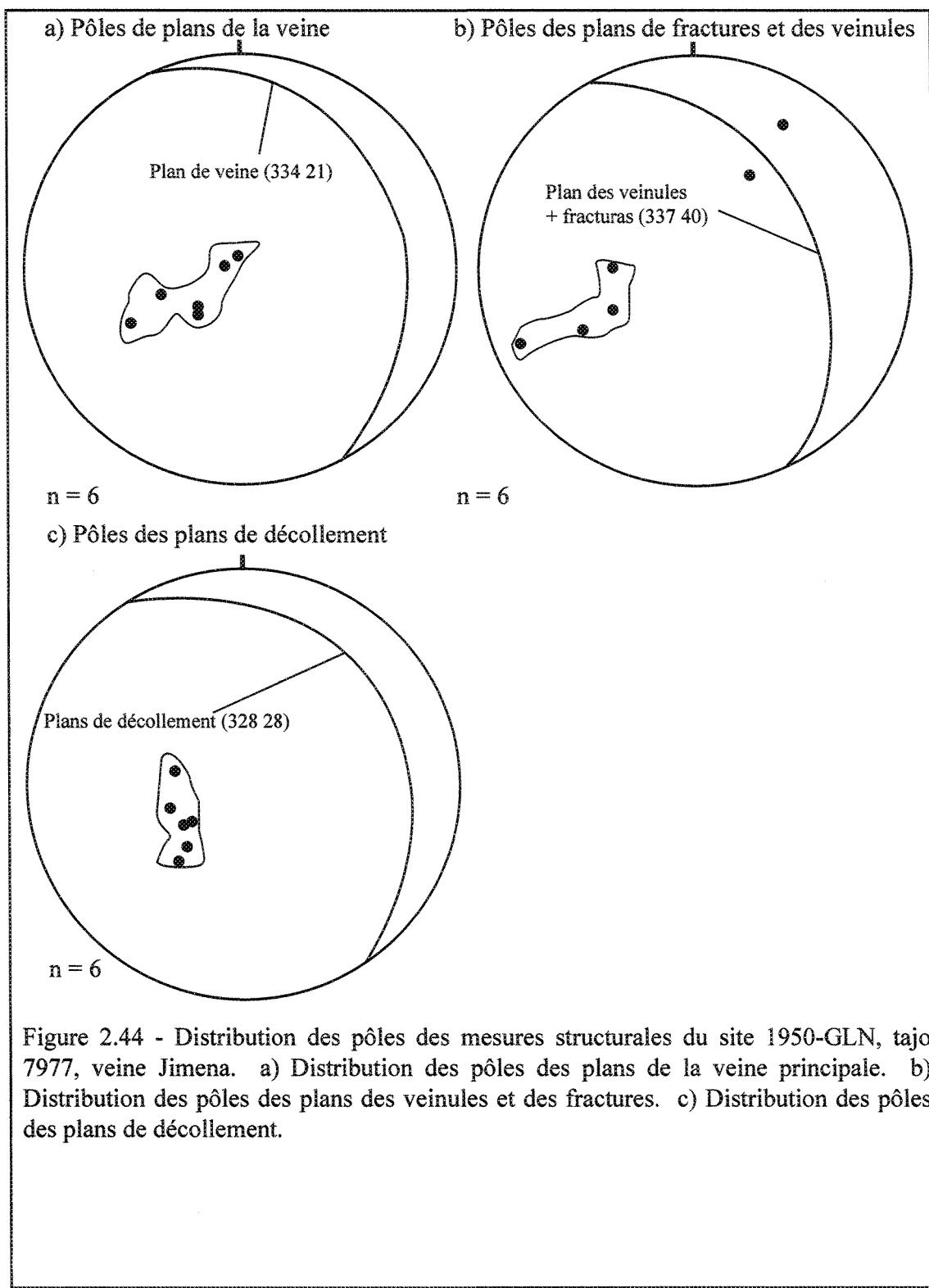


Figure 2.44 - Distribution des pôles des mesures structurales du site 1950-GLN, tajo 7977, veine Jimena. a) Distribution des pôles des plans de la veine principale. b) Distribution des pôles des plans des veinules et des fractures. c) Distribution des pôles des plans de décollement.

- La veine se caractérise par des textures de remplissage d'espaces ouverts : cristaux de quartz idiomorphes, textures en peigne, lamines de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine.
- Le plancher ou le toit de la veine peuvent être constitués d'une zone de brèche ou de *stockwerk* et la roche encaissante est injectée par un réseau de veinules de Qz+Py+Sp produisant localement une texture caractéristique en « casse-tête ». Ces observations démontrent que la veine se développe dans plusieurs fractures qui peuvent être parallèles à la structure principale.
- La conservation des textures primaires dans les zones de brèche situées au toit de la veine dans un secteur où la déformation est relativement importante (Figures 2.39 d et 2.41) suggère un cisaillement tardif sur le plan de la veine.
- Des fragments de roche encaissante altérés incorporés et isolés dans la veine sont souvent bréchifiés produisant ainsi une texture en « casse-tête ». L'absence de schistosité dans ces fragments est un fait notable comparativement au développement local d'une schistosité au toit de la veine.
- Les sulfures se présentent en rubans rectilignes à la base ou au toit de la veine ou en amas irréguliers à travers la veine. Les amas de sulfures semblent remplir des espaces libres entre les cristaux de quartz créant ainsi les textures en peigne.
- L'incrustation des bandes de sphalérite massive sur les bandes de pyrite massive suggère la mise en place de la pyrite-arsénopyrite dans un premier temps et de la sphalérite dans un deuxième temps.

## 2.11 - Site 1950-GLN, Veine Jimena

### 2.11.1 -- Localisation

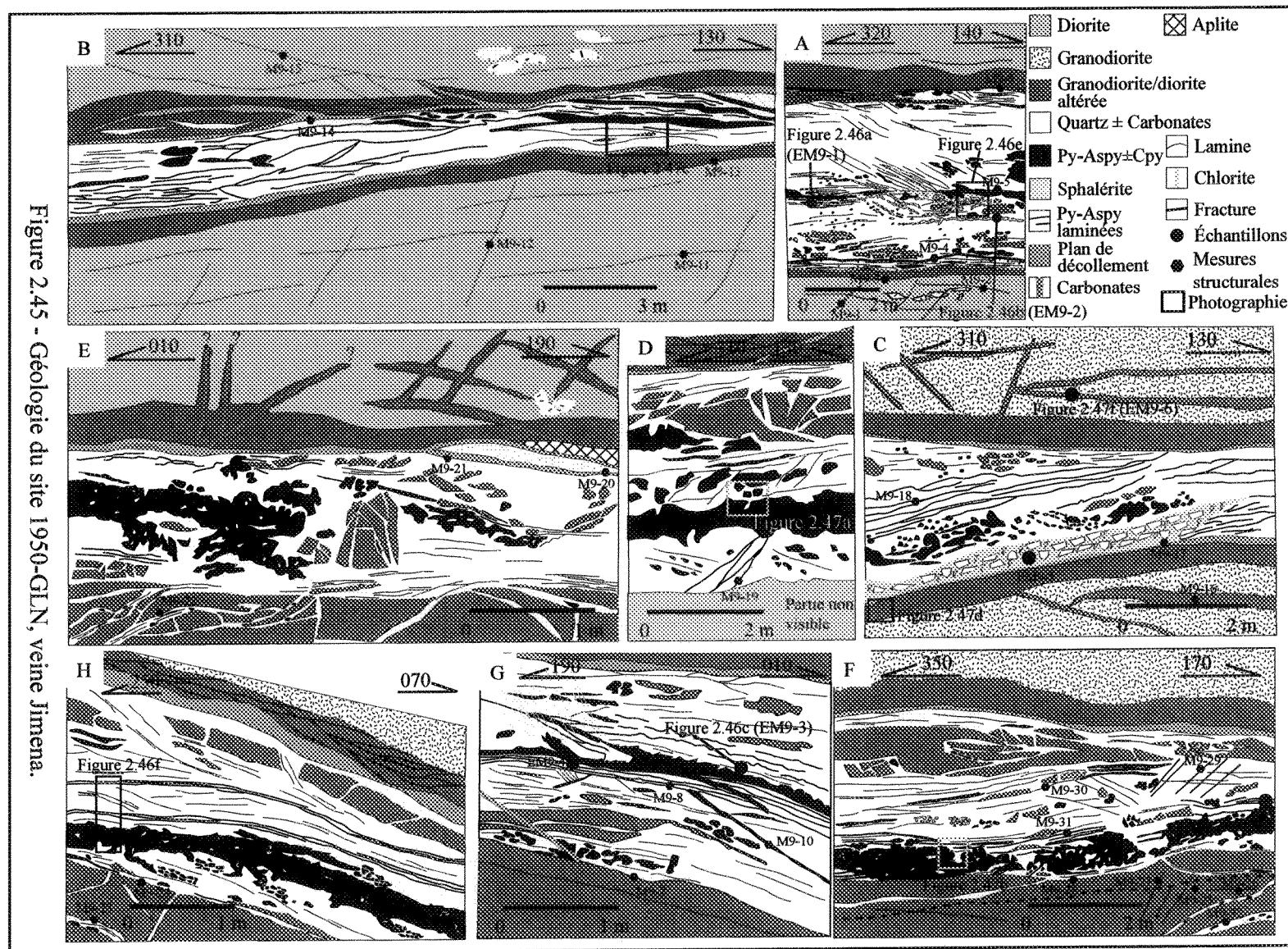
Le site 1950-GLN est accessible par la rampe Lola Negativa, tout comme le site précédent (Figure 2.24). Il est situé dans la partie sud du vecteur minéralisé principale de la veine. Les cartographies traversent le vecteur minéralisé en entier du SE vers le NO. Ce site apporte une contribution sur les différentes textures de remplissage, montrant le caractère séquentiel de la formation de la veine par un processus d'ouverture-remplissage successif. Les cartographies du site 1950-GLN représentent des coupes longitudinales à regard vers le NE (Figures 2.45a à f) et deux sections de la veine situés dans des cheminées perpendiculaire à la galerie (Figures 2.45g et h). Au total, 40 mètres de galerie furent cartographiés.

### 2.11.2 - Lithologie

Quatre lithologies sont reconnues sur ce site. Les deux composantes majeures sont la diorite et la granodiorite. Même lorsqu'elles paraissent fraîches, ces deux lithologies sont faiblement altérées en chlorite et en carbonates (Figure 2.47d). Un lambeau d'un dyke aplitique fut observé au toit de la veine. La continuité de ce dyke n'a pu être déterminée. Par contre, il est parallèle à la veine principale. Quelques enclaves de micro-diorite sont présentes dans la diorite et peuvent être alignées parallèlement au plan de la veine principale (Figure 2.45a). Ces deux dernières lithologies (micro-diorite et dyke aplitique) ne sont présentes que localement.

### 2.11.3 - Veine

L'orientation moyenne de la veine sur ce site est de  $316^{\circ}/23^{\circ}$  avec un pendage vers le NE avec des variations de  $273^{\circ}/27^{\circ}$  à  $010^{\circ}/12^{\circ}$ . Les teneurs en or dans la veine sur ce site varient de 9 g/t à 60 g/t Au. La veine a une épaisseur moyenne de 1.5 mètre. Elle



peut varier de 80 centimètres à une épaisseur maximale de plus de 2.5 mètres. Elle est composée de 65 à 75% de quartz, de traces de carbonates, 10 à 25% de sulfures (75% pyrite, 19% arsénopyrite, 5% sphalérite, traces à 1% galène et traces chalcopyrite) et de 10-15% de fragments de roche encaissant altérés et isolés dans la veine (Tableau 2.10.1).

La veine présente régulièrement des textures de remplissage d'espaces ouverts comme des textures en peigne, des cristaux de quartz idiomorphes (Figure 2.47c) ainsi que des lamines millimétriques de roche encaissante altérées en séricite-chlorite et incorporées dans la veine. Ces lamines sont localement obliques par rapport au plan de la veine se butant parfois sur des plans de glissement (Figures 2.45a et 2.46e) mais généralement, elles sont parallèles au plan de fracturation  $S_0$ . Cette obliquité peut s'expliquer par un vecteur d'ouverture à angle par rapport au plan de la veine principale. D'autres indications permettent de déduire la variation des vecteurs d'ouvertures ailleurs sur le site. Dans certains cas, l'orientation des cristaux de quartz idiomorphes est aléatoire dans la veine laissant voir l'absence de contrôle d'un vecteur d'ouverture défini. (Figure 2.46b). Mais généralement, les portions de la veine montrent des cristaux de quartz unidirectionnels (Figures 2.46c, d et 2.47c).

Les fragments altérés et incorporés dans la veine sont une texture commune à ce site (Figure 2.45). Ils forment communément un agencement caractéristique en « casse-tête ». Une autre texture rencontrée est l'injection de veines de quartz blanc dans la roche encaissante formant une texture bréchique. Ce phénomène s'observe au plancher de la veine (Figures 2.45e, f, h et 2.47e). Dans les deux cas, les textures magmatiques sont bien conservées à l'intérieur des fragments. Aucune schistosité n'est observée dans les fragments. Par contre, localement, une schistosité se développe dans les éponges altérées de la veine (Figure 2.47d).

Géométrie	Orientation moyenne		Orientation variable		$E_{moy}$		$E_{max}$		$E_{var}$			
	$316^\circ/23^\circ$		$273^\circ/27^\circ \text{ à } 010^\circ/12^\circ$		$1,5 \text{ m}$		$Visible > 2,5 \text{ m}$		<i>Relativement constante</i>			
Composition	Qz	Ca	SF	Frag	Paragenèse							
	65-75 %	<i>tr</i>	10-25 %	10-15 %	Py	Aspy	Ga	Sp	Cpy			
Textures et structures	Sulfures			Veine			Déformation					
	<i>Py-Aspy laminées</i> <sup>1</sup>											
	<i>Rubans massifs de Py-Aspy-Sph±Ga±Cpy</i> <sup>2</sup>			<i>Quartz laminié</i> <sup>4</sup>								
	<i>Amas massif de Py-Aspy ± allongés</i> <sup>3</sup>			<i>Texture en peigne</i> <sup>5</sup>			<i>Duplication (?)</i> <sup>6</sup>					
Altération visible	Dimension				Minéralogie							
	<i>20 cm et &gt;</i>				<i>Sér + Ca ± Qz ± Py ± Chl</i>							

TABLEAU 2.11.1 – CARACTÉRISTIQUES DE LA VEINE JIMENA, SITE 1950-GLN.

Généralement les sulfures se retrouvent au contact des critaux de quartz (Figures 2.46a b et d). La veine se présente avec des bandes régulières de quartz en alternance avec des bandes régulières de sulfures comme illustré à la Figure 2.46d. Les sulfures (Aspy-Py) peuvent former des lamine rectilignes à granulométrie fine, se répétant à intervalle régulier en alternance avec des rubans de quartz (Figure 2.46f).

#### 2.11.4 - Structures

Sur ce site, les fractures ne montrent pas une orientation préférentielle bien qu'une certaine population soit parallèle à la veine (Figure 2.48b). Elles sont rectilignes ou ondulantes,

<sup>1</sup> Figure 2.45h et 2.46f

<sup>2</sup> Figures 2.46c et e, 2.47a

<sup>3</sup> Figures 2.45c, f et 2.47a

<sup>4</sup> Figures 2.45 et 2.47c

<sup>5</sup> Figures 2.46a, 2.46d et 2.47a et c

<sup>6</sup> Figure 2.46e

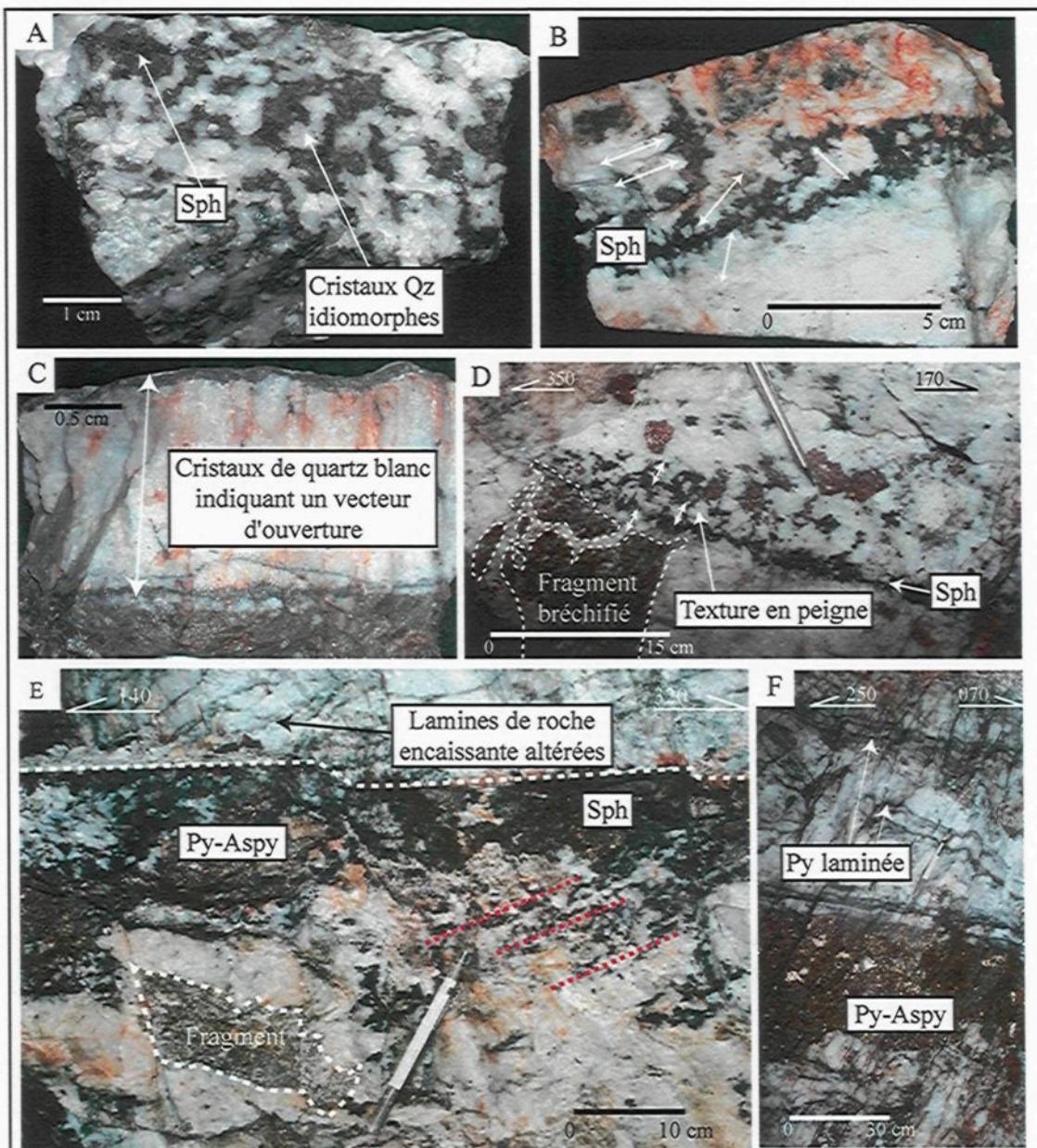


Figure 2.46 - Site 1950-GLN, veine Jimena. a)  $\text{Sph} \pm \text{Py}$  avec cristaux de Qz idiomorphes. Les sulfures se placent aux contacts des cristaux de Qz. b) Injection de Sph dans les ouvertures libres entre les cristaux de Qz. c) Cristaux de Qz indiquant un vecteur d'ouverture entre la zone de Py-Aspy massive et la lamine de Aspy  $\pm$  Py au toit de l'échantillon. d) Qz avec texture en peigne. La Sph s'observe au contact des cristaux de Qz. Les trois flèches blanches représentent trois épisodes d'ouverture-remplissage distinctes. e) Veine composite où les laminas de roche encaissante au toit de la veine sont recoupées par la veine au plancher. Le plan de décollement est représenté par une bande de Sph + Py massive. Observez que la Sph (lignes rouges) a la même orientation que les laminas de roche encaissante altérées au toit de la veine. f) Succession de laminas de Py, continues et rectilignes dans la veine se répétant à intervalle régulier en alternance avec des rubans de Qz.

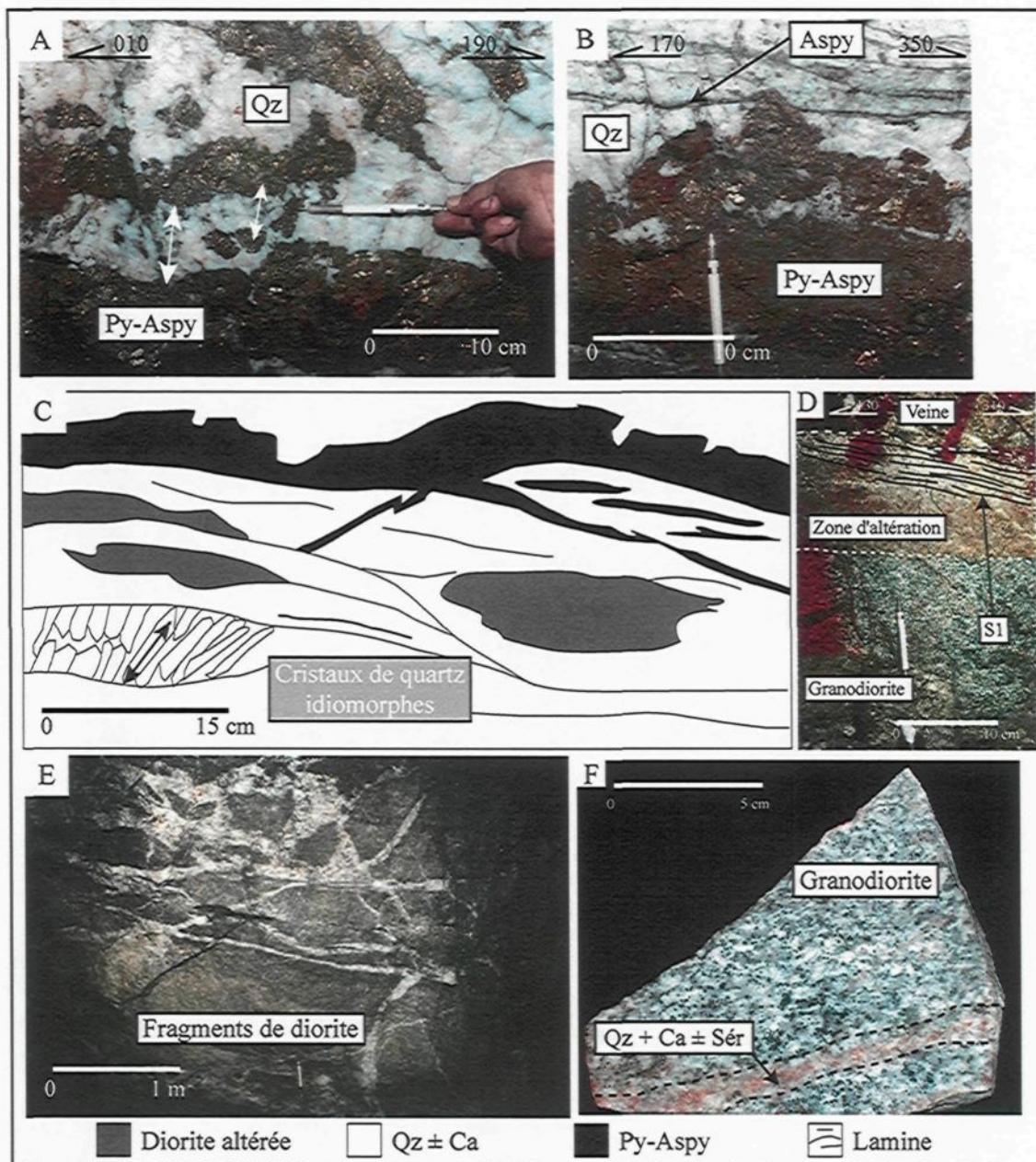


Figure 2.47 - Site 1950-GLN, veine Jimena. a) Alternance de bandes de Qz avec des bandes de Py-Aspy massives. Les sulfures se retrouvent aux contacts des cristaux de Qz. b) Succession de lamination de pyrite. Observez la bande de sulfures massifs qui recoupe la lamine de pyrite. c) Cristaux de Qz idiomorphes au plancher de la veine entre deux lamination de roche encaissante altérée. d) Zone d'altération au plancher de la veine. Près de la veine, l'intensité de cette altération est plus forte et diminue plus on s'éloigne de la veine. Une schistosité se développe en bordure de la veine et parallèle à celle-ci. e) Zone de brèche au plancher de la veine. Fragments de diorite altérés incorporés dans la veine avec localement zone de stockwerk. Observez le motif en "casse-tête" des fragments. f) Fracture dans la granodiorite avec bordure d'altération. Les minéraux de substitutions sont les mêmes que les minéraux d'altération dans la zone altérée aux pourtours de la veine (Qz + Ca ± Sér).

généralement discontinues et accompagnées d'une bordure d'altération d'une épaisseur maximale de 3 centimètres (Figures 2.45c, e et 2.47f). Les minéraux d'altération aux pourtours des fractures sont les carbonates, le quartz accompagné de séricite. Les fractures peuvent se développer selon un agencement anastomosé dans la zone d'altération au toit de la veine principale comme le montre les figures 2.45d et h.

Les plans de décollement peuvent se retrouver au plancher mais plus communément, ils sont au toit de la structure principale, avec des zones ponctuelles fortement oxydées et une schistosité parallèle à l'orientation de la veine. L'épaisseur des zones varient de quelques millimètres à 20 centimètres. Elles sont parallèles à l'orientation de la veine principale (Figure 2.48c) avec un contact franc et ondulant.

#### **2.11.5 - Altération**

La zone d'altération en bordure de la veine est d'une épaisseur maximale, lorsque visible, de 20 centimètres avec un contact franc et ondulant (Figure 2.45). Les minéraux de substitution sont la séricite, le quartz accompagné de carbonates et de pyrite. Localement, les carbonates et la séricite peuvent dominer comme minéraux d'altération (Figure 2.47d). Généralement, cette zone d'altération s'observe autant au toit qu'au plancher de la veine.

#### **2.11.6 - Sommaire**

Le site 1950-GLN permet d'établir les éléments suivants :

- Contrairement à d'autres sites, le changement de lithologie n'affecte pas le développement de la veine dans la structure principale. L'épaisseur demeure relativement constante indépendamment que la veine se retrouve dans la diorite ou dans la granodiorite.

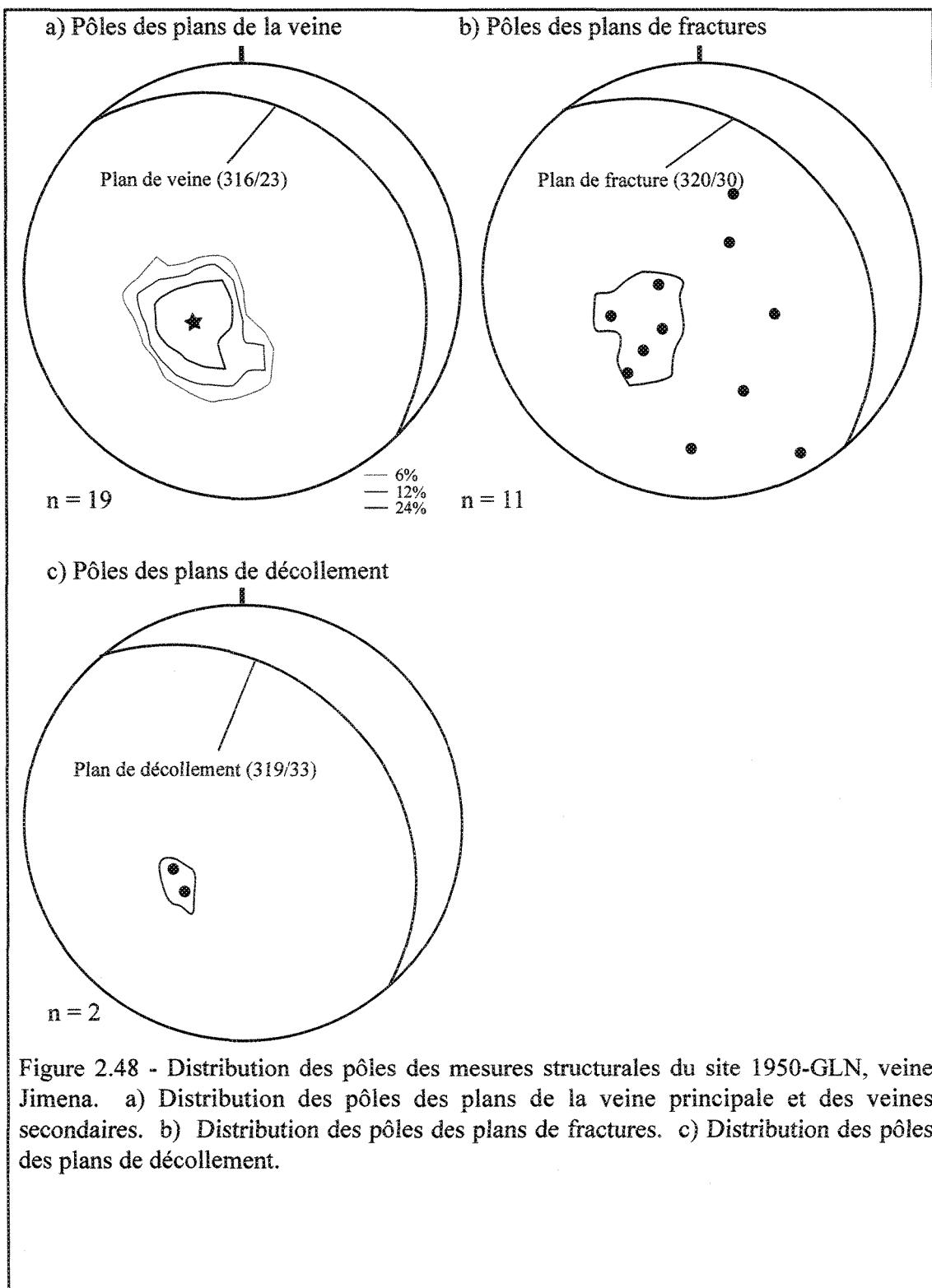


Figure 2.48 - Distribution des pôles des mesures structurales du site 1950-GLN, veine Jimena. a) Distribution des pôles des plans de la veine principale et des veines secondaires. b) Distribution des pôles des plans de fractures. c) Distribution des pôles des plans de décollement.

La présence de plans de glissement avec un agencement anastomosé dans la zone d'altération et de fractures parallèles à la veine dans la roche encaissante suggère que la veine s'est développée le long d'un plan principal.

- L'altération présente aux pourtours de plusieurs fractures indique que les fluides ont circulés dans celles-ci mais seulement quelques unes d'entre elles ont permis le développement d'une veine.
- La veine se caractérise par des textures de remplissage d'espaces ouverts (textures en peigne, cristaux de quartz idiomorphes), des lamines de roche encaissante ainsi que des fragments altérées et incorporées dans la veine.
- L'alternance de rubans réguliers de quartz avec des rubans de sulfures est une autre caractéristique de ce site.
- La direction de croissance des cristaux de quartz suggère une ouverture générale perpendiculaire ou quasi-perpendiculaire au plan de fracturation  $S_0$ , bien que localement, les cristaux de quartz s'organisent de façon aléatoire.
- Les sulfures sont présents dans les espaces libres entre les cristaux de quartz comme le démontre les textures en peigne ou les lamines d'arsénopyrite-pyrite régulières et rectilignes.
- Les zones de brèche s'observent au plancher et plus rarement au toit de la veine.
- Les fragments de roche encaissante altérés dans les zones de brèches et ceux incorporés dans la veine ont préservés des textures magmatiques. Aucune schistosité ne se développe dans les fragments contrairement à une schistosité localement bien développée dans les épontes altérés de la veine.

## CHAPITRE III

### INTERPRÉTATION DES DONNÉES

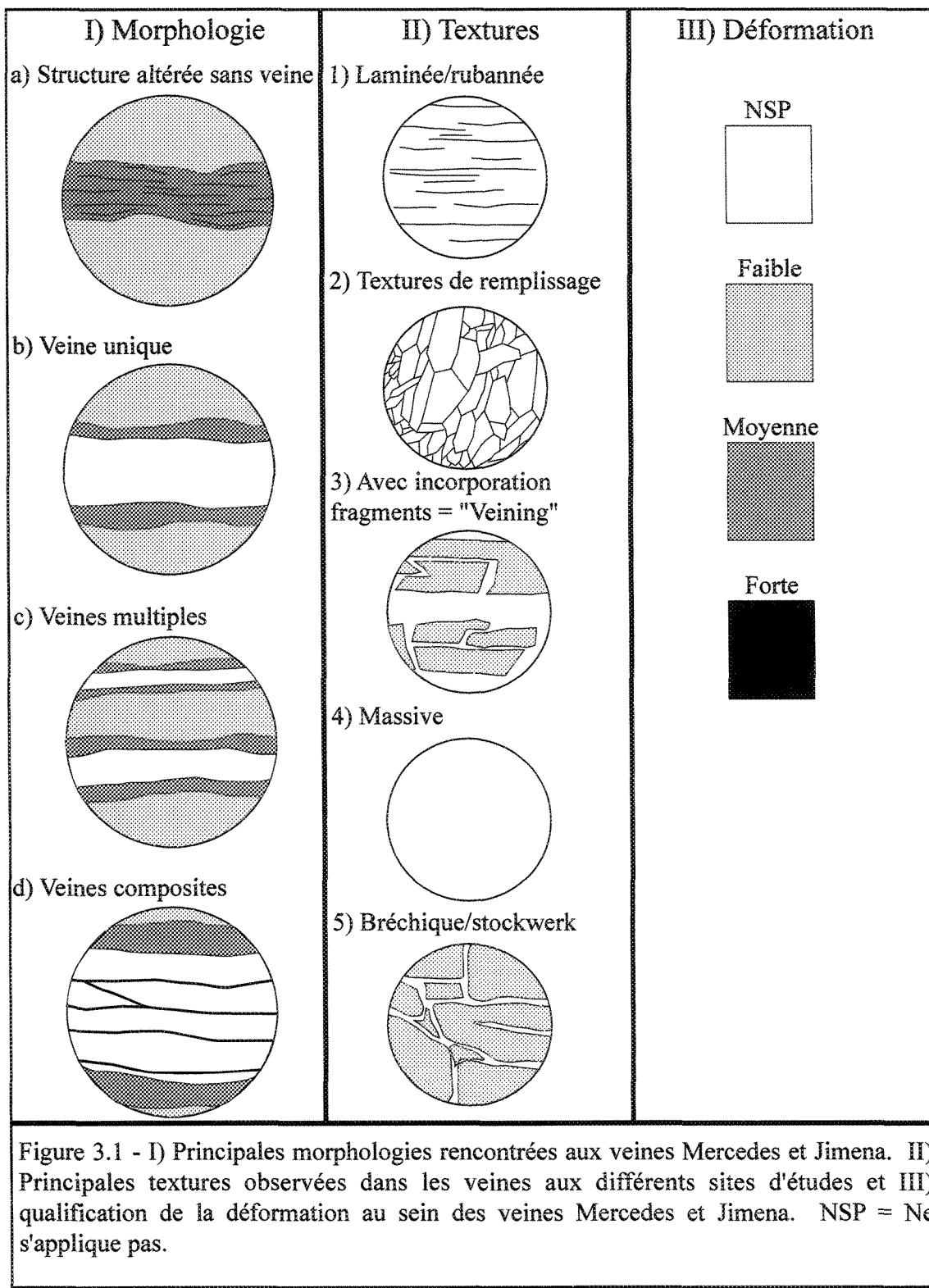
Ce chapitre traitera 1) de la lithologie encaissante des veines, 2) de la géométrie des veines et des différentes familles de fractures ; 3) des paragenèses minérales mettant en relation les minéraux de gangue, d'altération ainsi que les différents sulfures présents dans la veine ; 4) des zones d'altération aux pourtours des veines et dans la structure principale ; 5) de la déformation enregistrée dans la veine et les épontes ; 6) des différentes morphologies et faciès observés dans les veines ; 7) de la relation entre la teneur en Au, le pendage et l'épaisseur des veines et finalement 8) du rôle qu'ont joué les failles dans la formation des veines de Pataz pour terminer avec une comparaison entre les veines Mercedes et Jimena.

#### 3.1 – Paramètres de contrôles des veines Mercedes et Jimena

##### 3.1.1 – Synthèse descriptive des veines Mercedes et Jimena

###### *3.1.1.1 – Morphologie et textures*

Les différentes observations effectuées sur les veines Mercedes et Jimena ont permis de classifier les veines étudiées en quatre (4) morphologies principales (Figure 3.1-I). En plus des quatre morphologies circonscrites, cinq (5) textures dominantes à l'intérieur des veines ont été identifiées (Figure 3.1-II). Une brève description des quatre morphologies et des cinq textures est présentée dans les paragraphes suivants.



### Morphologies principales:

- a) Structure altérée sans développement de veines : zone d'altération continue le long d'un plan principal de fracturation dans la roche encaissante  $\pm$  fracturée  $\pm$  déformée sans veine;
- b) Veine unique : une étape d'ouverture-remplissage dans la veine ;
- c) Veines multiples : développement de plusieurs veines uniques dans des plans de fracturation différents et séparées par des blocs d'épontes de dimensions variables ;
- d) Veines composites : Interconnections de plusieurs veines multiples, formant ainsi une veine unique. Cette veine montre généralement une hétérogénéité au niveau texturale, structurale et/ou paragénétique.

### Textures dominantes :

- 1) Texture laminée et/ou rubanée : Alternance de rubans de quartz et de rubans (ou lamines) de sulfures avec incorporation de lamines discontinues de roche encaissante altérées en séricite-chlorite et d'épaisseur millimétriques ;
- 2) Textures de remplissage d'espaces ouverts : Croissance de cristaux de quartz parallèles ou sub-parallèles entre eux et orientés plus ou moins perpendiculaires aux épontes de la veine (texture en peigne) ou aléatoire (zone de voïde). Définition selon Dong et al., (1995) ;
- 3) Textures avec incorporation de fragments d'éponte altérés (veining) : Veine avec présence de fragments d'éponte altérés et incorporés lors des différents épisodes de formation de la veine. Ces fragments peuvent être re-fragmentés par des injections de quartz conférant aux fragments une morphologie caractéristique en « casse-tête » ;

4) Texture massive : Développement de cristaux de quartz sans texture apparente.

La vitesse d'ouverture du plan de fracture est égale à la vitesse de cristallisation du quartz conférant à la veine un aspect massif. Définition selon Dong et al., (1995) ;

5) Textures bréchique et/ou zone de *stockwerk* : Les épontes de la veine sont injectés de veines de quartz avec une morphologie caractéristique en « casse-tête ». Ces textures sont situées généralement au mur et plus rarement au toit de la veine ou de la structure principale.

Les textures décrites précédemment sont observées aux veines Mercedes et Jimena. Elles sont directement reliées au mode de formation de la veine. La texture laminée est la texture la plus souvent observée. Les lamines (fragments millimétriques de roche encaissante altérées, incorporées et isolées dans la veine) favorisent un mécanisme d'ouverture de type *crack-seal* tel que défini par Ramsay (1980) et Ramsay et Huber (1983). Les fluides hydrothermaux circulant dans le plan de fracture vont détacher et incorporer successivement des morceaux de la roche encaissante à chaque incrément d'ouverture. Ce mécanisme d'ouverture montre bien l'alternance des rubans de quartz laminés avec des rubans ou lamines de sulfures. Les lamines de sulfures et de roche encaissante se développent généralement parallèles au plan de la veine. Mais elles peuvent également être obliques au plan de fracturation principale. Cette obliquité peut s'expliquer par des vecteurs d'ouvertures à angle et non perpendiculaire avec le plan de la veine (Koehn et Passchier, 2000). Cette texture de la veine est alors interprétée comme s'étant formées par un mécanisme de *crack-seal* (Ramsay, 1980).

D'autres textures sont observées aux seins des veines Mercedes et Jimena. Elles sont intrinsèquement reliées au mécanisme de formation *crack-seal* (Ramsay, 1980). Les textures en peigne s'observent régulièrement aux deux veines (*comb texture*). Cette texture renvoie à un groupe de cristaux de quartz parallèles ou sub-parallèles entre eux et orientés plus ou moins perpendiculairement aux épontes de la veine (Dong et al., 1995). Normalement, les grains de quartz sont uniformes et possèdent une terminaison euhédrique. Aux veines Mercedes et Jimena, cette texture du quartz s'observe autant

au niveau macroscopique que microscopique. Les cristaux de quartz sont généralement définis par la mise en place des sulfures aux pourtours des cristaux de quartz. Ces textures impliquent un contrôle directionnel sur l'ouverture du plan de fracturation principal (Vearncombe, 1993).

Une autre texture observée et reliée au mécanisme *crack-seal* sont les cristaux de quartz idiomorphes dans des zones de remplissage d'espace ouvert ou porosité (*voïdes*). L'organisation des cristaux de quartz dans les zones de *voïde* est aléatoire. Cette organisation peut s'expliquer par un espace ouvert non contraint ou par une pression des fluides plus élevée que la pression hydrostatique et la force cohésive de la roche encaissante (Sibson et al., 1975, Sibson, 1987 et Sibson et al., 1988). Contrairement aux textures mentionnées précédemment (laminées, texture en peigne), les zones de *voïde* sont le résultat d'un contrôle non directionnel (Vearncombe, 1993).

Des zones de brèches sont observées au mur et plus rarement au toit de la veine. Elles sont matérialisées par des injections de quartz blanc dans la roche encaissante. Le développement de ces zones de brèche et/ou de *stockwerk* est le résultat d'une augmentation de la pression des fluides. Les brèches sont produites par un mécanisme *in situ* de bréchification assisté par les fluides tel que défini par Jébrak (1997). Un contact progressif entre la zone de brèche et la roche encaissante est souvent observé. Ces brèches semblent précoces dans la formation de la veine. Elles sont ainsi isolées du passage répété des fluides hydrothermaux au mur et/ou au toit de la veine étant donné que la veine s'ouvre généralement par le centre et que les fluides vont circuler par ces ouvertures.

Les fragments de roche encaissante provenant des zones de brèches confèrent à la veine une morphologie en « casse-tête » caractéristiques. L'incorporation des fragments peut s'expliquer par le mécanisme de *crack-seal* (Ramsay, 1980). Les différents épisodes d'ouverture et de remplissage de la veine vont ammener l'isolation de ces fragments. Une observation importante est l'absence de schistosité dans les fragments et une texture magmatique préservée à l'intérieur de ceux-ci. Ce fait démontre que la déformation observée dans les éponges au toit et au mur de la veine est

un phénomène tardif à la formation de la veine, à tout le moins tardif à l'incorporation des fragments dans la veine. Les fragments d'épontes sont communément re-fragmentés par des injections de quartz blanc et forment régulièrement un motif en « casse-tête », soit donc une bréchification hydrothermale *in situ* (Jébrak, 1997).

Les sulfures observés se présentent sous plusieurs textures. Les principales textures rencontrées sur les sites cartographiés sont : (1) alternances de lamines de pyrite-arsénopyrite et interprétées comme du remplissage d'espace ouvert. Ces injections de sulfures se sont formées par un mécanisme de *crack-seal* (Ramsay, 1980). Cette texture est rencontrée sur la quasi-totalité des sites cartographiés (Annexe B). Localement, les lamines montrent un agencement anastomosé et sont interprétées comme étant le résultat du cisaillement tardif au toit et au mur de la veine ; (2) Amas massifs à semi-massifs dans la veine ou rubans continus massifs et rectilignes au toit et/ou au plancher de la veine ; (3) incrustation de sphalérite massive au contact d'amas massif de pyrite-arsénopyrite ; (4) texture de remplissage d'espace ouvert aux contacts des cristaux de quartz idiomorphes (textures en peigne) ; (5) galène dendritique et (6) pyrite-arsénopyrite-galène-sphalérite disséminées.

Bien que les sulfures se soient introduits dans les espaces ouverts de la veine préalablement formée et composée de quartz, ils sont localement eux-mêmes recoupés par des veines de quartz-carbonates tardives. Ce fait démontre un processus continu d'injection et de remplissage de la veine (Peters, 1993a). La relation de recouplement entre les lamines interprétées comme s'étant formées par un mécanisme d'ouverture de type *crack-seal* (Ramsay, 1980) et les sulfures suggère que ces derniers s'injectent dans la veine de quartz préalablement formée et recoupent ces lamines de roche encaissante. Cette relation montre le caractère tardif des sulfures à l'injection du quartz et à l'initiation des lamines de type *crack-seal* dans la veine.

### **3.1.1.2 – Variation de la morphologie et des textures: Veine Mercedes**

Les figures 3.2 et 3.3 illustrent la distribution des morphologies et des différentes textures observées à la veine Mercedes pour chaque site d'étude. Ces deux figures synthèses font ressortir les points saillants suivants :

#### **Morphologies :**

- Les veines composites s'observent dans le cœur du vecteur minéralisé, les veines multiples et uniques en périphérie du vecteur et les structures principales altérées sans le développement de veines sont présentes généralement à l'extérieur du vecteur minéralisé (Figure 3.4a).
- Les deux morphologies dominantes rencontrées sont en ordre d'importance les veines multiples et les veines uniques. La déformation associée à ces deux morphologies varie de faible à moyenne intensité.
- Dans la partie SE et basale du vecteur minéralisé (site 1757-GLE), l'alternance veine (secteur A), structure principale (secteur B) et veine (secteur C) correspond à un contact lithologique diorite-granodiorite. Le contact lithologique est observé à la limite du vecteur minéralisé (contact entre les secteurs A et B). Le vecteur minéralisé et le développement de la veine principale réapparaissent au contact des secteurs B et C.

#### **Textures :**

- D'une façon générale, une veine donnée comprend plusieurs textures mais deux (2) textures dominent sur les sites étudiés: 1) La texture laminée et/ou rubanée. Cette texture est présente sur tous les sites de cartographies; et 2) La texture avec incorporation de fragments d'éponge altérés et souvent bréchifiés. La déformation associée à ces deux textures varie de faible à moyenne en intensité.
- Toutes les textures sont présentes lorsqu'il y a développement de veines composites.

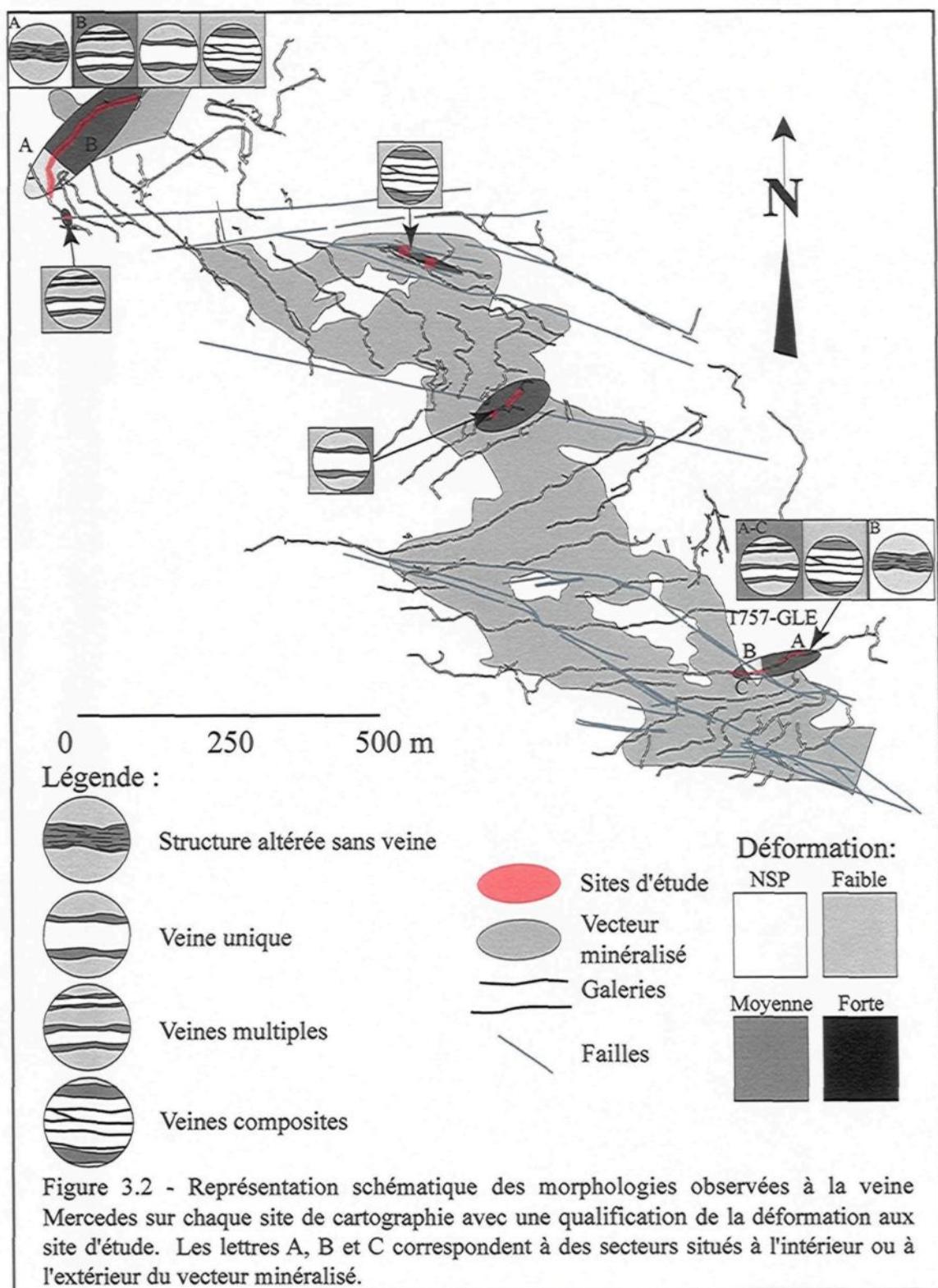


Figure 3.2 - Représentation schématique des morphologies observées à la veine Mercedes sur chaque site de cartographie avec une qualification de la déformation aux sites d'étude. Les lettres A, B et C correspondent à des secteurs situés à l'intérieur ou à l'extérieur du vecteur minéralisé.

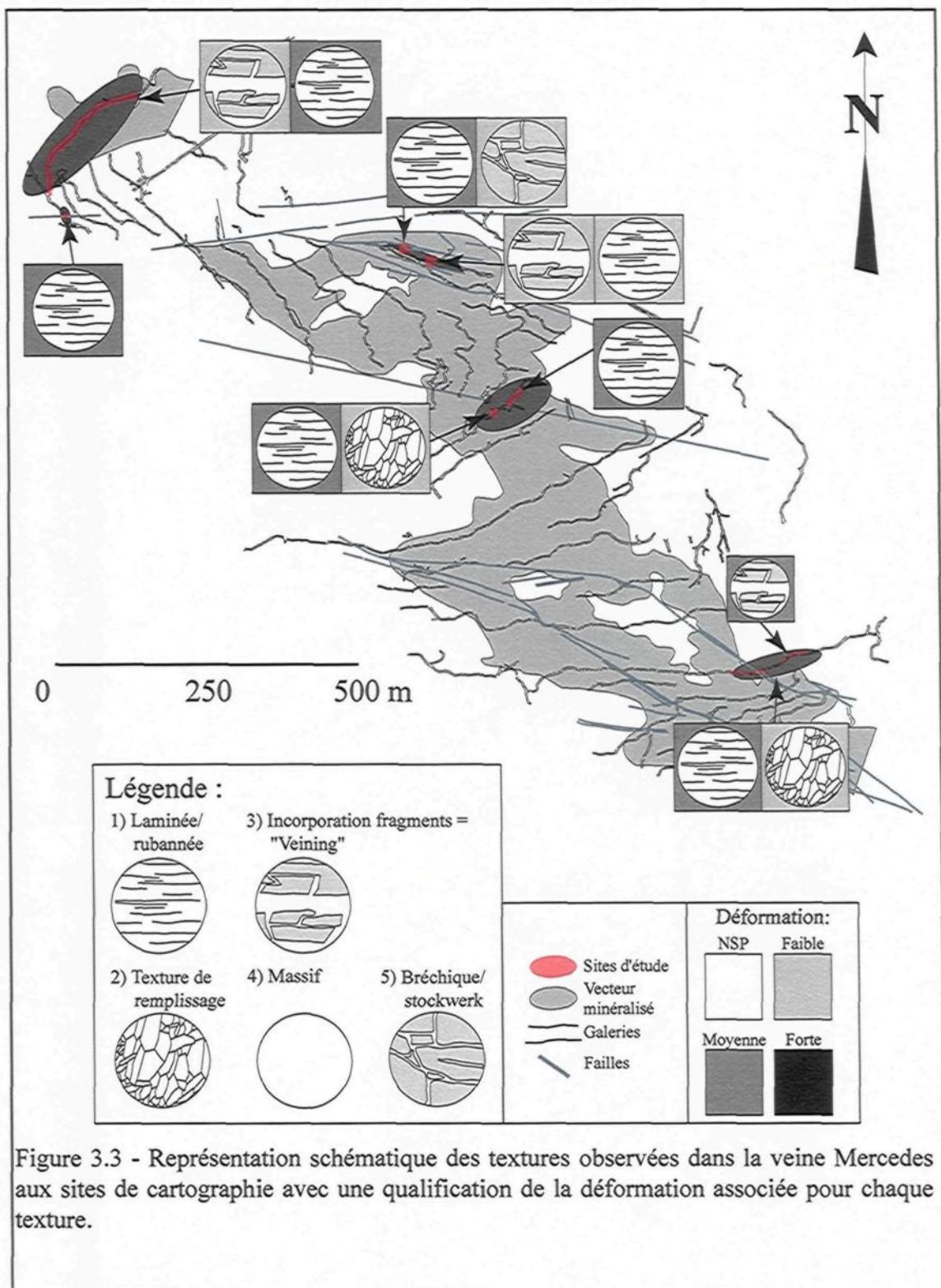
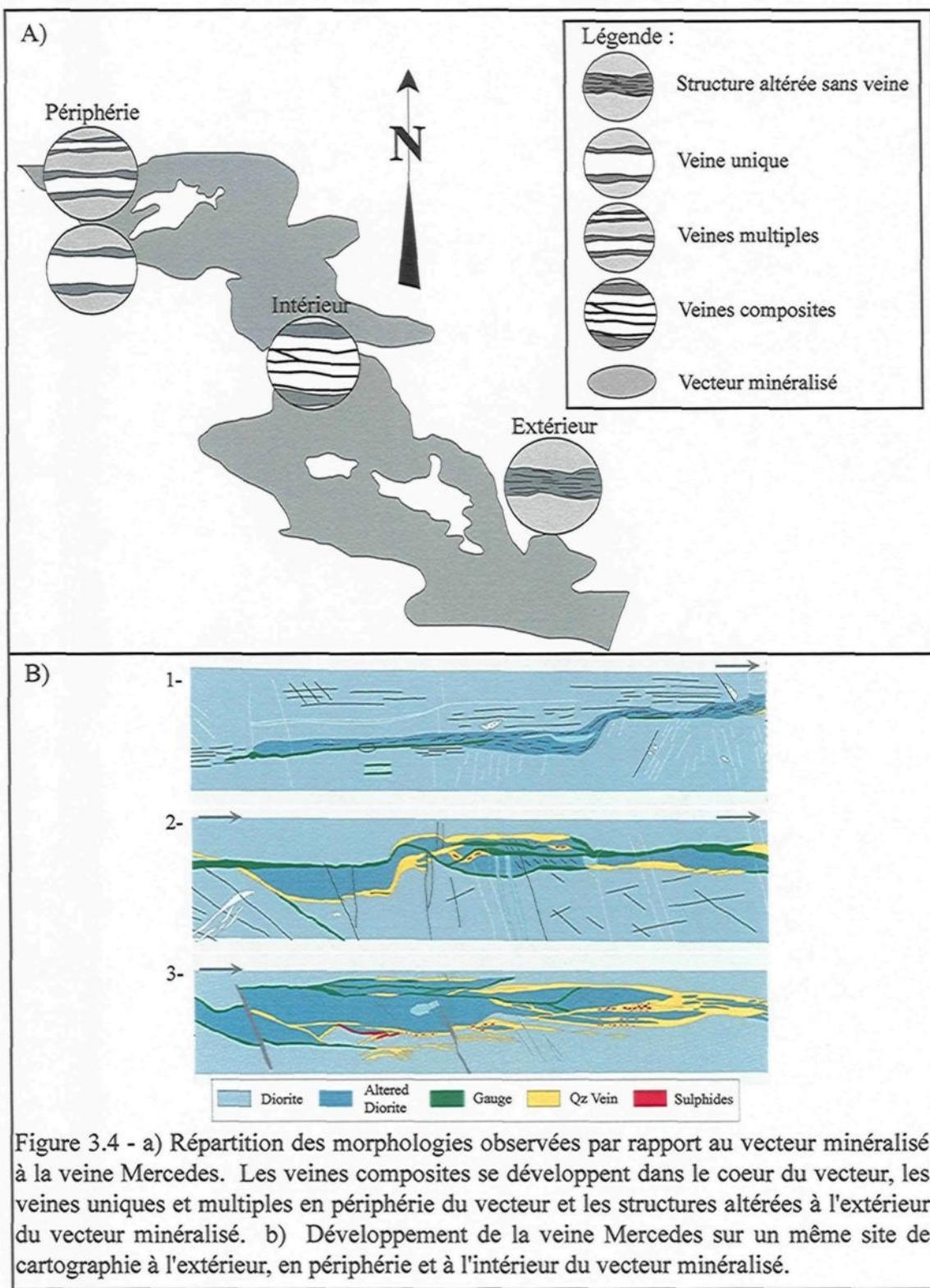


Figure 3.3 - Représentation schématique des textures observées dans la veine Mercedes aux sites de cartographie avec une qualification de la déformation associée pour chaque texture.



- La texture avec incorporation de fragments d'éponte altérés et bréchifiés se développe lorsque la veine est composite ou unique.
- La texture bréchique et/ou *stockwerk* ou les zones de voïde sont présents surtout en bordure ou à proximité de failles (Faille La Brava et de Cori Huarmi).
- Les rubans ou amas de sulfures massifs sont associés avec les veines composites avec absence de fragments d'éponte altérés et incorporés dans la veine ou avec des textures laminées/rubannées.
- Pour le site 1757-GLE (seul site à la veine Mercedes avec les teneurs en Au disponibles), les zones de haute teneur ( $>7\text{ g/t Au}$ ) sont associées à des veines multiples ou composites avec des textures laminées/rubannées. La déformation associée varie de faible à moyenne en intensité.
- Les zones de basse teneur en Au ( $<7\text{ g/t Au}$ ) représentent des structures altérés sans le développement de veine.

La figure 3.4 représente un bon exemple pour illustrer le développement spatio-temporel de la veine Mercedes à l'extérieur, en périphérie et à l'intérieur du vecteur minéralisé. Le développement d'une structure principale altérée et sans développement de veine est observé à l'extérieur du vecteur minéralisé (Figure 3.4b-1). Une évolution vers l'intérieur du vecteur minéralisé montre le développement de veines multiples dans plusieurs plans de fractures parallèles et séparées par des blocs d'épontes (Figure 3.4b-2). Dans le cœur du vecteur minéralisé, la convergence des veines multiples forme une veine composite avec incorporation de fragments d'épontes dans la veine (Figure 3.4b-3).

### *3.1.1.3 – Variation de la morphologie et des textures: Veine Jimena*

Le même exercice fut produit pour les morphologies et les textures observées à la veine Jimena et les résultats sont illustrés aux figures synthèses 3.5 et 3.6. Les principaux faits saillants sont décrits ci-dessous :

### Morphologies :

- Les veines composites ou uniques s'observent dans le cœur du vecteur minéralisé et les structures principales altérées sans le développement de veine sont présentes à l'extérieur du vecteur minéralisé.
- Au sein du vecteur minéralisé, la morphologie dominante est la veine composite bien que la veine unique soit également commune. La déformation associée varie de faible à moyenne avec localement des zones de forte intensité.
- La veine passe d'une morphologie à l'autre sur de courte distance.
- La moprhologie en structure altérée sans veine sur le site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva correspond à une position à l'extérieur du vecteur minéralisé. Ce changement de morphologie veine composite-structure altérée-veine composite concorde avec un contact lithologique diorite-granodiorite. Le vecteur minéralisé se divise en deux secteurs (Figure 2.23). La diorite correspond aux valeurs aurifères économiques tandis que la structure altérée sans développement de veine et sans valeur économique se retrouve dans un dyke de granodiorite.

### Textures:

- D'une façon générale, une veine donnée comprend plusieurs textures mais deux (2) textures dominent: 1) la texture laminée et/ou rubanée et 2) la texture avec incorporation de fragments d'éponge altérés et souvent bréchifiés. La déformation associée à ces deux textures varie de faible à moyenne intensité avec localement des zones de forte intensité.
- D'autres textures sont également reconnues comme des textures de remplissage d'espace ouverts (quartz en peigne ou des zones de voïde), des textures bréchique et/ou *stockwerk* et plus rarement des textures massives.
- Toutes les textures sont observées dans les veines composites.
- Les sulfures qui se présentent en rubans ou en amas massifs s'observent dans les zones avec absence de fragments d'éponge altérés et incorporés dans la veine.

- Les sulfures qui se présentent en rubans ou en amas massifs s'observent dans les zones avec absence de fragments d'éponte altérés et incorporés dans la veine.
- Les zones de haute teneur Au correspondent avec une morphologie précise, soit les veines composites. Plus rarement, ces zones correspondent avec des veines uniques. Les textures dominantes dans ces zones de haute teneur sont les textures laminée/rubannée ou avec incorporation de fragments d'éponte altérés et plus rarement, les textures avec cristaux de quartz en peigne et/ou zone de voïde. La déformation associée varie alors de faible à moyenne intensité.
- Les zones de basse teneur Au correspondent à la morphologie de type veine unique avec des faciès variables.

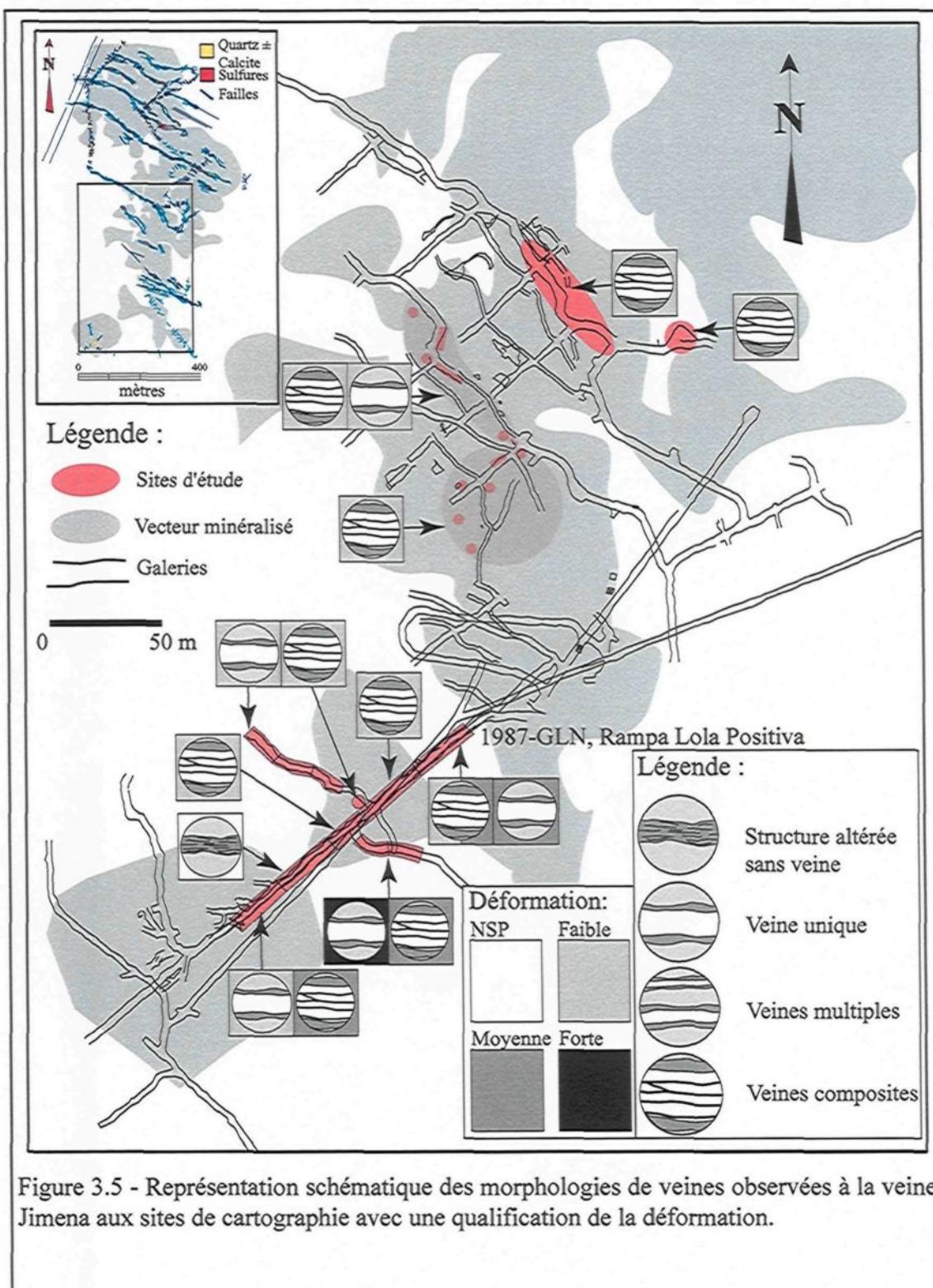


Figure 3.5 - Représentation schématique des morphologies de veines observées à la veine Jimena aux sites de cartographie avec une qualification de la déformation.

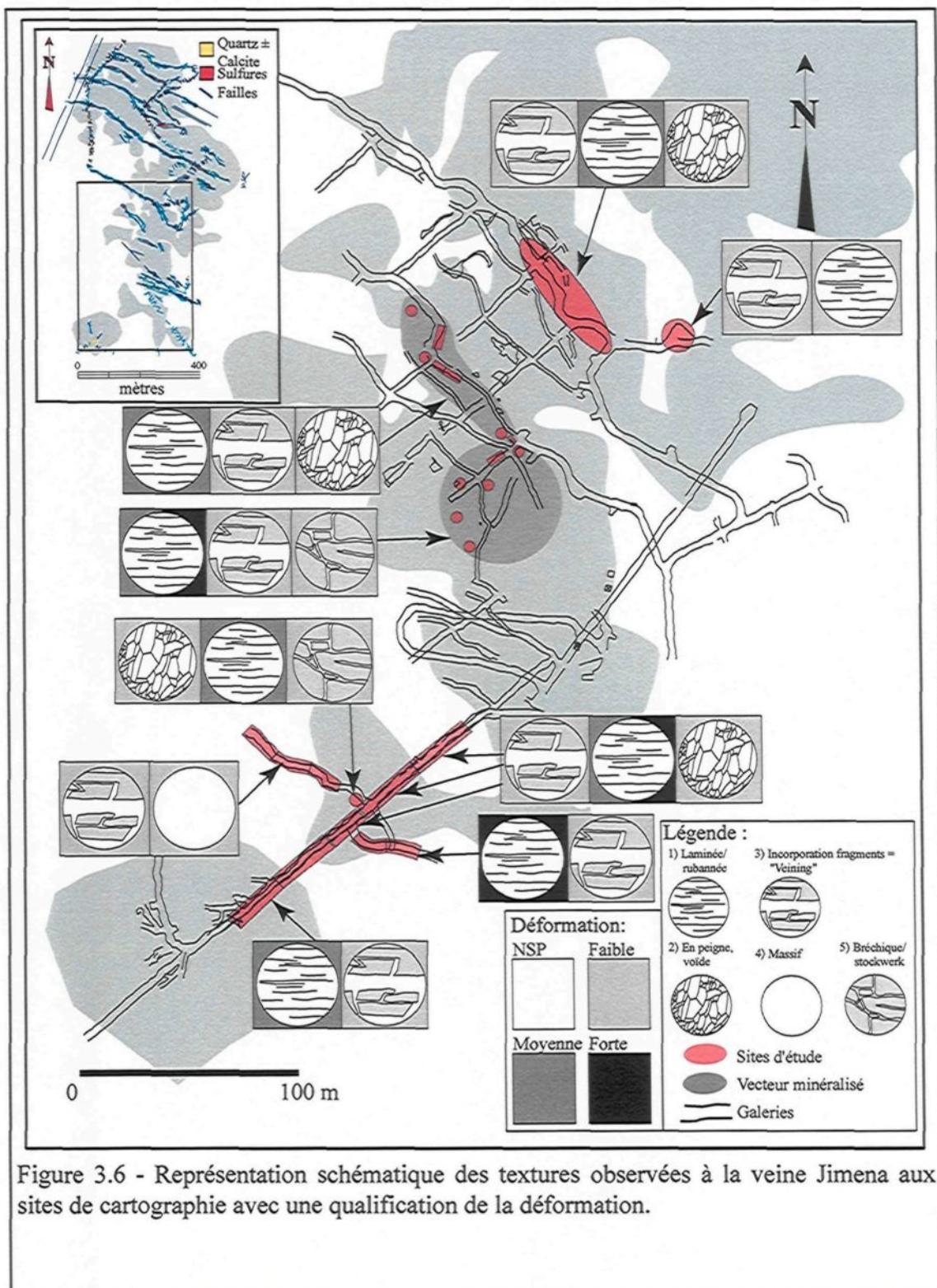


Figure 3.6 - Représentation schématique des textures observées à la veine Jimena aux sites de cartographie avec une qualification de la déformation.

En résumé, les veines composites s'observent dans le cœur du vecteur minéralisé et les structures altérées sans le développement de veine sont présentes à l'extérieur du vecteur minéralisé. Les structures altérées sans développement de veine associées à des zones situées à l'extérieur du vecteur minéralisé correspondent en fait à des contacts lithologiques diorite-granodiorite. Les morphologies dominantes à la veine Mercedes sont les veines multiples et les veines uniques tandis que pour la veine Jimena, la morphologie dominante est les veines composites. Les veines comprennent plusieurs textures et celles-ci peuvent varier sur de courte distance. La texture laminée/rubannée domine pour les deux veines à l'étude et la déformation associée à cette texture varie de faible à moyenne en intensité (plus rarement de forte intensité). Cette texture s'observe le plus souvent dans les veines uniques et les veines multiples. La texture avec incorporation de fragments d'éponge altérés et souvent bréchifiés est la deuxième texture en importance aux deux veines et la déformation associée varie de faible à moyenne intensité. Les rubans ou amas de sulfures massifs sont le plus souvent situés dans les secteurs de la veine où il y a absence de ces fragments. Un fait est que toutes les textures sont présentes dans les veines composites. Aux deux veines étudiées, de manière générale, les zones de haute teneur Au correspondent à des veines composites avec des faciès, en ordre d'importance, laminée/rubannée, avec fragments d'éponge altérés et avec texture de remplissage (quartz en peigne, zone de voïde). La déformation associée, comme mentionné précédemment pour ces trois textures, varie de faible à moyenne en intensité. Cette observation implique que la déformation n'est pas spatialement associée à une texture en particulier et ne joue pas un rôle majeur pour la localisation des zones de hautes teneurs Au. Les zones de basses teneurs Au sont associées spatialement avec des structures altérées sans le développement de veine (Mercedes) ou des veines uniques avec des textures variables (Jimena).

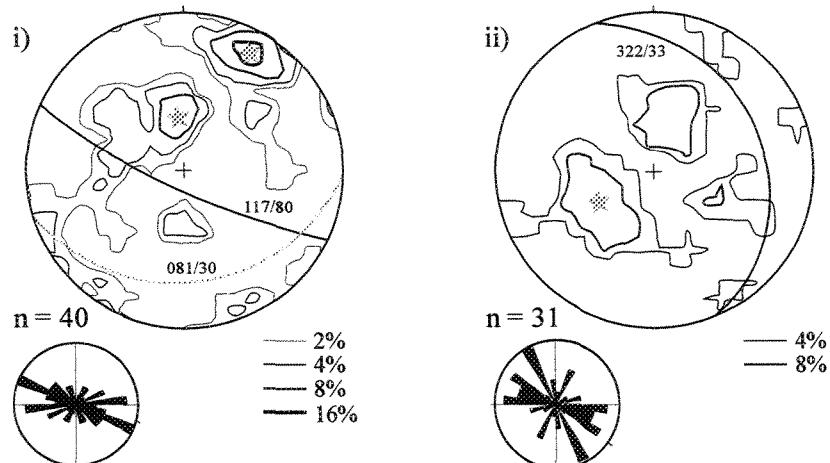
Cette synthèse a permis d'élaborer une nomenclature pour les veines étudiées sur chaque site. La nomenclature comprend la morphologie, les sulfures dominants ainsi que les faciès représentatifs pour chaque site. Cette nomenclature indique intrinsèquement le mode de formation de la veine par la morphologie et les textures dominantes. La nomenclature pour chaque site d'études est résumée dans le tableau synthèse 3.1.1 en Annexe C.

### 3.1.2 - Géométrie des familles de fractures et des veines

Les différentes fractures présentes aux sites de cartographie ont fait l'objet d'une attention particulière. Premièrement parce que plusieurs orientations de fractures furent observées sur ces sites et qu'une famille de fractures semble montrer une relation directe avec la minéralisation. Deuxièmement parce que le développement d'altération aux pourtours de ces fractures suggère que celles-ci ont servi de plomberie pour l'acheminement des fluides hydrothermaux. L'étude a fait ressortir les principaux points suivants :

- Des stéréogrammes équiaires ont été produits pour représenter les différentes familles présentes aux deux veines (Figure 3.7a). Un fait notable est que l'attitude respective des veines Mercedes (orientation moyenne de  $060^{\circ}/30^{\circ}$ , figure 3.7b-i) et Jimena (orientation moyenne de  $312^{\circ}/14^{\circ}$ , figure 3.7-ii) correspond avec l'orientation d'une famille de fractures dominantes rencontrées sur chaque site étudié. L'orientation moyenne de ces familles de fractures pour les veines Mercedes et Jimena est respectivement: i)  $081^{\circ}/30^{\circ}$  et ii)  $322^{\circ}/33^{\circ}$ . Les différences dans l'attitude et les pendages des veines peuvent impliquer que les mécanismes de formation de ces veines soient différents. Or, les caractéristiques observées pour ces veines sont les mêmes et ne semblent pas faire ressortir une origine différente.
- L'altération présente aux pourtours de plusieurs fractures indique qu'elles ont servi de plomberie pour l'acheminement des fluides. Les fluides hydrothermaux ont circulé par ces anisotropies mais seulement quelques fractures ont permis le développement d'une veine.

a) Distribution des pôles des plans de fractures: i) Mercedes et ii) Jimena



b) Distribution des pôles du plan de la veine principale: i) Mercedes et ii) Jimena

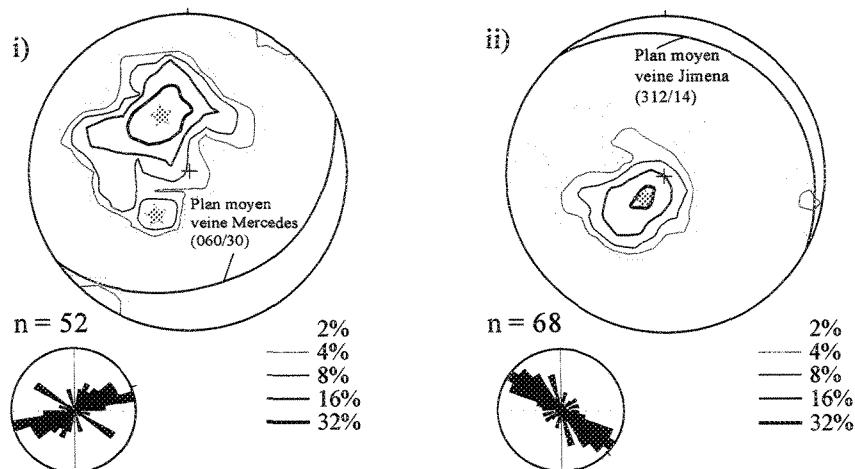
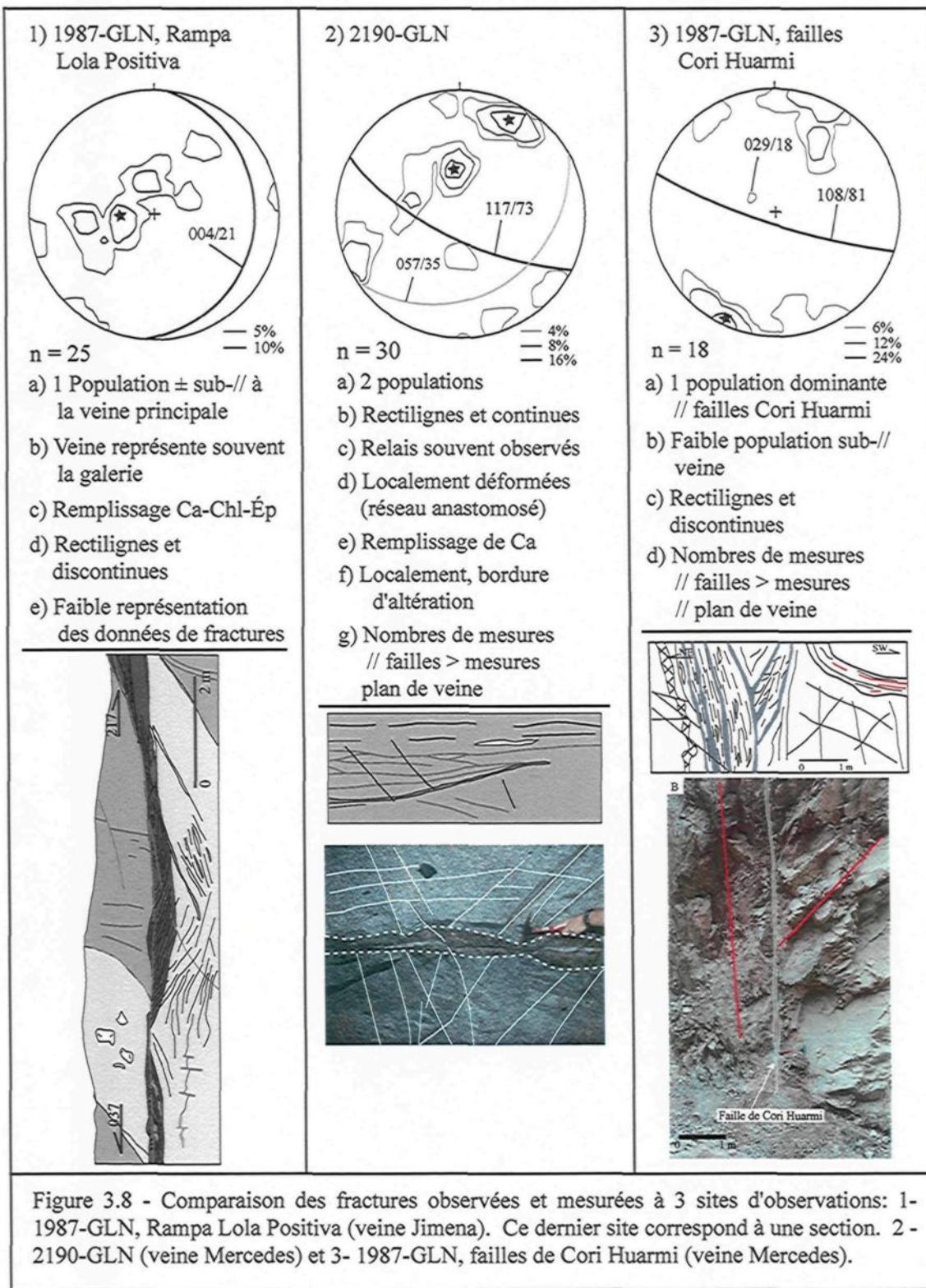


Figure 3.7 - Distribution des mesures structurales prises lors des campagnes de terrain des veines Mercedes et Jimena. a) Distribution des pôles des plans de fractures de la veine: i) Mercedes et ii) Jimena. b) Distribution des pôles des plans des veines principales: i) Mercedes et ii) Jimena. Remarquez qu'une famille de fractures est subparallèle aux veines principales et reconnue sur chaque veine respective.

- La présence de plusieurs fractures rectilignes et continues dans la roche encaissante et des fractures avec un motif anastomosé dans les zones d'altération aux pourtours des veines et sub-parallèles à la structure principale montre que la veine a suivi un plan principal constitué de une ou plusieurs fractures parallèles.
- La conjonction entre deux plans de fractures parallèles produit des relais entre deux veines principales ou deux structures altérées principales. Ces zones de relais expliquent non seulement le mode d'ouverture de la veine mais également le mode de fermeture de la veine principale.
- Les fractures obliques à la veine principale peuvent expliquer l'incorporation des fragments d'éponte altérés de grandes dimensions dans la veine. Ces fractures peuvent être précoces lors de la formation de la veine et orientées parallèlement à la contrainte principale permettant ainsi d'expliquer les plans de décollement le long des fractures principales au toit et au plancher de la veine et la formation des veinules obliques segmentant les fragments d'épontes.

Pour bien comprendre la distribution des familles de fractures observées dans le batholite, une comparaison entre trois sites de cartographie provenant des veines Mercedes et Jimena (Figure 3.8) a permis de constater que pour les sites situés loin des failles majeures, une seule population de fractures est présente et orientée sub-parallèlement à la veine principale (Figure 3.8-1 et 3.8-2). Tandis que les sites situés près des failles majeures, une population de fractures dominante est observée et orientée sub- parallèlement à ces failles (Figure 3.8-2 et 3.8-3). Les fractures sub-parallèles au plan de la veine sont généralement rectilignes et continues ayant parfois une bordure d'altération en séricite-chlorite±carbonates d'épaisseur millimétriques à centimétriques avec localement un remplissage de carbonates, de chlorite ou d'épidote. Les fractures sub-parallèles aux plans de failles sont rectilignes et discontinues avec localement remplissage de quartz-pyrite. Ces fractures peuvent, par des événements de



déformation tardifs, décaler la veine sur des distances de l'ordre du décimètre. Il faut préciser que les zones investiguées ne permettent l'observation des épontes que sur de faibles distances de part et d'autre des veines. Il est donc difficile d'évaluer si les fractures parallèles aux veines sont encore présentes et importantes plus loin des veines.

### 3.1.3 – Lithologie encaissante

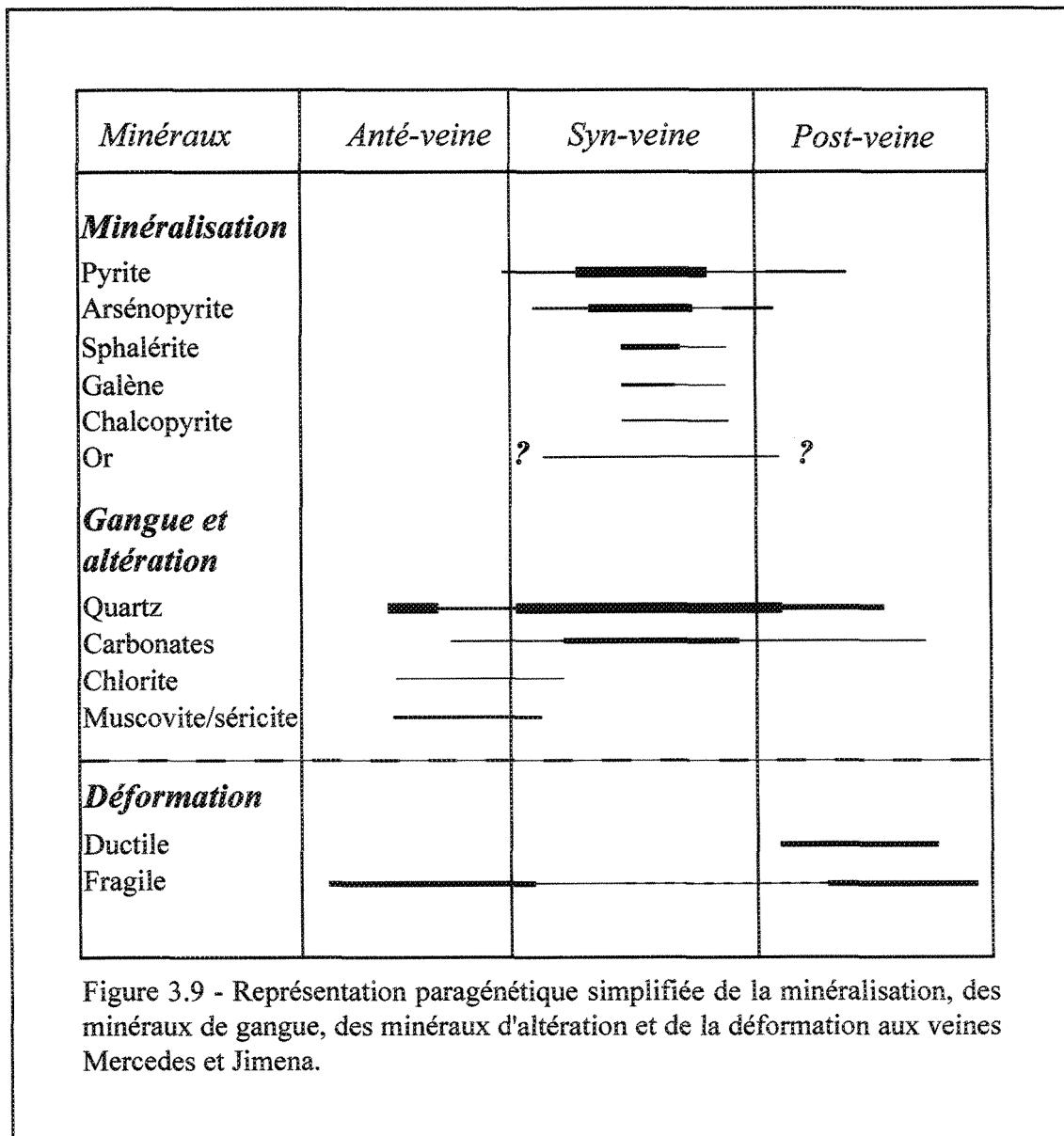
La lithologie encaissante contrôle localement l'ouverture et la formation de la veine. Le développement de la veine est observé le plus souvent dans la diorite. Sur certains sites, la veine se développe plus facilement dans la diorite et seulement une structure principale altérée et quelques lambeaux de veines sont observés lorsque la lithologie encaissante est la granodiorite. Localement, la veine se met en place le long des contacts lithologiques entre la granodiorite et la diorite. Ces contacts favorisent la mise en place de la veine le long de cette anisotropie. Un autre fait marquant est que la limite du vecteur minéralisé concorde souvent avec un contact diorite-granodiorite. Le développement d'une structure altérée sans veine, soit la fermeture de la veine, s'observe alors dans la granodiorite et situé à l'extérieur du vecteur minéralisé.

### 3.1.4 – Paragénèses

L'étude des relations de terrain et des échantillons (mégascopiques et microscopiques) a permis de déterminer différentes paragenèses pour la minéralisation ainsi que pour les minéraux de gangue et d'altération. Un tableau synthèse des observations est présenté au tableau 3.1.4 en annexe D. La représentation paragénétique simplifiée des veines aurifères Mercedes et Jimena est illustrée à la figure 3.9.

#### 3.1.4.1 – Minéraux d'altération

La présence de structures altérées sans le développement de veine laisse croire que le premier événement hydrothermal est l'étape d'altération de la roche encaissante. L'altération n'est pas envahissante mais plutôt dirigée par les micro-structures



existantes dans la roche encaissante. Cet événement est précoce dans l'histoire de la formation des veines (anté-veine). Les structures altérées sans veine représentent donc le stade initial de formation avec les minéraux d'altération tels la séricite/muscovite et la chlorite. Ces minéraux de remplacement altèrent la roche encaissante dans l'étape de la préparation du terrain. Ils sont également visibles dans les fragments d'éponges et les lames de roche encaissante incorporés dans la veine ainsi qu'en bordure de certaines fractures et dans la zone d'altération aux pourtours des veines.

### ***3.1.4.2 – Gangue***

Le quartz et les carbonates constituent les principaux minéraux de gangue. L'injection des sulfures aux pourtours des cristaux de quartz-carbonates suggère qu'une partie des fluides silicatés ont circulé et se sont déposés avant les sulfures ou que les conditions physico-chimiques ont favorisé la précipitation des silicates avant les sulfures. Une différence des conditions de solubilité entre les silicates et les ions métalliques contenus dans un même fluide hydrothermale pourrait également résulter d'un décalage dans la paragenèse minérale. Ces injections de quartz-carbonates composent le deuxième assemblage minéral (Figure 3.10a). La présence des veines composites et la zonalité locale de la veine montrant différentes textures sur une même face d'observation suggère que le remplissage des fractures se fait en plusieurs étapes successives dans la formation de la veine. L'introduction du quartz se poursuit jusqu'à la fin comme en témoigne les veinules tardives qui recoupent la roche encaissante, la veine, les sulfures et les éléments de la déformation (Figure 3.10b). Même si plusieurs pulsions sont observées et enregistrées par la veine, il s'agit probablement d'un même système d'injection quasi-continu de fluides hydrothermaux. Localement, les relations de recoupement du quartz par les carbonates dans la veine indiquent la précipitation du quartz dans un premier temps et des carbonates dans un deuxième temps (Figure 2.7). Les observations démontrent que la précipitation du quartz et des carbonates au sein des fractures représente un événement relativement précoce dans l'histoire de la formation de la veine et se poursuit durant et après la mise en place des sulfures ainsi qu'après les différents événements de déformation.

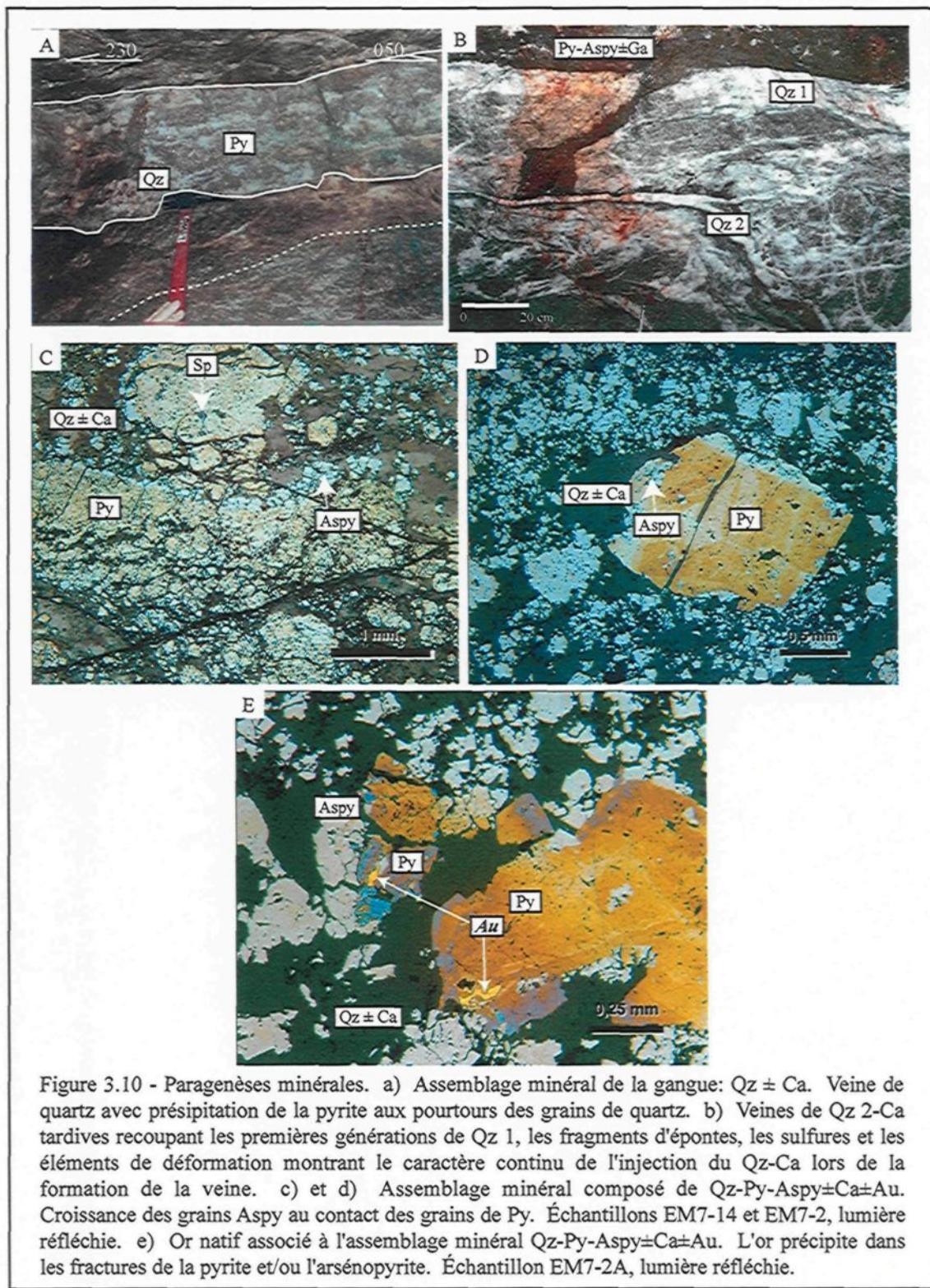
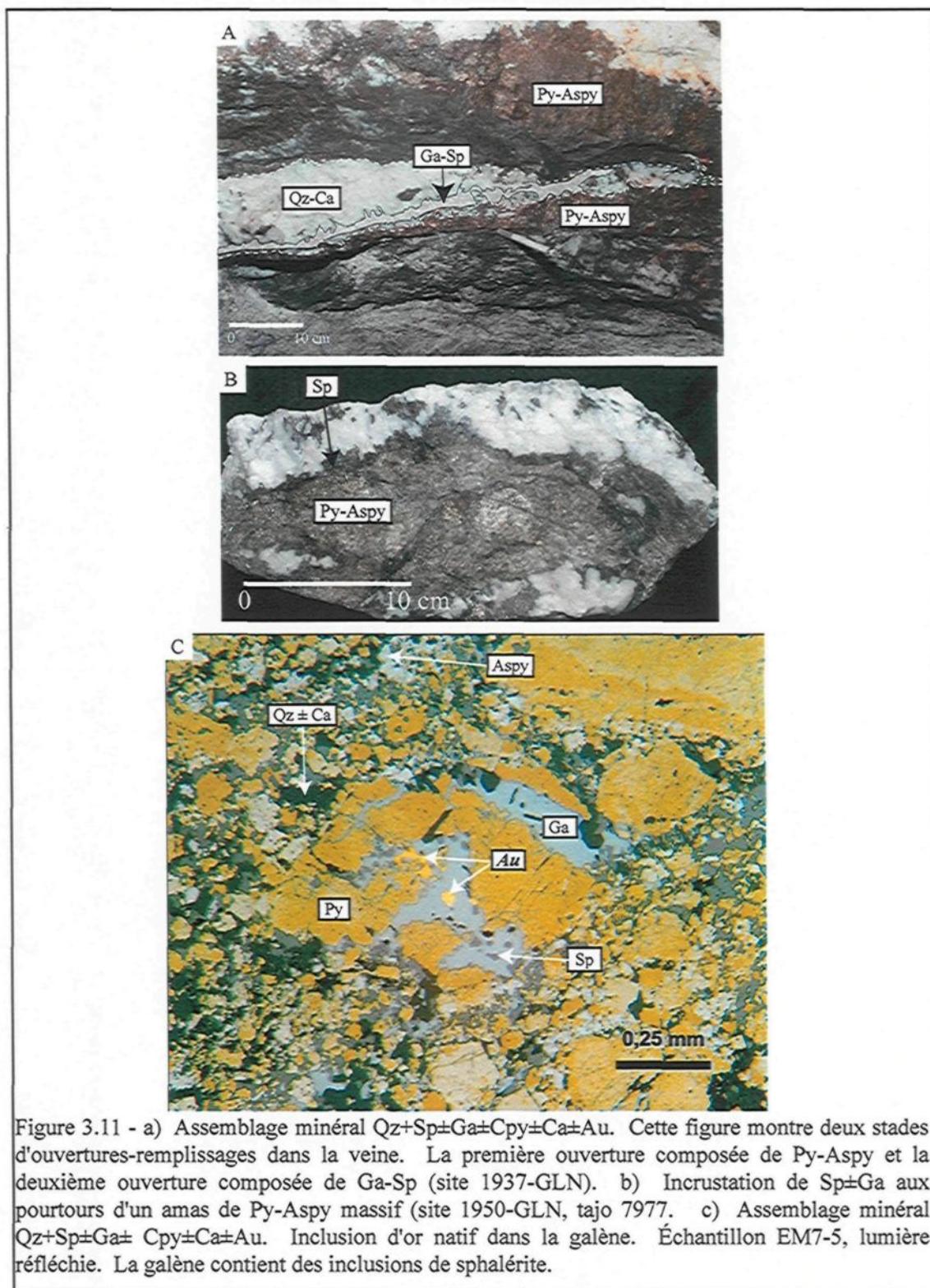


Figure 3.10 - Paragenèses minérales. a) Assemblage minéral de la gangue: Qz  $\pm$  Ca. Veine de quartz avec présipitation de la pyrite aux pourtours des grains de quartz. b) Veines de Qz 2-Ca tardives recoupant les premières générations de Qz 1, les fragments d'épontes, les sulfures et les éléments de déformation montrant le caractère continu de l'injection du Qz-Ca lors de la formation de la veine. c) et d) Assemblage minéral composé de Qz-Py-Aspy $\pm$ Ca $\pm$ Au. Croissance des grains Aspy au contact des grains de Py. Échantillons EM7-14 et EM7-2, lumière réfléchie. e) Or natif associé à l'assemblage minéral Qz-Py-Aspy $\pm$ Ca $\pm$ Au. L'or précipite dans les fractures de la pyrite et/ou l'arsénopyrite. Échantillon EM7-2A, lumière réfléchie.

### 3.1.4.3 – *Sulfures*

Les principaux sulfures aux veines Mercedes et Jimena sont la pyrite et l’arsénopyrite. Le pourcentage de pyrite dans la veine varie de 60 à 88%, ce qui en fait le sulfure le plus abondant dans ces deux veines. La pyrite peut également être observée dans les fragments d’épontes altérées et incorporées dans la veine ainsi qu’au toit et au mur de la veine dans les zones d’altération. Cette pyrite est représentée par des cubes idiomorphes à sub-idiomorphes millimétriques et est associée à un stade d’altération plus qu’à un stade de minéralisation aurifère, comme le démontre l’absence de teneur économique dans les zones d’altération. L’arsénopyrite est le deuxième sulfure en abondance dans les veines Mercedes et Jimena (7 à 22%). Les observations de terrain et en section polie suggèrent que l’arsénopyrite postdate légèrement la pyrite. Cette affirmation est visible par les nombreuses textures de croissance de l’arsénopyrite aux pourtours des grains de pyrite peu déformés (Figure 3.10c et d).

La sphalérite est le troisième sulfure en importance (2 à 10%) suivi de la galène (traces à 3%) et finalement de la chalcopyrite (traces à 2%). Aucun indice sur le terrain ni sur les sections polies n’a permis de confirmer l’ordre d’injection de ces trois sulfures. Par contre, plusieurs faits laissent croire que ces sulfures forment un assemblage minéral distinct ( $Qz + Sp \pm Ga \pm Cpy \pm Ca \pm Au$ , figure 3.11) et postdate l’assemblage minéral  $Qz + Py + Aspy \pm Ca \pm Au$  (Figure 3.10 c, d et e). L’ouverture de la veine de manière antitaxiale souvent observée indique que le premier événement de remplissage  $Qz + Py + Aspy \pm Ca \pm Au$  précède l’événement de remplissage  $Qz + Sp \pm Ga \pm Cpy \pm Ca \pm Au$  (Figure 3.11a). L’incrustation de la sphalérite et de la galène sur les amas de pyrite-arsénopyrite massifs est un autre exemple qui permet d’affirmer que la sphalérite et la galène sont postérieures à la pyrite et à l’arsénopyrite (Figure 3.11b). Il est important de mentionner que la proportion de sphalérite et de galène est plus élevée pour la veine Jimena comparativement à la veine Mercedes (pour les sites d’études de ce présent rapport).



### 3.1.4.4 – Au

L’or se présente sous forme de plages xénomorphes de dimension maximale de 0,15 millimètre. Sur le terrain, aucun grain d’or visible ne fut observé. En section polie, la quantité d’or varie de quelques points à localement 0,5% (Annexe D). L’or est associé spatialement soit avec l’assemblage minéral Qz + Py + Aspy ± Ca ± Au ou avec l’assemblage minéral Qz + Sp ± Ga ± Cpy ± Ca ± Au. Dans le premier cas, l’or se met en place dans les fractures de la pyrite et/ou de l’arsénopyrite (Figure 3.10e). Dans le deuxième cas, l’or précipite en inclusion dans la Sp-Ga ou au contact de ces deux sulfures (Figure 3.11c). Localement, l’or précipite librement dans des veinules de Qz-Sp-Ga. Selon les observations des sections polies, l’or précipite synchrone avec ces deux assemblages.

### 3.1.5 – Altération

L’altération hydrothermale en bordure des veines Mercedes et Jimena consiste en une séricitisation et une chloritisation (Annexe B). Elle est caractéristique des faciès de bas grade métamorphique (Eskola, 1920). Cette altération est accompagnée d’une légère pyritisation-silicification-carbonation. Le halo d’altération dans les éponges a une épaisseur variant de quelques centimètres à plus de 1,5 mètre et varie en composition selon la lithologie encaissante. La transition halo d’altération-roche fraîche s’estompe brusquement en quelques centimètres passant d’une faible altération propylitique (chlorite) avant d’atteindre une roche complètement fraîche (Haeberlin et al., 2000, Haeberlin, 2002). Communément, il est possible de voir une bordure d’altération de faible épaisseur ( $E_{max} = 3-4$  centimètres) aux pourtours de certaines fractures sans matériel de veine. La figure 3.12 illustre la différence entre une diorite pratiquement fraîche et une diorite altérée (site 2017-GLS). L’altération des plagioclases en séricite et de la biotite en chlorite est caractéristique des zones altérées rencontrées aux pourtours des veines Mercedes et Jimena. Le tableau 3.3.1 résume les minéraux d’altération dominants selon les différentes lithologies.

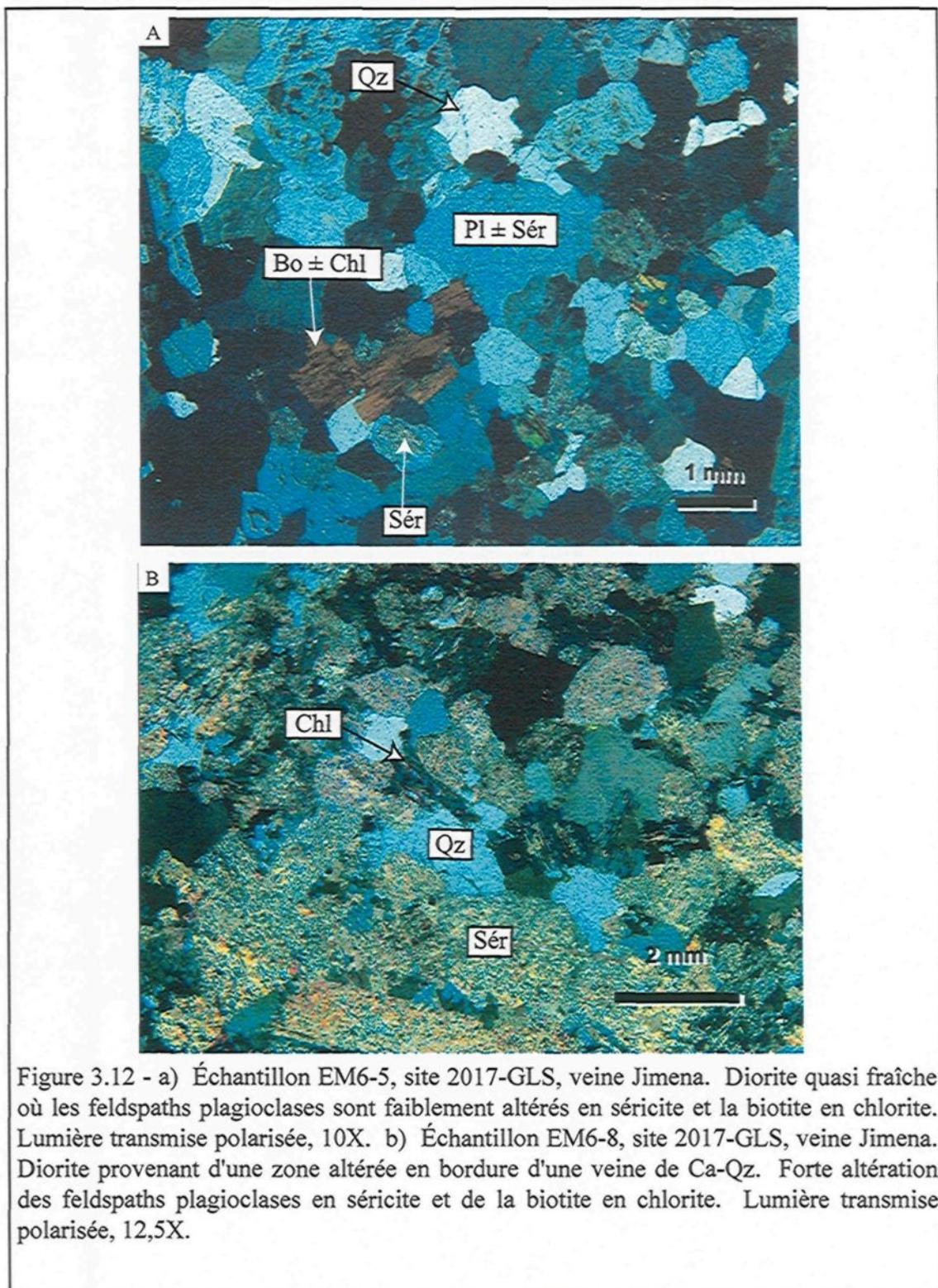


Figure 3.12 - a) Échantillon EM6-5, site 2017-GLS, veine Jimena. Diorite quasi fraîche où les feldspaths plagioclases sont faiblement altérés en séricite et la biotite en chlorite. Lumière transmise polarisée, 10X. b) Échantillon EM6-8, site 2017-GLS, veine Jimena. Diorite provenant d'une zone altérée en bordure d'une veine de Ca-Qz. Forte altération des feldspaths plagioclases en séricite et de la biotite en chlorite. Lumière transmise polarisée, 12,5X.

	Sér	Chl	Qz	Py	Ca	Ép
<b>Diorite</b>	X	X	±	±	±	-
<b>Granodiorite</b>	X	±	X	±	±	-
<b>Andésite</b>	-	X	-	-	-	X
<b>Aplite</b>	X	-	±	±	±	-
<b>Cornéenne</b>	X	-	±	X	-	-

TABLEAU 3.4.1 –PRINCIPAUX MINÉRAUX D’ALTÉRATION EN FONCTION DE LA ROCHE ENCAISSANTE.

### 3.1.6 – Déformation des épontes et des veines

L’interprétation de la déformation est un facteur important dans la compréhension du mécanisme de formation des veines. Le rôle que joue la déformation sur la formation des veines est impératif pour comprendre la chronologie des différents événements de formation des veines. Cette chronologie relative va permettre de distinguer les éléments de déformation qui sont génétiquement liés à la formation de la veine de ceux qui se superposent aux veines. Selon les relations observées, trois hypothèses peuvent alors être posés : 1) les veines sont anté-déformation, 2) sont syn-déformation ou 3) sont post-déformation.

Les veines Mercedes et Jimena montrent des évidences de déformation. Mais cette déformation semble être un phénomène de superposition à la veine plus qu’une relation génétique à la formation de la veine. Cette section fera l’analyse dans un premier temps de la déformation dans les épontes et dans un deuxième temps de la déformation au sein des veines.

#### 3.1.6.1 – Déformation dans les épontes

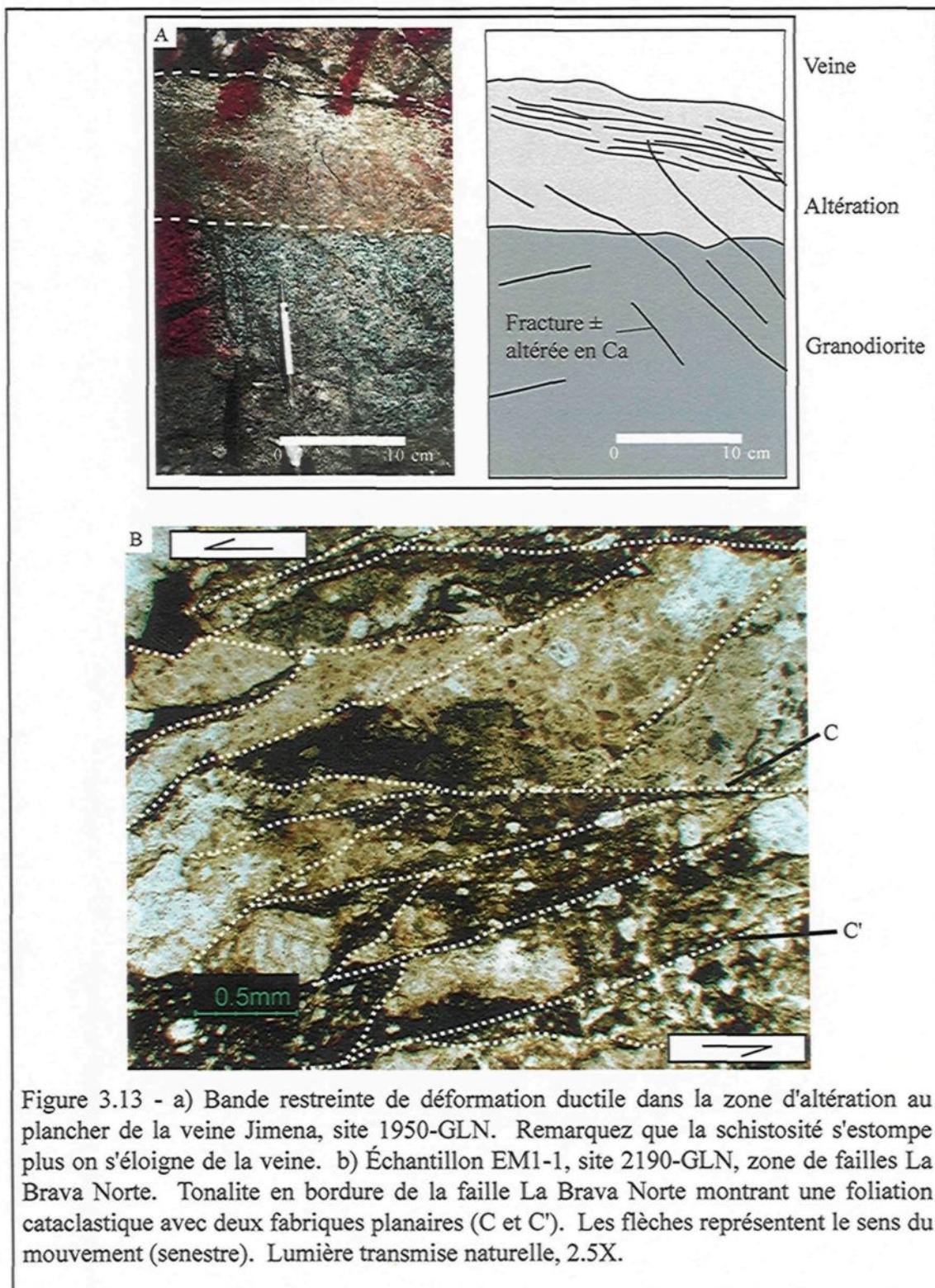
La déformation des épontes est généralement observable sur de faibles épaisseurs correspondant en fait aux zones d’altération aux pourtours des veines. Cette bande de déformation restreinte se caractérise par le développement local d’une foliation qui est

généralement parallèle au plan de la veine (Figure 3.13a). La foliation observée se caractérise par l'alignement des grains de séricite  $\pm$  chlorite  $\pm$  muscovite et se développe généralement en bordure de plans de décollement ou d'anisotropies existantes dans la roche encaissante. Plus rarement, une fabrique C-S peut se développer dans cette bande de déformation restreinte aux pourtours des veines. Les deux fabriques planaires sont matérialisées par l'alignement des grains de séricite ou de chlorite. Un fait marquant est que l'intensité de la déformation dans les épontes est plus forte lorsque le pendage de la veine est plus élevé. Cette augmentation de l'intensité de la déformation est peut être le résultat de l'orientation de la veine qui favorise un cisaillement au toit et au mur de la veine lorsque le pendage est plus élevé.

La déformation des épontes peut également se matérialiser de manière fragile par le développement de zones de boue de faille ou des plans de décollement d'épaisseurs millimétriques à décimétriques. Ces plans s'observent le plus souvent au toit et plus rarement au plancher de la structure principale. Les zones de boue de faille sont constituées de clastes mal structurés de roche encaissante dans une matrice composée en majeure partie de séricite accompagnée en plus faible quantité de chlorite.

La déformation fragile se manifeste également dans la roche encaissante par la présence de textures cataclastiques. Elles peuvent se former en bordure des certaines failles majeures ou dans les épontes aux pourtours des veines Mercedes et Jimena. Ces textures sont habituellement non foliées. Par contre, localement les textures cataclastiques observées montrent des fabriques planaires associées comme au site 2190-GLN, faille La Brava Norte (Figure 3.13b). Les fabriques planaires se forment habituellement en régime de déformation ductile. Cependant, il est possible qu'il s'agisse d'une foliation cataclastique telle que décrit par Lin (2001).

Le fait le plus marquant pour les veines Mercedes et Jimena est l'absence de schistosité dans les fragments d'épontes altérés et incorporés dans les veines. Ces fragments non déformés sont caractéristique de tous les sites de cartographies. Les fragments d'épontes altérés et incorporés dans les veines Mercedes et Jimena ont



préservés leurs textures magmatiques. Cette information est très importante et démontre que lors de l'incorporation de ces fragments dans la veine, la déformation ductile n'affectait pas les éponges. Ce fait indique clairement que la déformation ductile n'est pas génétiquement responsable de la mise en place des veines. La déformation ductile observée dans les éponges et dans les veines serait un phénomène de superposition à la veine.

### *3.1.6.2 – Déformation au sein des veines*

La déformation provoque également des modifications à la veine principale. Cette déformation peut se manifester de manière ductile ou de manière fragile. La déformation ductile se matérialise, lorsque la veine est peu déformée, par une faible extinction roulante du quartz (Figure 3.14a). Sur la figure 3.14a, le quartz peut présenter une légère déformation plastique matérialisée par une faible extinction roulante et les carbonates sont localement recristallisés en grains plus fins. Cet effet semble augmenter en intensité lorsque l'intensité de la déformation dans la veine est plus forte. Il est intéressant de noter sur cette figure et à la figure 3.14b que les textures primaires sont conservées comme par exemple les cristaux de quartz idiomorphes formant des textures en peigne. Les plages de Py-Aspy (Figure 3.14a) ou de Sp-Ga (Figure 3.14b) aux pourtours des cristaux de quartz idiomorphes sont alors interprétées comme du remplissage d'espaces ouverts. D'autres textures peuvent s'expliquer par la présence de textures primaires conservées dans la veine. Sur la figure 3.15a, les cristaux de quartz idiomorphes sont à angle par rapport au plan de fracturation  $S_0$ . La mise en place des sulfures aux contacts des cristaux de quartz peut alors expliquer l'obliquité des lames de sulfures dans la veine. L'orientation oblique des cristaux de quartz favorisent alors l'obliquité des lames de sulfures dans la veine.

D'autres phénomènes montrant des évidences de déformation ductile dans les veines Mercedes et Jimena sont observés régulièrement comme par exemple de la recristallisation dynamique sur les grains de quartz et/ou de carbonates (Figure 3.15b) et des ombres de pression aux pourtours des grains de pyrite (Figure 3.15 c et d).

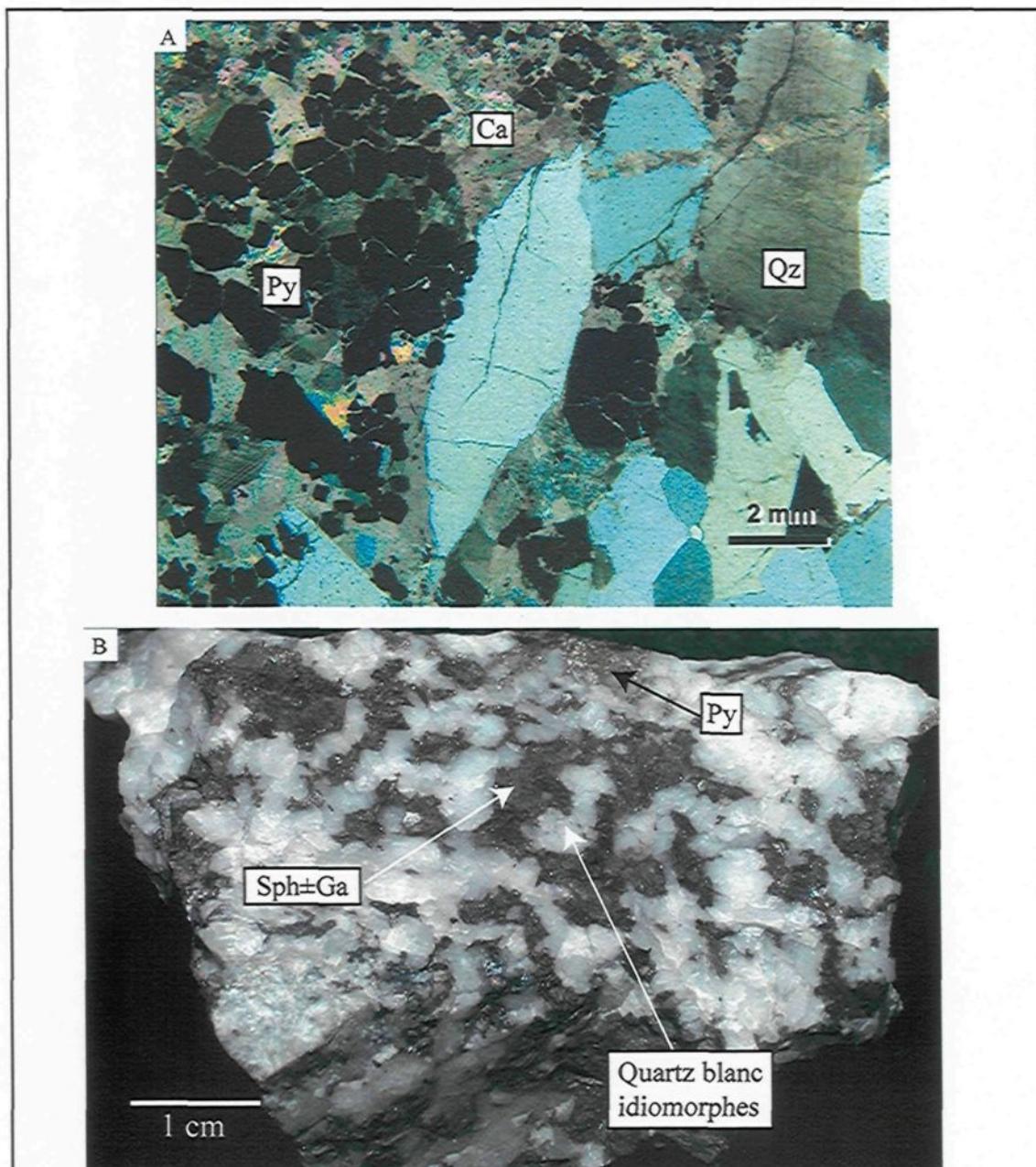
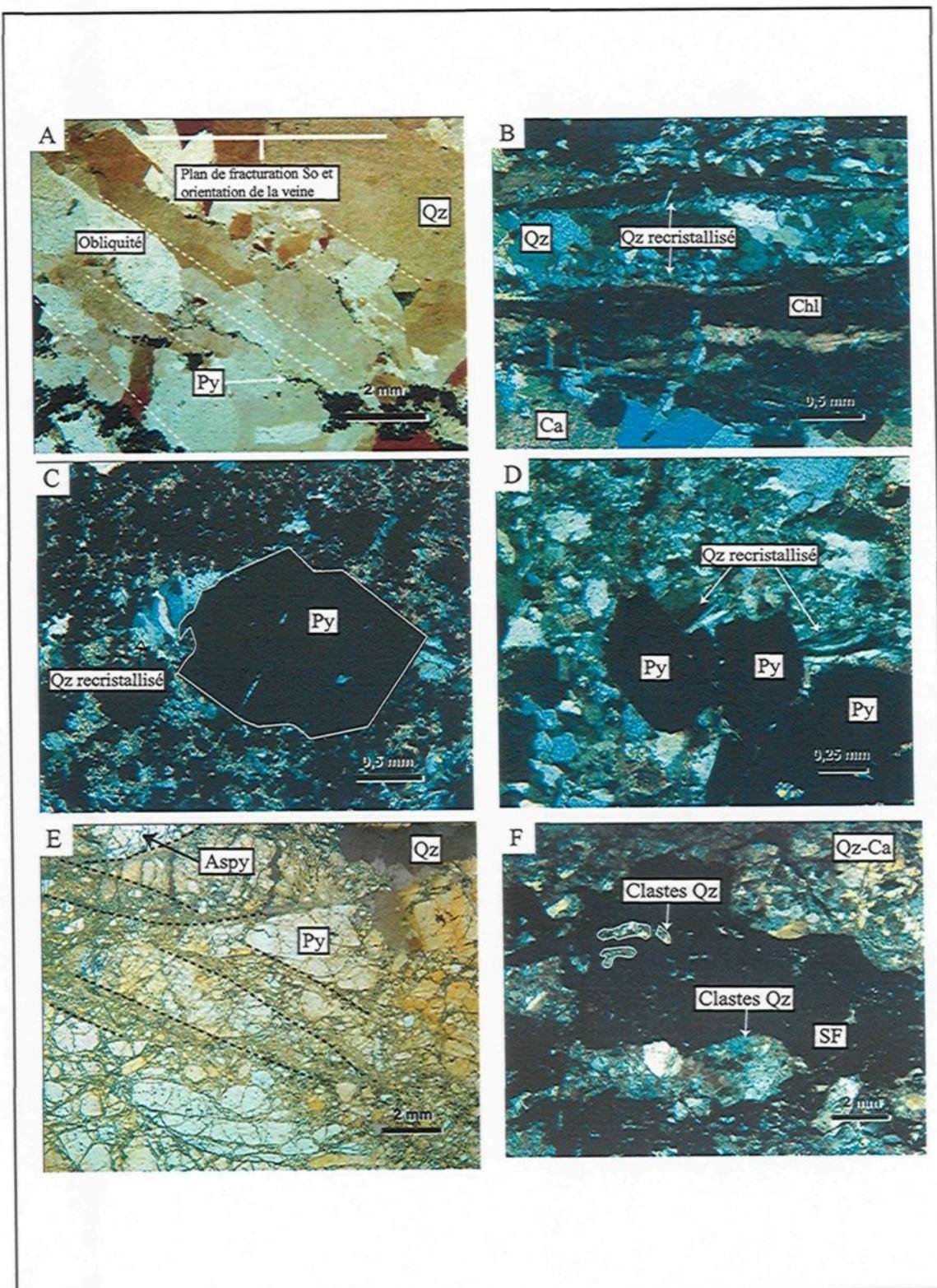


Figure 3.14 - a) Échantillon EM5-A, site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. Veine faiblement déformée avec des cristaux de quartz en peigne montrant une faible déformation plastique matérialisée par une extinction roulante et par la recristallisation locale des carbonates en grains plus fins. Lumière transmise polarisée, 2.5 X. b) Échantillon EM9-1B, site 1950-GLN, veine Jimena. Échantillon de veine faiblement déformé avec mise en place des sulfures aux pourtours des grains de quartz idiomorphes.

Figure 3.15 - a) Échantillon EM7-2, site 1757-GLE, veine Mercedes. Veine secondaire faiblement déformée avec la précipitation des sulfures interstitielles aux grains de quartz montrant une texture en peigne. Les cristaux de quartz obliques (lignes blanches) favorisent une lamination des sulfures à angle par rapport au plan de fracturation parallèle à la veine. Lumière transmise naturelle. b) Échantillon EM1-12b, site 2190-GLN, veine La Brava. Veine de quartz-carbonates avec incorporation de lamines et/ou fragments de roche encaissante altérés en chlorite. Remarquez la recristallisation du quartz en grains plus fins en bordure des lamines de roche encaissante. Lumière transmise polarisée. c) Échantillon EM7-2, site 1757-GLE, veine Mercedes. Ombres de pression, matérialisée par la recristallisation du quartz, aux pourtours d'un grains de pyrite dans une veine secondaire. Lumière transmise polarisée. d) Échantillon EM7-6, site 1757-GLE, veine Mercedes. Ombres de pression, matérialisée par la recristallisation du quartz, aux pourtours d'un grains de pyrite dans la zone d'altération. Lumière transmise polarisée. e) Échantillon EM5-1, site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. Pyrite-arsénopyrite fracturées. Remarquez les plans de décollement où les sulfures sont fortement fracturés et broyés (ligne noire). Ces plans sont généralement sub-parallèles au plan de la veine. Lumière réfléchie. f) Échantillon EM5-8A, site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. Veines de quartz-carbonates montrant des clastes de quartz avec extinction roulante incorporés dans les sulfures. Lumière transmise polarisée.



La déformation fragile est communément observée dans la pyrite et/ou l'arsénopyrite et se matérialise par de la fracturation, de la fragmentation ou le broyage de ces deux sulfures (Figure 3.15e). Il est également possible d'observer la cataclase du quartz (Figure 3.15f). Les clastes de quartz sont observés dans les sulfures et sont de dimensions variables. Les grains de quartz dans les clastes contiennent généralement une extinction roulante.

On peut observer deux comportements des sulfures sur un même site. La figure 3.16a montre des veinules ou des plages xénomorphes de sphalérite et de galène recouvrant les éléments de la déformation (clastes de pyrite et d'arsénopyrite). Dans certaines circonstances, la pyrite peut réagir de manière fragile quand les autres sulfures réagissent sous des conditions ductiles (Marshall et Gilligan, 1987), ce qui pourrait expliquer le comportement différent de la pyrite-arsénopyrite et de la sphalérite-galène.

La figure 3.16b est un excellent exemple de la réaction de la déformation sur la veine. La partie basale de la figure montre des textures primaires avec des sulfures peu déformés. Plus on s'approche de la veinule de carbonates, plus la déformation devient intense. Cette intensité croissante de la déformation est matérialisée par la recristallisation en grains plus fins des carbonates et du quartz ainsi que la fracturation et le démembrement de la pyrite et localement la remobilisation de la chalcopyrite aux pourtours des grains de pyrite. La veinule de carbonates représente en fait l'anisotropie favorable dans l'échantillon pour concentrer le maximum de déformation. Plus on s'éloigne de cette anisotropie, plus l'intensité de la déformation diminue. Les carbonates auraient pu se mettre en place durant la déformation. Mais les grains de carbonates peu déformés associés aux grains de quartz peu déformés supposent que ceux-ci se sont mis en place d'une manière synchrone au quartz et ce, avant la déformation. Dans cet exemple, la déformation paraît alors plus intense dans les veines ayant un caractère anisotrope plus élevé. Ce phénomène peut s'expliquer par les anisotropies favorables à l'intérieur de la veine (laminés et/ou fragments de roche encaissante, veinules) et qui concentrent la déformation en bordure de ces anisotropies.

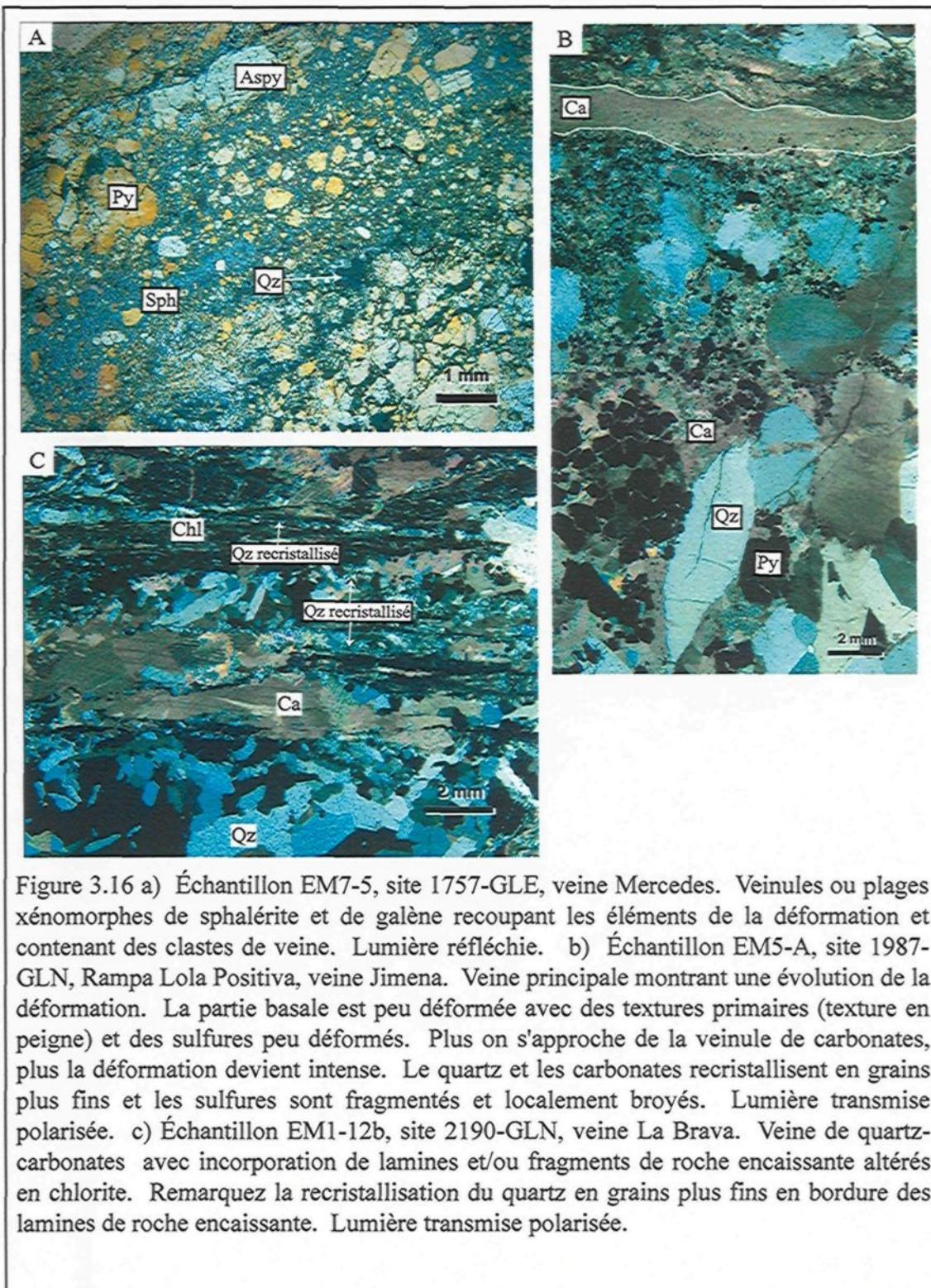


Figure 3.16 a) Échantillon EM7-5, site 1757-GLE, veine Mercedes. Veinules ou plages xénomorphes de sphalérite et de galène recoupant les éléments de la déformation et contenant des clastes de veine. Lumière réfléchie. b) Échantillon EM5-A, site 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, veine Jimena. Veine principale montrant une évolution de la déformation. La partie basale est peu déformée avec des textures primaires (texture en peigne) et des sulfures peu déformés. Plus on s'approche de la veinule de carbonates, plus la déformation devient intense. Le quartz et les carbonates recristallisent en grains plus fins et les sulfures sont fragmentés et localement broyés. Lumière transmise polarisée. c) Échantillon EM1-12b, site 2190-GLN, veine La Brava. Veine de quartz-carbonates avec incorporation de lamination et/ou fragments de roche encaissante altérés en chlorite. Remarquez la recristallisation du quartz en grains plus fins en bordure des lamination de roche encaissante. Lumière transmise polarisée.

La figure 3.16c est un autre exemple de répartition de la déformation. Cette figure montre une veine de quartz-carbonates avec incorporation de lamines et/ou fragments millimétriques de roche encaissante altérés en chlorite. Les cristaux de quartz ont préservés leurs textures primaires (texture en peigne) mais en bordure des lamines de roche encaissante, le quartz recristallise en grains plus fins. Boullier et Robert (1992) affirment que la recristallisation dans une veine n'est pas uniformément développée, variant d'un incrément d'ouverture-remplissage à un autre durant l'histoire de la déformation de la veine. La déformation se partitionne donc dans la veine dépendamment des anisotropies présentes et favorables pour encaisser la déformation.

### *3.1.6.3 – Synthèse*

**Le style ductile se caractérise par :**

- des extinctions roulantes du quartz;
- de la recristallisation dynamique;
- des alignements préférentiels de grains formant une fabrique.

La déformation ductile peut être interprétée comme un phénomène tardif à la formation de la veine en raison de la présence systématique de fragments de roches encaissantes altérés et incorporés dans la veine qui ont été préservés de l'empreinte de la déformation ductile au sein de la veine rigide. La déformation ductile est plus un phénomène superposé à la formation de la veine et à la minéralisation aurifère. Ce fait s'explique par les nombreuses textures de quartz primaires avec sulfures associés ainsi que le quartz recristallisé aux pourtours des sulfures (eg. ombre de pression).

**Le style fragile se caractérise par :**

- de la fracturation, du démembrément et du broyage dans les grains de pyrite-arsénopyrite;
- de la cataclase du quartz formant des clastes de dimension variable.

Dans les portions de veines plus déformées, le quartz montre des extinctions roulantes, des fabriques de recristallisation, des bandes de déformation et localement

des ombres de pression aux pourtours des grains de pyrite. La pyrite et l'arsénopyrite vont surtout réagir de manière fragile en se fracturant, se démembrant et localement en se broyant. Au contraire, la sphalérite, la chalcopyrite et la galène se présentent en veines ou en bandes recouplant les éléments de la déformation et contenant des clastes de veine, phénomènes qui permettent de déduire une remobilisation. Le comportement fragile de la pyrite-arsénopyrite et le comportement ductile de la sphalérite-galène-chalcopyrite sont possibles dans certaines circonstances (Marshall et Gilligan, 1987). De plus, la pyrite est un sulfure extrêmement rigide et cassant même à des températures et des pressions élevées (Clark et Kelly, 1976) et elle peut se fracturer durant et après une phase de déformation (Graf et Skinner, 1970). Tandis que des sulfures comme la galène (plus ductile des sulfures ; Clark et Kelly, 1976), la sphalérite et la chalcopyrite ont des comportements plus ductiles à des conditions de pression-température au faciès des schistes verts. La compétence de ces trois sulfures est diminuée avec un accroissement de la température (Clark et Kelly, 1976).

La déformation fragile cataclastique se superpose sur la déformation ductile puisqu'on reconnaît des clastes de quartz montrant les évidences de recristallisation et d'extinction roulante. Cette déformation fragile est tardive à la formation de la veine et à la déformation ductile. La déformation fragile est responsable de décalages de la veine le long de fractures transversales et de la formation des zones cataclasées dans la veine et surtout le long des anisotropies pré-existantes.

La déformation dans les veines semble plus importante lorsque l'épaisseur de la veine est faible (veines multiples ou uniques, figures 3.2, 3.5 et Annexe C). Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la déformation est concentrée sur une petite section de la veine et du fait qu'une veine plus épaisse possède une ossature plus rigide. En appliquant cette même déformation sur une veine ayant une puissance plus importante, la matérialisation de la déformation dans la veine sera par conséquence beaucoup moins visible. Sur les figures 3.3 et 3.6, la texture laminée/rubanée est associée à une déformation de moyenne à forte intensité tandis que les textures de remplissage d'espaces ouverts (en peigne, voïde), massif ou avec fragments d'éponges sont associés à une déformation de faible à moyenne intensité. La déformation semble

donc se partitionner dépendamment de la morphologie et des textures présentes dans la veine. La texture laminée/rubanée semble plus favorable à encaisser la déformation que les autres faciès. Une autre explication serait que les textures de remplissage d'espaces ouverts ne sont visibles seulement lorsque la déformation est de faible intensité et qu'il y ait donc préservation de ces textures.

### ***3.1.6.3 – Sommaire***

À la lumière des informations recueillies, quelques éléments de synthèse peuvent être émis:

1. Les veines Mercedes et Jimena ont enregistré deux styles de déformation: un style ductile et un style fragile.
2. Le style de déformation ductile précède le style fragile et les deux déformations post-datent la formation de la veine (Figure 3.9). Le fait le plus marquant qui vient appuyer cette hypothèse est la présence de fragments d'épontes altérés et incorporés dans la veine avec texture magmatique préservées et absence de schistosité. Un fait important est qu'une première phase de déformation fragile, anté-formation de la veine, était présente avant ces deux styles de déformation (Figure 3.9).
3. La déformation se partitionne dans la veine selon son épaisseur, sa morphologie, les textures et les anisotropies présentes dans la veine.
4. Même s'il s'agit d'événements distincts, ces deux styles de déformation peuvent se produire dans une continuité d'une même déformation soit par l'enfouissement ou la remontée des veines après enfouissement.

Les relations veine-déformation observées aux sites d'études suggèrent que les veines Mercedes et Jimena sont anté-déformation. La déformation viendrait se superposer aux veines et n'aurait donc aucun lien génétique avec leurs formations.

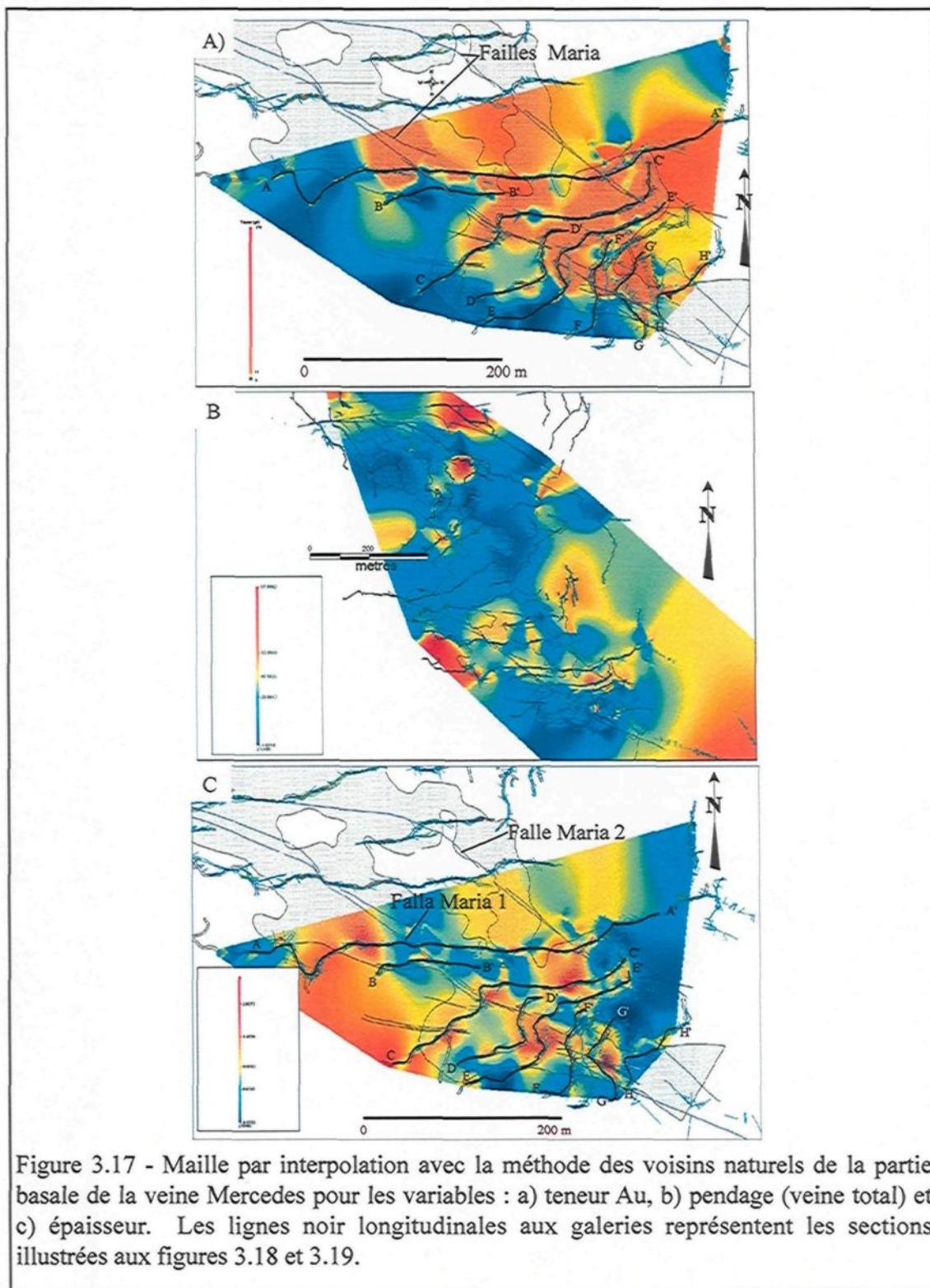
### 3.1.7 – Relation entre la teneur en Au, le pendage et l'épaisseur

#### 3.1.7.1 – Veine Mercedes

Quelques cartes de variation furent générées avec les données disponibles fournies par la mine d'une portion de la veine Mercedes pour les variables suivantes : teneur Au, épaisseur et pendage (Figure 3.17). Le logiciel MapInfo-Vertical Mapper™ a été utilisé afin de générer des mailles par interpolation selon la méthode des voisins naturels. Les différentes mailles ainsi créées peuvent être comparées et des coupes le long de la direction de la veine sont générées afin d'isoler les variations dans une direction donnée (Figures 3.18 et 3.19).

La figure 3.18 montre clairement que les zones de hautes teneurs de la partie basale de la veine Mercedes sont généralement localisées soit au N-E de la faille Maria ou près du contact de celle-ci et ce, de manière quasi-systématique. Un fait intéressant est qu'il y a presque toujours un décalage vers l'est de 10 à 15 mètres avec les pics de hautes teneurs et la position de la faille Maria. Le lien spatial entre les failles, les pics de hautes teneurs à proximité de ces failles et la position des vecteurs minéralisés de la veine Mercedes permet de croire à un lien génétique. Les sections permettent également d'observer l'effet de pépite de la teneur en Au dans la veine. Cet effet est matérialisé par une variation en dents de scie généralement bien développée.

Le pendage varie généralement de sub-horizontal à 30° avec des pics jusqu'à 40°. Les zones de forts pendages sont observées à proximité des systèmes des failles La Brava et Maria (Figure 3.17b). Ces variations peuvent s'expliquer par la perturbation de la veine en bordure de ces failles comme observées sur le site 1987-GLN, zone de failles Cori Huarmi et 1987-GLN, Rampa Bonita Negativa. Sur ces deux sites, la veine est plissée, change de pendage et de direction sur de courte distance. La proximité des failles majeures pourrait expliquer ces variations d'attitude de la veine.



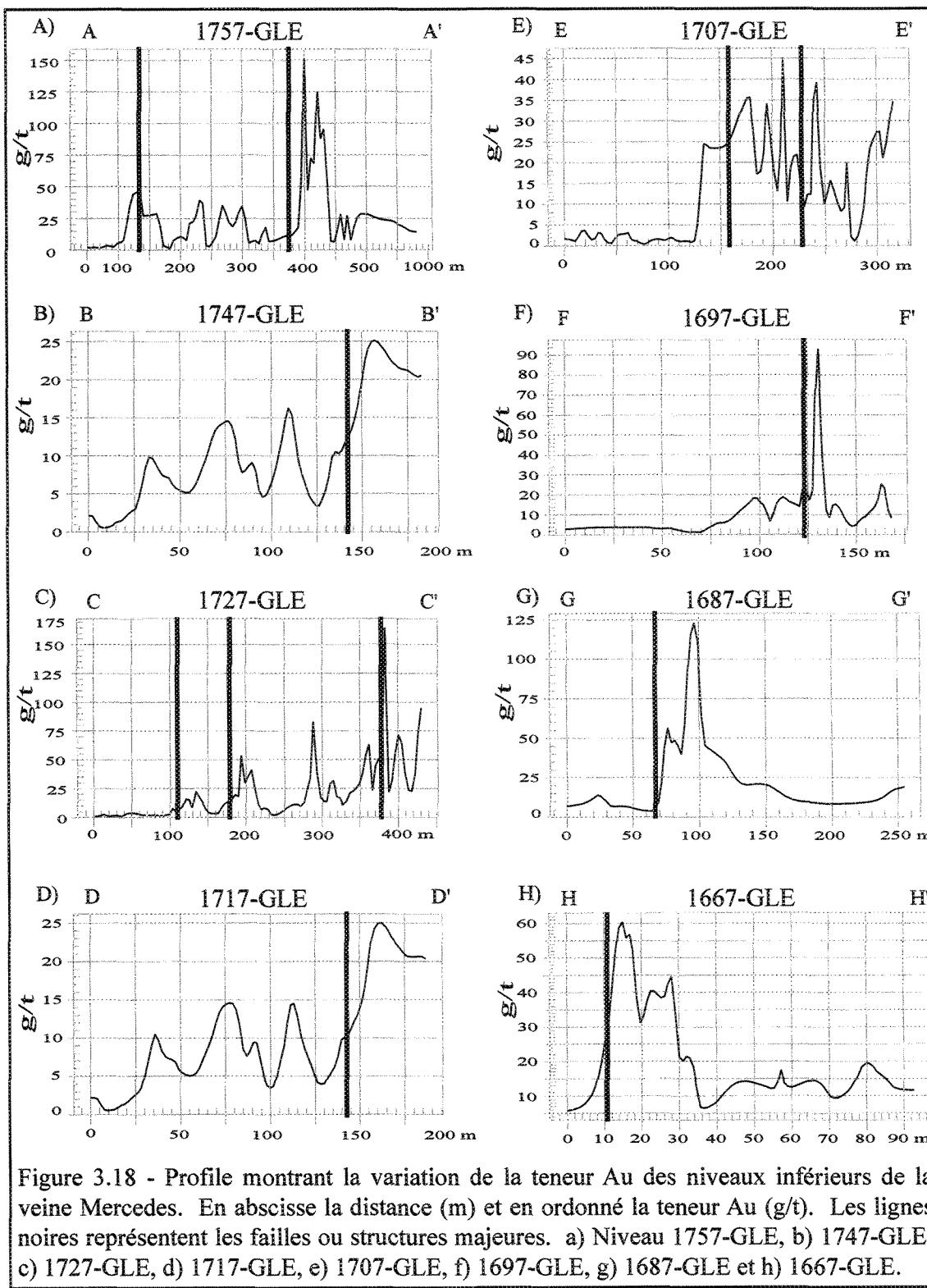


Figure 3.18 - Profile montrant la variation de la teneur Au des niveaux inférieurs de la veine Mercedes. En abscisse la distance (m) et en ordonné la teneur Au (g/t). Les lignes noires représentent les failles ou structures majeures. a) Niveau 1757-GLE, b) 1747-GLE, c) 1727-GLE, d) 1717-GLE, e) 1707-GLE, f) 1697-GLE, g) 1687-GLE et h) 1667-GLE.

La figure 3.19 illustre la variation de l'épaisseur de la veine Mercedes dans les galeries inférieures. À l'image des profils des teneurs aurifères, l'épaisseur de la veine a tendance à augmenter en bordure du système de failles Maria (exception galerie 1717-GLE ; Figure 3.19d). Cette augmentation de l'épaisseur peut facilement s'expliquer par un phénomène de duplication, visible sur les plans de la mine, qui augmente considérablement le potentiel de la veine. Cette épaisseur apparente est en effet biaisée par l'effet de la déformation sur l'épaisseur réelle de la veine Mercedes.

Les cartes de variation ont permis de confirmer un lien spatial entre les hautes teneurs aurifères et la présence du système de failles Maria. Les pics ponctuels se retrouvent soit en bordure ou à proximité du système de failles Maria.

### ***3.1.7.2 – Veine Jimena***

Pour la veine Jimena, la maille par interpolation est produite avec la méthode de l'inverse de la distance au carré. Les données disponibles ont permis de produire la maille que pour la variable teneur en Au. La maille et les sections sont présentées à la figure 3.20 et seulement les secteurs cartographiés ont été utilisés.

Les sections permettent d'observer les relations suivantes :

- L'effet de pépite de la variable teneur en Au est visible et matérialisé par un motif en dents de scie localement bien développé (1987-GLN, Rampa Lola positiva, 1950-GLN, tajo 7977, 1950-GLN et 1937-GLN et GLS);
- Un pic de haute teneur en Au est associé spatialement avec la localisation des structures majeures interprétées sur deux sites de cartographies (1950-GLN, tajo 7977 et 1937-GLN et GLS).

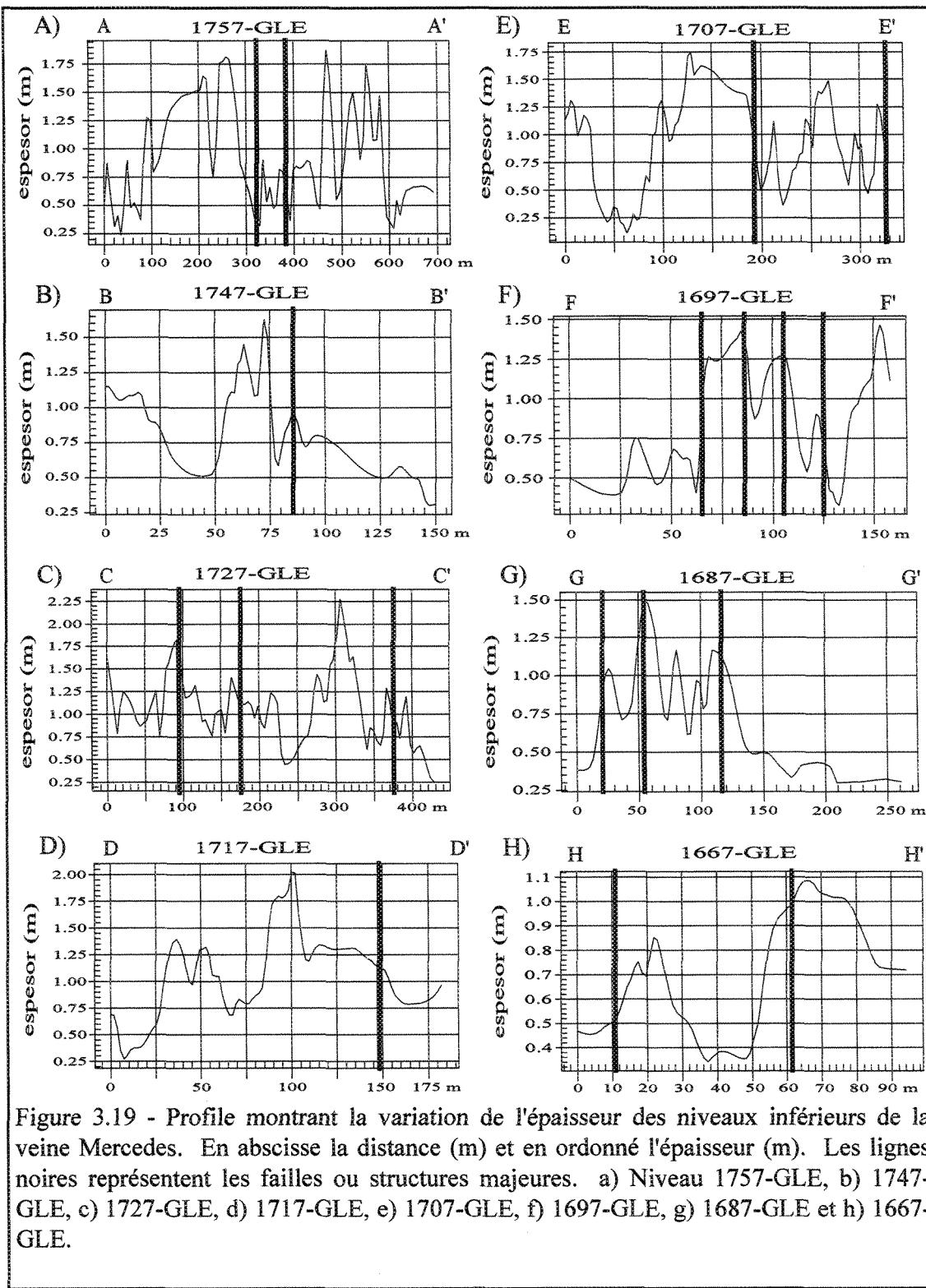
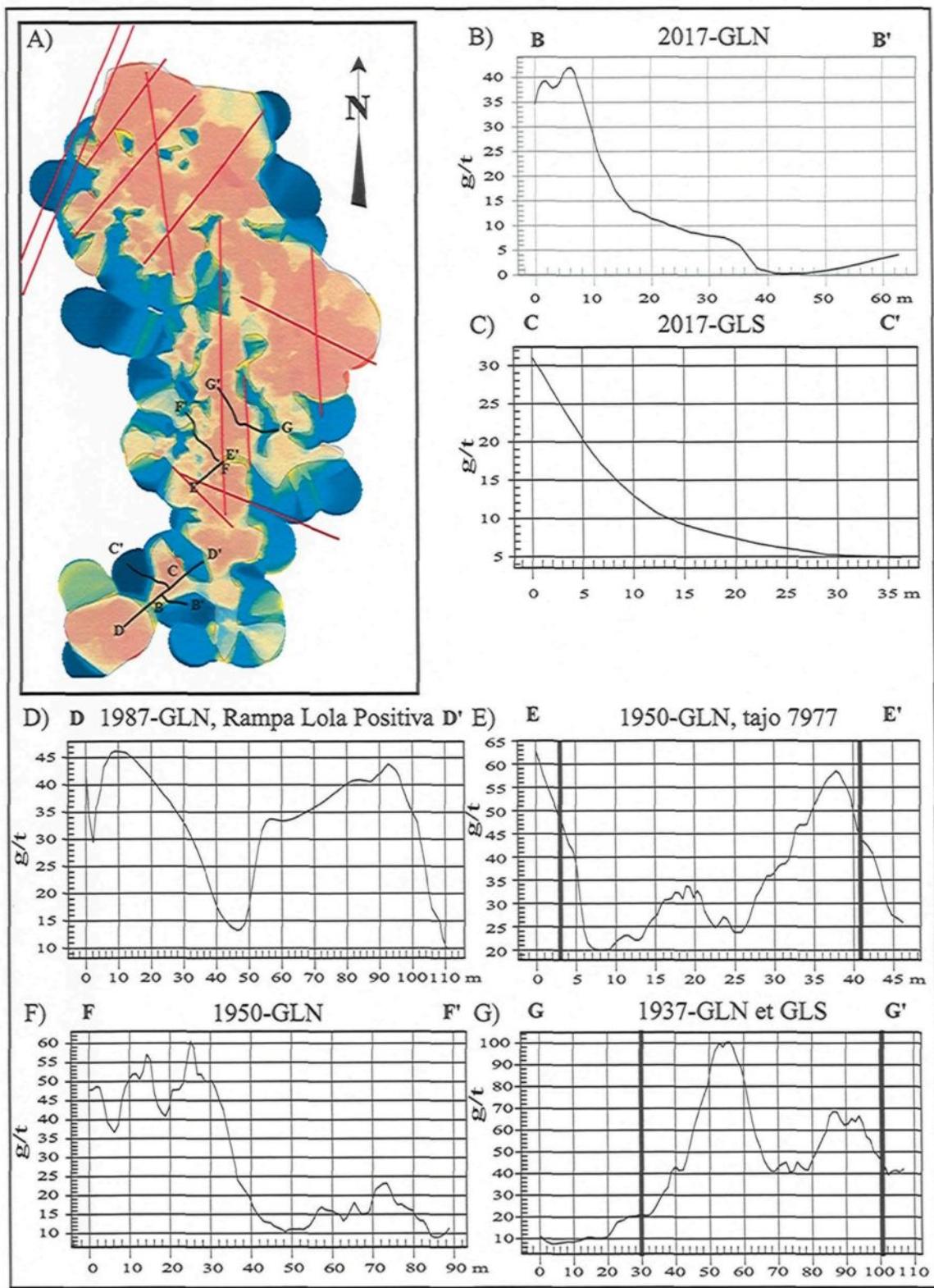


Figure 3.19 - Profile montrant la variation de l'épaisseur des niveaux inférieurs de la veine Mercedes. En abscisse la distance (m) et en ordonné l'épaisseur (m). Les lignes noires représentent les failles ou structures majeures. a) Niveau 1757-GLE, b) 1747-GLE, c) 1727-GLE, d) 1717-GLE, e) 1707-GLE, f) 1697-GLE, g) 1687-GLE et h) 1667-GLE.

Figura 3.20 - a) Maille par interpolation avec la méthode de l'inverse de la distance au carré de la variable teneur à la veine Jimena. Les lignes noires représentent la localisation des profils et les lignes rouges représentent les failles ou structures majeures interprétées. Les profils montrent la variation de la teneur en Au sur les sites d'études à la veine Jimena. En abscisse la distance (m) et en ordonné la teneur Au (g/t). Les lignes noires sur les profils représentent les failles ou structures majeures. b) Niveau 2017-GLN, c) 2017-GLS, d) 1987-GLN, Rampa Lola Positiva, e) 1950-GLN, tajo 7977, f) 1950-GLN et g) 1937-GLN et GLS.



### 3.1.8 – Rôle des failles

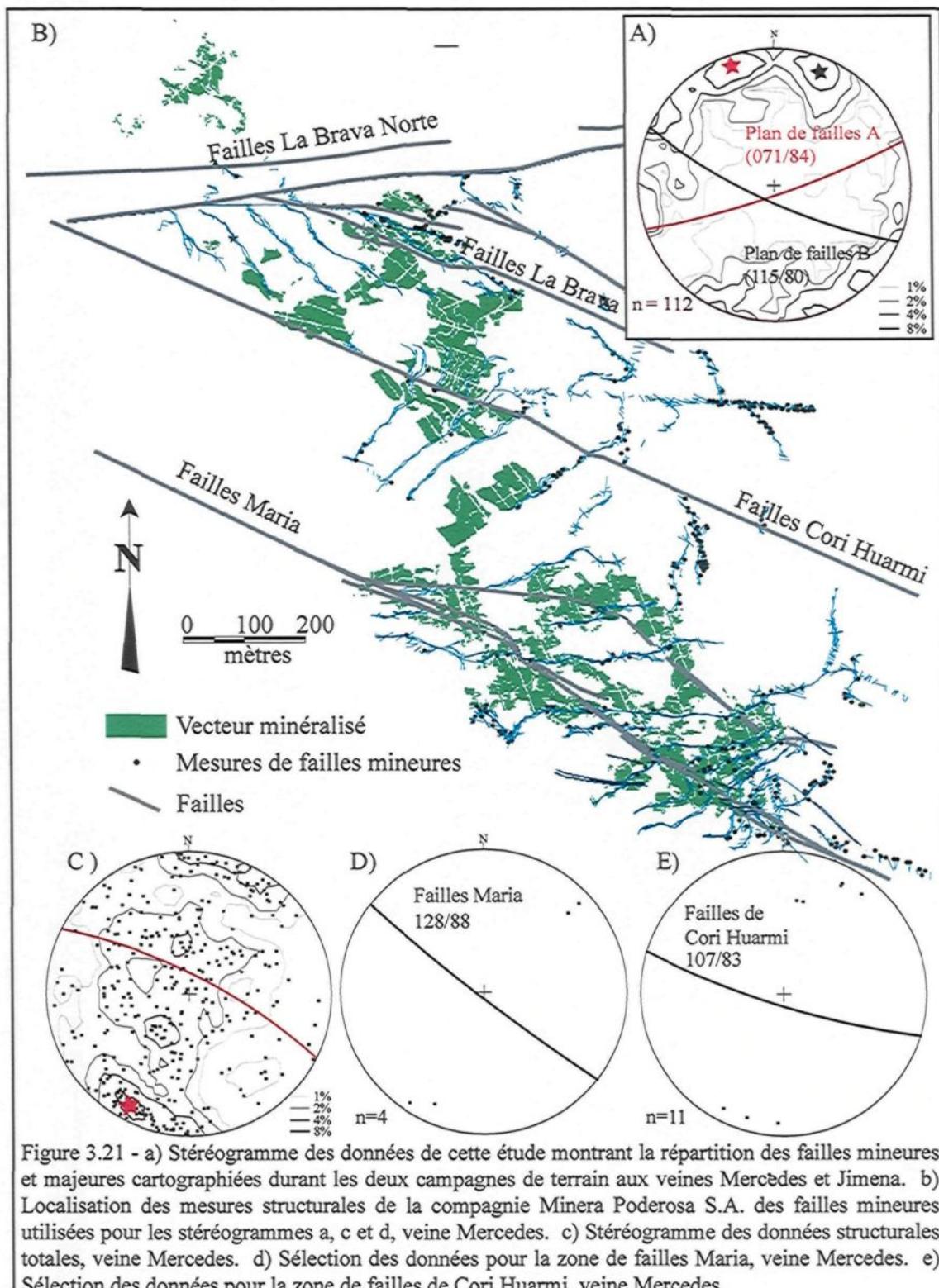
Cette section porte sur la synthèse des failles étudiées sur le terrain (systèmes de failles La Brava et de Cori Huarmi) ainsi que de l'intégration des données structurales personnelles de terrain et de la mine sur les failles majeures et sur les failles mineures.

#### 3.1.8.1 – *Synthèse et intégration des données totales des failles*

Le stéréogramme équiaire à la figure 3.21a présente les données de cette étude des failles mesurées à la veine Mercedes durant les deux campagnes de terrain. Une famille de fractures-failles (Famille B) a une attitude moyenne de  $115^{\circ}$  avec un pendage de  $80^{\circ}$  vers le NE, ce qui concorde bien avec les attitudes des failles Maria et Cori Huarmi (Figure 3.21d et e). Le plan de failles moyen de la famille A ( $071^{\circ}/84^{\circ}$ ) sur ce même stéréogramme s'apparente avec l'orientation du système de failles La Brava Norte. La figure 3.21b présente une compilation des mesures de failles mineures et majeures provenant de la veine Mercedes et fournies par la compagnie Minera Poderosa S.A. Le stéréogramme 3.21c contient toutes les données qui sont localisées à la figure 3.21a. Il est intéressant de constater que la famille de fractures-failles dominantes donne une orientation similaire aux failles majeures (La Brava, Cori Huarmi et Maria). L'orientation moyenne de cette famille de fractures-failles est ONO-ESE avec un pendage de  $85^{\circ}$  vers le SO. Ces données sont concordantes avec les données structurales personnelles des failles cartographiées durant les deux campagnes de terrain. Les failles vont généralement recouper les veines et entraînent des changements dans l'attitude et/ou le pendage de la veine par des effets d'entraînement ou de plissement en bordure de celles-ci.

#### 3.1.8.2 – *Altération*

Les zones d'altération observées aux pourtours des failles majeures sont d'épaisseur pluri-métriques et généralement de moyenne à forte intensité. Les minéraux de remplacement varient dépendamment de la lithologie encaissante. Lorsque la roche



encaissante est de la diorite, les minéraux d'altération dominants sont la chlorite et la séricite. Pour la granodiorite, c'est le quartz et la séricite que l'on observe en plus grande quantité et de l'épidote  $\pm$  chlorite pour les dykes andésitiques. Lorsque la lithologie est différente de part et d'autre de la faille (systèmes de failles de Cori Huarmi), l'intensité et l'épaisseur de la zone altérée ne sont pas les mêmes de chaque côté. La différence de compétence qui affecte directement le degré de fracturation pourrait expliquer cette variabilité de l'intensité d'altération d'une lithologie à l'autre. Ces zones d'altération majeures de la roche encaissante montre qu'une quantité de fluides hydrothermaux a circulé par ces anisotropies.

### 3.2 – Comparaison entre les veines Mercedes et Jimena

À la suite des interprétations de ces données, une comparaison entre les deux veines étudiées est de mise. La comparaison se divise en deux parties (similitudes et différences) et sera présentée sous forme de points.

#### A- Similitudes

- L'attitude respective des deux veines correspond avec l'orientation d'une famille de fractures dominantes rencontrées sur chaque site.
- Les sites de cartographies situés près des failles majeures ont des fractures associées sub-parallèles à ces failles et les sites situés loin des failles ont des fractures associées sub-parallèles aux veines.
- Quatre (4) assemblages minérale sont observés : (1) Ser/Mv + Chl; (2) Qz + Ca; (3) Qz + Py + Aspy  $\pm$  Ca  $\pm$  Au; (4) Qz + Sp  $\pm$  Ga  $\pm$  Cpy  $\pm$  Ca  $\pm$  Au.
- L'or est spatialement associé avec les assemblages (2) et (3) : Qz + Py + Aspy  $\pm$  Ca et Qz + Sp  $\pm$  Ga  $\pm$  Cpy  $\pm$  Ca. L'or semble synchrone à ces deux événements de minéralisation.
- La texture laminée/rubannée et la texture des fragments d'épontes incorporés, altérés et souvent bréchifiés sont les deux textures les plus communes aux deux veines. D'autres textures sont observées telles que les textures de remplissage d'espaces ouverts (texture en peigne et les zones de voïde). Ces textures

peuvent expliquer le mode de formation des deux veines par un mécanisme d'ouverture-remplissage *crack-seal* tel que défini par Ramsay (1980).

- Des zones de brèche sont observées au mur des veines et ont un motif caractéristique en « casse-tête » suggérant une bréchification assisté par les fluides (hydraulique) *in situ* (Jébrak, 1997).
- L'incorporation et l'isolement des fragments d'épontes au sein de la veine s'expliquent par un processus de bréchification de la roche encaissante et par l'injection de fluides hydrothermaux qui décrochent ces fragments du toit et du plancher de la veine (*crack-seal*; Ramsay, 1980). Les fragments d'épontes sont alors incorporés au fur et à mesure que la veine croît et sont ainsi isolés dans la veine.
- Les fragments d'éponte isolés dans la veine et les fragments dans les brèches au mur de la veine ont préservé leurs textures magmatiques et n'ont pas de schistosité. Ce fait démontre l'absence de déformation ductile dans les épontes lors de la formation des veines Mercedes et Jimena. Cette observation systématique implique nécessairement des veines anté-déformation.
- Deux styles de déformation sont par contre observés aux veines Mercedes et Jimena : un style ductile et un style fragile.
- Le style de déformation ductile précède le style de déformation fragile. Les deux déformations se superposent sur les veines et par conséquent, post-datent la formation des veines.
- Les mêmes textures sont observées dans les sulfures pour les deux veines.
- La même altération des épontes est observée pour les deux veines, soit une altération en séricite-chlorite accompagnée de pyrite, de quartz et de carbonates.
- La composition du halo d'altération varie dépendamment de la lithologie encaissante et son épaisseur varie de quelques centimètres à 2 mètres.
- Le cœur du vecteur minéralisé correspond à des veines composites tandis qu'une structure altérée sans le développement de veine est observée en dehors des vecteurs minéralisés et correspond à des contacts lithologiques diorite-granodiorite.

- Les rubans ou amas de sulfures massifs se situent dans les secteurs de la veine où il y a absence de fragments d'éponte isolés dans celle-ci.
- Les zones de haute teneur Au sont associées avec les veines composites avec des textures, en ordre d'importance, 1) laminée/rubannée, 2) avec fragments d'épontes incorporés dans la veine et finalement 3) les textures de remplissage d'espaces ouverts (texture en peigne et zone de voïde).
- Les pics de haute teneur Au à la veine Mercedes et localement à la veine Jimena sont associés spatialement à la proximité de structures majeures.
- Les zones d'altération observées aux pourtours des failles majeures étudiées à la veine mercedes sont de grande envergure en terme d'épaisseur (pluri-métrique) et de l'intensité de l'altération. Aucune faille majeure ne fut étudiée à la veine Jimena.

#### B- Différences

- L'orientation moyenne de la veine Mercedes est de 060°/30° tandis que l'orientation moyenne de la veine Jimena est de 312°/14°.
- La veine Mercedes est à pendage plus fort (30°) que la veine Jimena (14°).
- L'épaisseur de la veine Jimena est plus forte que la veine Mercedes.
- Les fractures associées et sub-parallèles à la veine Mercedes ont une orientation moyenne de 080°/30° et orientées 322°/33° à la veine Jimena.
- La proportion de sphalérite et de galène est plus élevée à la veine Jimena qu'à la veine Mercedes aux sites étudiés.
- La morphologie dominante pour la veine Mercedes est les veines multiples et les veines uniques et la morphologie dominante pour la veine Jimena sont les veines composites.
- Les zones de basse teneur Au sont associées spatialement à une structure altérée sans veines pour la veine Mercedes et à des veines uniques pour la veine Jimena.

## CHAPITRE IV

### SYNTHÈSE, DISCUSSION ET CONCLUSIONS

#### 4.1 – Relation veine-déformation

Dans l'analyse structurale des veines aurifères, la détermination des éléments de déformation qui résulte de la formation de la veine durant le développement des différents incrément d'ouverture-remplissage dans les structures actives ou de la superposition de la déformation sur les veines pré-existantes est critique (McCuaig et Kerrich, 1998). De plus, l'âge relatif de la déformation par rapport aux structures encaissantes permet de déterminer le ou les contrôles structuraux sur la minéralisation et permet de sélectionner des modèles de dépôts d'or appropriés (Robert et Poulsen, 2001). Trois hypothèses sont alors possibles pour la formation des veines de la région de Pataz : (1) des veines anté-déformations, (2) des veines syn-déformations et (3) des veines post-déformations.

L'étude des veines Mercedes et Jimena au district aurifère de Pataz suggère que la formation des veines est anté-déformation ductile. À l'échelle mésoscopique, l'observation systématique de fragments de roche encaissante altérés et incorporées dans la veine, sans développement de schistosité à l'intérieur, est le fait le plus marquant qui permet de situer la formation des veines avant la déformation. Une schistosité imprégnée dans les fragments aurait clairement indiqué que les veines se seraient formées dans une zone de cisaillement pré-existante ou synchrone au développement de la veine (Robert et Poulsen, 2001).

Certains auteurs affirment (Marshall et Gilligan, 1987 ; Robert et Poulsen, 2001) que les sulfures et/ou les veines sulfurées sont plus compétents que l'enveloppe silicatée

altérée aux pourtours des gisements. Cette différence de compétence est causée par les minéraux d'altération tels que la séricite, les carbonates et la chlorite. La déformation aura tendance à se concentrer dans les épontes altérées puisque la roche encaissante est attendrie par le passage des fluides hydrothermaux. Le plan de la veine devient par conséquent une hétérogénéité favorisant le cisaillement au toit et au mur de la veine expliquant ainsi le développement d'une schistosité plus ou moins parallèle au plan de la veine principale. L'implication d'une structure de déformation pré-existante pour expliquer la formation des veines synchrones avec la déformation constitue généralement un plan continu et régulier dans la roche hôte. Sur les sites étudiés aux veines Mercedes et Jimena, la zone de déformation observée dans les épontes est discontinues et irrégulière. Localement, cette zone de déformation est inexistante dans le halo d'altération aux pourtours de la veine. Cette morphologie hétérogène de la zone de déformation au toit et au mur de la veine peut s'expliquer par une partition de la déformation sur le plan de la veine. Les secteurs montrant le développement d'une veine sans déformation dans les épontes indiquent une fois de plus que la formation des veines s'est produite sans processus de déformation ductile et démontre que ce phénomène se superpose sur le plan de la veine une fois que celle-ci a atteint sa maturité.

À l'échelle de l'échantillon, les nombreuses textures de quartz primaires observées avec sulfures interstitiels démontrent bien une fois de plus l'absence de déformation ductile lors de l'injection des sulfures et de la minéralisation aurifère associée. De plus, les textures de recristallisation du quartz comme les fabriques de recristallisation dynamique et les ombres de pression observées sur plusieurs sites indiquent une superposition de la déformation sur la minéralisation (Robert et Poulsen, 2001).

Il est par contre intéressant de noter que la déformation se partitionne dans la veine dépendamment de la morphologie et des textures observées dans la veine. Une texture laminés et/ou rubanés implique la présence d'anisotropies favorisant une concentration de la déformation sur ces sections de la veine. C'est pourquoi il est possible d'observer dans une veine composite et sur un même site de cartographie des sections de la veine peu déformées et d'autres sections beaucoup plus déformées. Cette partition de la

déformation indique également que la déformation sur le plan de la veine n'est pas un processus continu et homogène. Un secteur de la veine peut subir une forte déformation pendant qu'un autre secteur à proximité n'est pas favorable à encaisser la déformation. Ces variations peuvent être attribuables en outre à des différences de la lithologie encaissante, d'orientation du plan de la veine, d'épaisseur de la veine, de textures, de densité de fractures dans la zone d'altération et l'intensité de la zone altérée. Tous ces facteurs combinés avec la présence de la déformation superposée sur le plan de la veine induisent une partition de la déformation sur la veine et confère à la veine un aspect parfois complexe. Cette complexité est par contre un phénomène superposé à la formation même de la veine.

#### 4.2 – Relation veines-fractures

Le développement d'un système de fractures joue un rôle essentiel pour le contrôle local de la distribution de la perméabilité et pour l'architecture macroscopique de la canalisation des fluides hydrothermaux (Cox et *al*, 2001). Bergbauer et Martel (1999) démontrent que des systèmes de fractures peuvent se développer tôt dans l'histoire de la formation d'un batholite par différence thermique entre la roche encaissante et l'intrusion et également entre les différentes phases de l'intrusion.

Le développement de ces fractures a créé une architecture favorable pour la circulation des fluides hydrothermaux et des fluides minéralisateurs dans la roche encaissante. Par contre, seulement quelques unes de ces fractures réunissaient les conditions physiques idéales pour le développement de veines (continuité et connectivité des fractures). Ces fractures-veines sont contrôlées par les anisotropies pré-existantes dans l'intrusion ou se développent parallèles à la contrainte principale  $\sigma_1$  et lorsque  $\sigma_3$  est égal ou plus élevé que la force cohésive de la roche (Cox et *al*., 2001, Robert et Poulsen, 2001). Une fracture-veine en extension peut également se développer par une fracturation hydraulique (pression des fluides) lorsque  $P_f > \sigma_3 + T$  où  $T$  est la force cohésive de la roche (Robert et Poulsen, 2001). Les nombreuses textures d'extension rencontrées aux veines Mercedes et Jimena tendent à démontrer

que ces fractures se sont ouvertes par une fracturation hydraulique et un mécanisme répété d'ouverture-remplissage ou *crack-seal* (Ramsay, 1980). Cette affirmation est corroborée par des vecteurs d'ouvertures pluridirectionnelles observés sur le plan de veine sur plusieurs sites de cartographies. Par contre, le vecteur d'ouverture global peut être perpendiculaire au plan de la veine comme observé aux veines Mercedes et Jimena. Les textures rubanées et radiales (textures d'espaces ouverts) se développent surtout dans la croûte supérieure où la pression des fluides est près de la pression hydrostatique (Vearncombe, 1993).

#### 4.3 – Rôle des failles majeures et contrôles des *oreshoots*

Le lien spatial entre la localisation des failles majeures et la présence des vecteurs minéralisés dans la veine suggère un lien génétique. Ce lien spatial est vérifié par les cartes de variation de la teneur Au (Figures 3.18a, 3.19 et 3.21) où des pics de hautes teneurs Au sont observés en bordure ou près du système de failles Maria pour la veine Mercedes et à proximité de quelques structures majeures pour la veine Jimena. Par contre, les valeurs en Au mesurées dans les zones de failles sont non-économiques à l'heure actuelle (1 à 3 g/t Au). Les faibles teneurs en or sont matérialisées par des lentilles de quartz-sulfures boudinées avec des longueurs n'excédant pas 20 centimètres (Haeberlin, 2002). La présence de zones d'altération de grande envergure et d'intensité non négligeable de la roche encaissante aux pourtours de ces failles ainsi que des lentilles de quartz minéralisées dans la zone de faille impliquent le passage des fluides hydrothermaux. La présence de veinules de quartz-pyrite millimétriques discontinues occupant les plans de fractures parallèles aux failles majeures sur deux sites d'études confirme la circulation de fluides hydrothermaux par ces anisotropies. La figure 4.1 représente un bloc diagramme schématisant la position des failles, des veines et des vecteurs minéralisés dans le batholite. Les fluides hydrothermaux, en provenance de niveaux plus profonds, sont canalisés par les failles majeures comme les failles La Brava, de Cori Huarmi et Maria et acheminent ces fluides vers la surface. Il est impératif de mentionner que la position des failles majeures n'est pas le seul facteur qui contrôle la position des vecteurs minéralisés dans la veine. Les cartes thématiques

de variation de la teneur et les chantiers d'exploitations aux veines Mercedes et Jimena montrent que dans un premier temps, les failles majeures contrôlent la position du vecteur minéralisé à l'échelle de la veine. Mais à l'échelle du chantier, d'autres facteurs contrôlent l'orientation de ces vecteurs comme le montre les différentes orientations des vecteurs minéralisés (NO-SE, NE-SO et N-S) et identifiés aux figures 1.14 (veine Mercedes) et 1.15 (veine Jimena). Ces orientations secondaires semblent être contrôlées par la présence de structures secondaires, comme des zones de diaclases et des failles secondaires, à l'intérieur de la roche encaissante.

Plusieurs facteurs laissent croire que les structures majeures sont génétiquement responsables de l'acheminement des fluides hydrothermaux à l'origine de la formation des veines aurifères du secteur nord du batholite de Pataz : (1) la relation spatiale entre les vecteurs minéralisés et les structures majeures; (2) les pics de hautes teneurs aurifères situés en bordure ou près du système de failles Maria dans la partie basale du vecteur minéralisé de la veine Mercedes et (3) les zones d'altération d'envergures majeures aux pourtours des failles. Ces zones perméables ont probablement servi de canalisation pour la circulation des fluides hydrothermaux et minéralisateurs (Fyfe et al., 1978, Sibson et al., 1975, Sibson, 1987, Sibson et al., 1988). Les vecteurs minéralisés sont situés à l'intersection de ces structures et du plan de veine (Figures 1.7 et 4.1) tel que proposé par Peters (1993a).

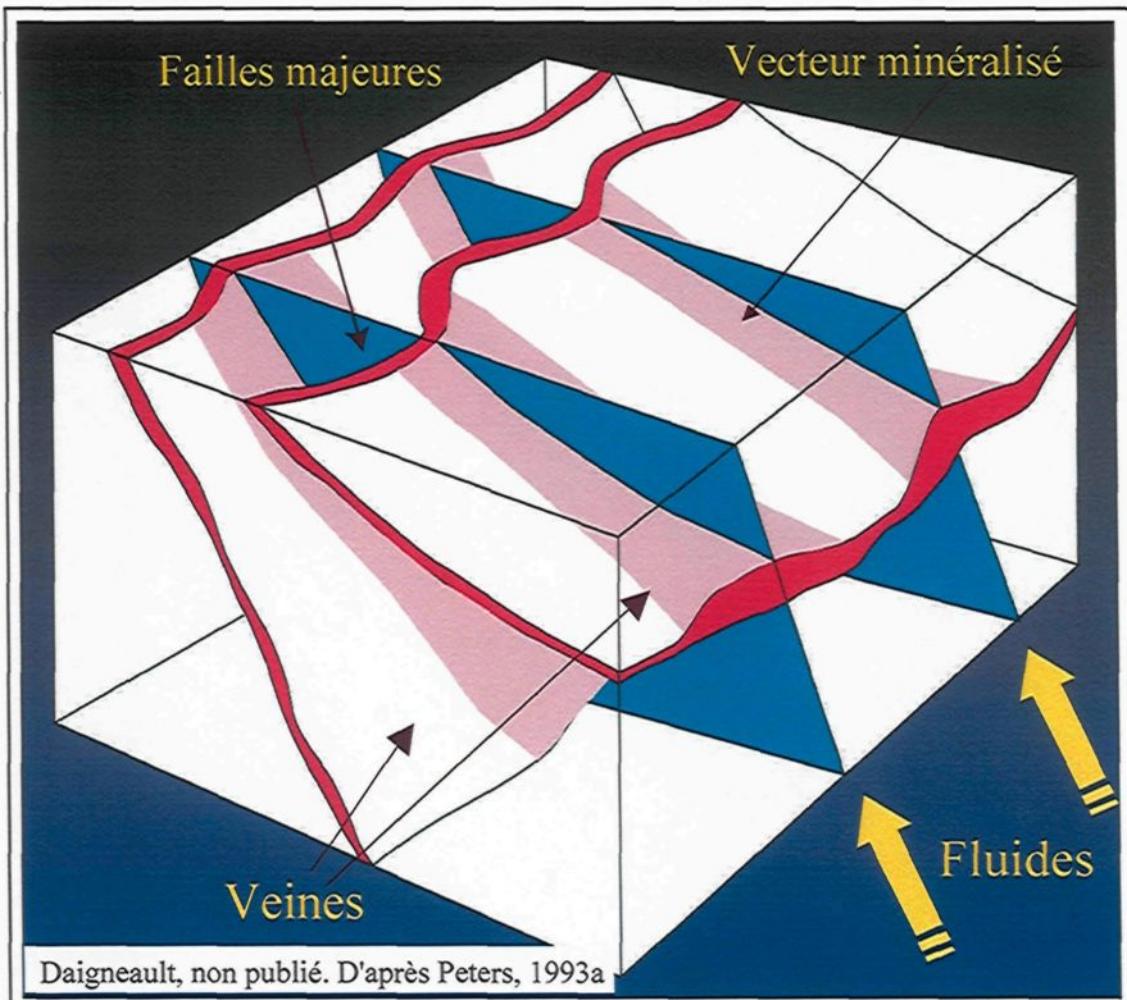


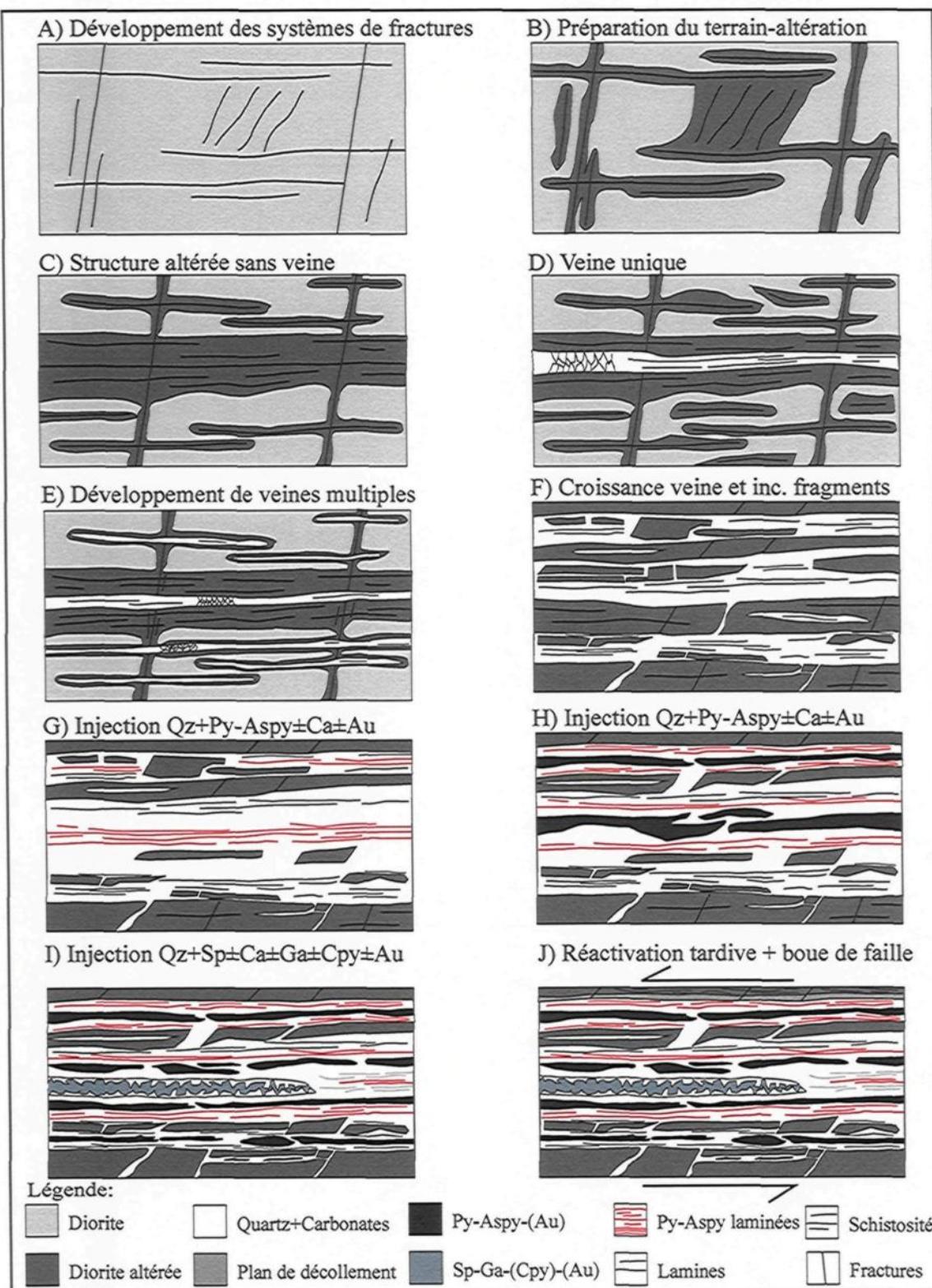
Figure 4.1 - Bloc diagramme montrant la relation entre la position des failles majeures, des vecteurs minéralisés et des veines. Les failles majeures acheminent les fluides hydrothermaux. Les minéraux de gangue, les sulfures et l'or précipitent à l'intersection des plans de failles et des anisotropies pré-existantes dans le batholite, soit les familles de fractures sub-horizontales aux veines Mercedes et Jimena.

#### 4.4 – Modèle de formation des veines aurifères Mercedes et Jimena

L'hypothèse de départ est que le refroidissement du batholite de Pataz aurait permis de développer un système de fractures (Figure 4.2a). Le développement de systèmes de fractures par des contraintes thermiques est bien documenté pour certaines intrusions aux Etats-Unis (eg. Lake Edison Granodiorite : Bergbauer et Martel, 1999). Chaque fracture peut représenter une anisotropie favorable pour la circulation des fluides hydrothermaux. En plus des fractures, d'autres anisotropies sont présentes dans le batholite et sont considérées comme favorables. Ces anisotropies sont, selon Haeberlin (2002), les dykes aplitiques (eg. Veine La Lima) et les dykes de lamprophyres (eg. Veine Cosuelo) ainsi que les enclaves du socle infra-silurien incorporés dans le batholite lors de sa mise en place (eg. Veine Mari Rosa). Pour les veines Mercedes et Jimena, un système de fractures est l'anisotropie dominante qui a permis la mise en place de ces deux veines.

Les zones d'altération de grandes envergures et de forte intensité aux pourtours des failles majeures indiquent que les fluides hydrothermaux ont circulés par ces anisotropies mais ne rassemblaient pas les conditions nécessaires pour former des veines en remplissage de failles. Les fluides ont alors circulé dans les espaces disponibles comme les fractures présentes dans le batholite (fractures sub-verticales et sub-horizontales). Sur le secteur d'étude, les fractures sub-horizontales ont été favorisées pour la mise en place des veines. La circulation des fluides le long des fractures altère la roche encaissante. Cette étape est considérée comme la préparation du terrain avant la mise en place des veines (Figure 4.2b). Avec une circulation des fluides, les petites zones d'altération aux pourtours des fractures deviennent des structures altérées de dimension non négligeables sans le développement de veine (Figure 4.2c). Une pression des fluides excédant la pression lithostatique et la force cohésive de la roche permet à certaines fractures favorablement orientées de s'ouvrir. Cette ouverture permet la circulation des fluides dans le plan de fracture et la précipitation de ces fluides, formant ainsi une veine unique de faible épaisseur (Figure 4.2d). Sur le même principe que les veines aurifères à la mine Géant Dormant (Abitibi,

Figure 4.2 - Modèle évolutif de la formation des veines aurifères de la région de Pataz: a) Développement d'un système de fractures à l'intérieur du batholite. b) Circulation des fluides hydrothermaux par les failles et/ou fractures et altération de la roche encaissante. Cette étape représente la préparation du terrain. c) Développement d'une structure altérée sans veine. d) Ouverture d'une fracture et précipitation des fluides hydrothermaux (Qz-ca) par un mécanisme "crack-seal" (Ramsay, 1980) pour former une veine unique. e) Ouverture de plusieurs fractures et remplissage de celles-ci par les fluides hydrothermaux. Plusieurs fractures rapprochées développent un système de veines uniques. La connexion de plusieurs veines uniques forment des veines multiples. f) Croissance de la veine par succession d'ouverture-remplissage et incorporation de lamines ou fragments d'éponte altérés plus ou moins bréchifiés. Une bréchification des épontes au toit et/ou au plancher peut être observée. g) et h) Injection et précipitation de fluides hydrothermaux riches en Qz-Py-Aspy±Ca±Au sous forme de laminations (g) ou rubans plus ou moins continus et massifs (h). La présipitation des sulfures interstitielles aux grains de quartz euhédriques est une texture souvent observée. L'ouverture des veines se produit de manière synthaxiale. i) Injection et précipitation de fluides riches en Qz-Sp-Ga±Ca±Cpy±Au. Les textures observées dans cet assemblage minéraux sont les mêmes textures que dans l'assemblage Qz-Py-Aspy±Ca±Au. Par contre, la sphalérite, la galène et la chalcopyrite sont en plus faible pourcentage dans la veine que la pyrite et l'arsénopyrite. Ces injections de Qz-Sp-Ga±Ca±Cpy±Au sont accompagnées d'un faible pourcentage de Py-Aspy. j) Réactivation tardive au toit (et plus rarement au plancher) de la veine. Ces réactivations forment des zones de boue de faille riche en séricite-quartz-chlorite, modifient la morphologie de la veine (remobilisation et/ou fracturation des sulfures, recristallisation de la gangue, duplication de la veine, démembrément et boudinage) et peuvent également développer une schistosité planaire, plus ou moins parallèle au plan de la veine, dans la zone d'altération au toit et/ou au plancher de cette dernière.



Canada), un mécanisme de pression des fluides équilibré (Gaboury et Daigneault, 2000) pourrait expliquer l'ouverture de certaines fractures de faible pendage et d'orientation NE-SO (Veine Mercedes) et NNO-SSE (Veine Jimena) sur le district de Pataz. Le mécanisme principal de formation des veines est alors dominé par un processus en extension à partir d'un mécanisme d'ouverture-remplissage (*crack-seal*) tel que défini par Ramsay (1980) et Ramsay et Huber (1983). Ce mécanisme explique la formation des veines continues avec des textures de remplissage d'espace ouvert comme le quartz avec texture en peigne et les lamines de roche encaissante altérées et incorporées dans la veine (Daigneault et al., 2003).

En évoluant dans le temps, plusieurs fractures rapprochées développent des veines uniques formant ainsi un réseau de veines multiples plus ou moins parallèles (Figure 4.2e). La croissance de la veine et les différents incrémentés d'ouverture-remplissage répétée de la veine permettent l'incorporation des fragments d'éponte altérés de différentes dimensions et isolés dans la veine (Figure 4.2f). Ce mécanisme de formation est bien défini par Robert et Poulsen (2001) sur des veines en remplissage dans des zones de cisaillement (voir figure 17, de Roubert et Poulsen, 2001). Les fractures présentes dans la roche encaissante vont souvent définir la morphologie de ces fragments. Ceux-ci peuvent être bréchifiés une ou plusieurs fois par des injections de quartz tardif à l'incorporation de ces fragments (Figure 4.2f).

Les sulfures et la minéralisation aurifère s'introduisent dans la veine également par un mécanisme d'ouverture-remplissage. Une première phase de sulfures se met en place dans la veine. Cette paragenèse se compose de Qz + Py + Aspy  $\pm$  Ca  $\pm$  Au. Les sulfures se mettent en place et observés en lamines d'épaisseurs millimétriques ou de rubans et/ou amas massifs centimétriques à décimétriques (Figure 4.2g et h). Une deuxième phase de sulfures est injectée dans la veine par le même mécanisme (ouverture-remplissage). Cette paragenèse est composée de Qz + Sp  $\pm$  Ca  $\pm$  Ga  $\pm$  Cpy  $\pm$  Au (Figure 4.2i). L'ouverture de la veine à cette étape se fait probablement le long de plans de faiblesse pré-existants comme par exemple des zones laminées dans la veine. Ces deux phases d'injections de sulfures vont s'infilttrer dans la veine et remplir

les espaces libres laissés par la cristallisation du quartz indiqué par les nombreuses incrustations de sulfures aux pourtours des grains de quartz idiomorphes.

Le rubanement interne compositionnel de ces différents incrément d'ouverture-remplissage indique que la veine résulte d'épisodes d'ouvertures multiples et de précipitation des minéraux hydrothermaux et minéralisateurs. En atteignant sa pleine maturité, la morphologie finale de la veine ressemblera au bloc schématique 4.2i. Mais les mécanismes à l'origine de la formation de la veine n'étant pas homogène et constant partout dans le plan de la veine, celle-ci peut avoir une morphologie finale à l'image des blocs schématiques 4.2b à h. De plus, cette morphologie va dépendre de la lithologie encaissante, de la densité de fractures, de la position des ouvertures-remplissage (plancher, centre ou toit de la veine), des nombres d'injections de quartz-sulfures dans la veine ainsi que de la déformation encaissée par la veine.

#### 4.5 – Conclusions

Les observations de terrain et de laboratoire ainsi que l'intégration des données de la mine permettent d'ammener les conclusions suivantes.

1. Les veines aurifères de la région de Pataz, particulièrement les veines Mercedes et Jimena, sont formées par un mécanisme en extension assisté par la pression des fluides. Ce mécanisme implique plusieurs incrément d'ouverture-remplissage (*crack-seal*).
2. Les veines Mercedes et Jimena sont le résultat du remplissage d'un système de fractures pré-existantes agissant comme une anisotropie favorable et formé possiblement lors du refroidissement du batholite de Pataz. L'orientation du système de fractures contrôle l'orientation des veines Mercedes et Jimena. Le remplissage et la combinaison de plusieurs fractures uniques rapprochées (veines multiples) résultera de la formation d'une veine composite incorporant ainsi des lames et/ou fragments d'épontes altérés et montrant différentes textures-structures de remplissage conférant à la veine un aspect complexe.
3. Quatre assemblages minéraux sont identifiés aux deux veines: (1) Ser/Mv + Chl; (2) Qz + Ca; (3) Qz + Py + Aspy  $\pm$  Ca  $\pm$  Au et (4) Qz + Sp  $\pm$  Ga  $\pm$  Cpy  $\pm$  Ca  $\pm$  Au.
4. Les textures magmatiques préservées et l'absence de schistosité dans les fragments d'éponte altérés et isolés dans les veines est le fait le plus marquant qui montrent que les veines sont anté-déformation. La déformation ductile est superposée à la formation des veines Mercedes et Jimena.
5. Les nombreuses textures primaires, les sulfures aux pourtours des cristaux de quartz idiomorphes, un plan de cisaillement souvent asymétrique et discontinu au toit et au plancher de la veine et les textures de recristallisation du quartz aux

pourtrours des grains de pyrite (ombre de pression) sont également des évidences qui permettent d'affirmer que la déformation ductile est un phénomène tardif à la formation des veines Mercedes et Jimena. La veine et la zone d'altération deviennent donc par conséquent un plan favorable pour encaisser la déformation ductile et/ou fragile tardive.

6. Deux styles de déformation sont observés aux veines étudiées. Un style ductile et un style fragile. Ces deux styles de déformation représentent des évènements distincts mais peuvent se produire dans un processus continu de déformation. Par contre, comme mentionné au point 4, les deux styles de déformation sont tardifs à la formation de la veine et se superposent à celle-ci.
7. La position des vecteurs minéralisés est contrôlée par la localisation des failles majeures et l'intersection de systèmes de fractures. Les zones d'altération de grandes envergures et de forte intensité aux pourtrours des failles, la relation spatiale avec la position des vecteurs minéralisés dans la veine et l'intersection de ces failles ainsi que les zones de hautes teneurs aurifère en périphérie des failles indiquent qu'elles ont joué un rôle génétique dans l'histoire de la formation des veines. Les failles ont agi comme des conduits pour l'acheminement des fluides hydrothermaux.

## Références

- Bergbauer, S., Martel, S.J., 1999. Formation of joints in cooling plutons. *Journal of Structural Geology*, **21** : 821-835.
- Boulier, A.-M., Robert, F., 1992. Paleoseismic events recorded in Archean gold-quartz veine networks, Val-d'Or, Abitibi, Québec, Canada. *Journal of Structural Geology*, **14**, pp. 161-179.
- Clark, B.R., Kelly, W.C., 1976. Experimental of common Sulphide Minerals. *The physics and chemistry of minerals and rocks*, pp. 51-69.
- Cox, S.F., Etheridge, M.A., 1983. Crack-seal fibre growth mechanisms and their significance in the development of oriented layer silicate microstructures. *Tectonophysics*, **92** : 147-170.
- Cox, S.F., Knackstedt, M.A., et Braun, J., 2001. Principles of Structural Control on Permeability and Fluid Flow in Hydrothermal Systems. *Scociety of Economic Geologists Reviews*, **14** : 1-24.
- Dong, G., Morrison, G., et Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland- Classification, origin, and implication. *Economic Geology*, **90** : 1841-1856.
- Daigneault, R., Tremblay, E., Lavoie, J., Guha, J., 2003. Estudio estructural de las vetas Mercedes y Consuelo. Université du Québec à Chicoutimi, rapport interne pour la compagnie Minera Poderosa S.A., 45p.
- Eskola, P, 1920. *Norsk. Geol. Tidsskr*, **6**: 143-194.
- Fyfe, W.S., Price, N.J., Thompson, A.B., 1978. *Fluids in the earth's crust*. Elsevier, Amsterdam, 383p.

Gaboury, D., Daigneault, R., 2000. Flat formation in a transitional crustal setting by self-induced fluid pressure equilibrium-an exemple from the Géant Dormant gold mine, Canada. *Ore Geology Reviews*, **17**, 155-178.

Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., et Groves, D.I., 1995. A classification scheme for epigenetic Archean lode-gold deposits. *Mineralum Deposita*, **30** : 408-410.

Graf, J.L., Skinner, B.J. Strength and deformation of pyrite and pyrrhotite. *Economic Geology and The Bulletin of the Society of Economic Geologists*, **65**, no2: 206-215.

Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., et Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits : A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposits types. *Ore Geology Reviews*, **13** : 7-27.

Haeberlin, Y., 2002. Geoligical and Structural Setting, Age and Geochemistry of the Orogenic Gold Deposits at the Pataz Province, Eastern Andean Cordillera, Peru. Ph.D., Université de Genève, 185 p.

Haeberlin, Y., Moritz, R., et Fontboté, L., 2000. Fluid inclusion study on mesothermal gold deposits of the Pataz province (La Libertad, Peru). *X Congreso Peruano de Geologica*, 8p.

Heald, P., Foley, N.K., et Hayba, D.O., 1987. Comparative Anatomy oh Volcanic-Hosted Epithermal Deposits: Acid-Sulfate and Adularia-Sericite Types. *Bulletin of the Scociety of Economic Geologists*, **82**, 1-26.

Jébrak, M., 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*, **12**: 111-134.

Koehn, D., et Passchier, C.W., 2000. Shear sense indicators in striped bedding-viens. *Journal of Structural geology*, **22** : 1141-1151.

Kuno, H., 1968. Differentiation in basaltic magmas. Hess, H.H., and Poldervaart, A., eds. *Basalts*: New York, Wiley Intersciences: **2**, 623-688.

Laubacher, G., et Mégard, F., 1985. The Hercynian basement : a review, *in* Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J., et Beckinsale, R.D., eds., *Magmatism at a plate edge; the Peruvian Andes*: London, Blackie & Son, p. 29-35.

Lochmann, D., et Schreiber, D., 1988. Goldquarzgänge am Kontakt zwischen Grundgebirgsserien einer batholithischen Intrusion (Provinz Pataz-La Libertad-Peru). *Geowissenschaftliches Lateinamerika Kolloquium*, 11th, Hannover, Tagungsheft. 86 pages.

Lin, A., 2001. S-C fabrics developed in cataclastic rocks from the Nojima fault zone, Japan and their implications for tectonic history. *Journal of structural Geology*, **23**: 1167-1178.

Marshall, B., et Gilligan, L.B., 1987. An introduction to remobilization: information from ore-body geometry and experimental considerations. *Ore Geology Reviews*, **2**: 87-131.

McClay, K.R., Ellis, P., 1984. Deformation of pyrite. *Economic Geology*, **79**, pp. 400-403.

McCuaig, T.C., Kerrich, R., 1998. *P-T-t*-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics. *Ore Geology Reviews*, **12**: 381-453.

Moore, J.M., et Jackson, N., 1977. Structure and mineralization in the Cligga granite stock, Cornwall. *Journal Geologic of Society of London*, **133**: 467-480.

Parry, W.T., Bruhn, R.I., 1990. Fluid pressure transient on seismogenic normal fault. *Tectonophysics*, **179** : 335-344.

Peters, S.G., 1993a. Nomenclature, concepts and classification of oreshoots in vein deposits. *Ore Geology Reviews*, **8** : 3-22.

Peters, S.G., 1993b. Formation of oreshoots in mesothermal gold-quartz vein deposits : examples from Queensland, Australia. *Ore Geology Reviews*, **8** : 277-301.

Philips, W.J., 1972. Hydraulic fracturing and mineralization. *Journal of the Geological Society of London*, **128** : 337-359.

Poulsen, K.H., Robert, F., et Dubé, B., 2000. Geological classification of Canadian gold deposits. *Geological Survey of Canada, Bulletin* 540, 106 p.

Ramsay, J.G., 1980. The crack-seal mechanism of rock deformation. *Nature*, **284** : 135-139.

Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1983. The techniques of Modern Structural Geology, Volume 1: Strain Analysis: London, Academic Press, **307** pages.

Ramsay, J.G., Huber, M.I., 1987. The techniques of Modern Structural Geology, Volume 2: Folds and Fractures: London, Academic Press, **700** pages.

Roberts, J.L., 1970. The intrusion of magmas into brittle rocks. In: Newall, G., Rast, N. (eds) Mechanisms of igneous intrusion. *Geological Journal Special Issue*, **2** : 286-338.

Robert, F., Brown, A.C., 1986. Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi Greenstone Belt, Quebec : Part I. Geologic relations and formation of the vein system. *Economic Geology*, **81** : 578-592.

Robert, F., Poulsen, K.H., 2001. Vein Formation and Deformation in Greenstone Gold Deposits. *Society of Economic Geology Reviews*, **14**: 111-155.

Ruiz, L.A.R., 1992. Estudio estructural del yacimiento aurifero en el sector norte del Distrito de Pataz, Tesis por el titulo de Ingeniero Geologica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos: 146 p.

Schreiber, D.W., 1989. Zur Genese von Goldquarzängen der Pataz-Region im Rahmen der geologischen Entwicklung der Ostkordillere Nordperus (unter besonderer Berücksichtigung der Distrikte Parcoy, La Lima und Buldibuyo). *Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen*, **29**: 235 p.

Schreiber, D.W., Fontboté, L., et Lochmann, D., 1990a. Geologic Setting, Paragenesis, and Physicochemistry of gold quartz veins hosted by plutonic rocks in the Pataz Region. *Economic Geology*, **85** : 1328-1347.

Schreiber, D.W., Fontboté, L., et Lochmann, D., 1990b. The formation of auriferous quartz-sulfide veins in the Pataz region, nothern Peru: A systhesis of geological, mineralogical, and geochemical data. *Mineralum Deposita*, **25**: 136-140.

Sibson, R.H., 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *Journal of the Geological Society of London*, **133** : 191-213.

Sibson, R.H., 1987. Earthquake rupturing as a mineralized agent in hydrothermal systems. *Geology*, **15** : 701-704.

Sibson, R.H., McMoore, J., Rankin, R.H., 1975. Seismic pumping-a hydrothermal fluid transport mechanism. *Journal Geologic of Society of London*. **131** : 653-659.

Sibson, R.H., 1986. Brecciation processes in fault zones: inference from earthquake rupturing. *Pure and Applied Geophysics*, **124** : 159-175.

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

Simpson, C., Schmid, S.M., 1983. An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. *Geological Society of America Bulletin*, **94** : 1281-1288.

Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Sciences reviews*, **12**: 1-33.

Vearncombe, J.R., 1993. Quartz vein morphology and implications for formation depth and classification of Archaen gold-vein deposits. *Ore Geology Reviews*, **8**: 407-424.

Vidal, C.E., Paredes, J., Macfarlane, A.W., et Tosdal, R.M., 1995. *Geologia y metalogenia del distrito minero Parcoy, provincia aurifera de Pataz, La Libertad. Lima, Sociedad Geologica del Peru, volumen jubilar A. Benavides*, 351-377.

White, N.C., Leake, M.J., McCaughey, S.N., et Parris, B.W., 1995. Epithermal gold deposits of the southwest Pacific. *Journal of Geochemical Exploration*, **54**: 87-136.

Wilson, J.J., et Reyes, L., 1964. *Geologica del Cuadragulo de Pataz: Lima, Peru. Com. Carta Geologica Nacional*, **9**: 91 p.

Witt, W.K., et Vanderhorst, F., 1998. Diversity within a unified model for Archean gold mineralization in the Yilgarn Craton of Western Australia : An overview of the late-orogenic, structurally-controlled gold deposits. *Ore Geology Reviews*, **13** : 29-64.

**ANNEXE A – DONNÉES STRUCTURALES**

1) Site 2190 -GLN (Veine Mercedes)

Veine		Faille		Fracture		Veinule		Décollement	
15	38	30	83	20	33	20	17	80	16
350	34	92	57	250	77	116	74	25	33
350	35	220	57	0	37	352	45	40	66
25	46	220	76	124	74	91	34	114	72
22	47	250	63	120	74	258	66	86	29
59	27	241	79	101	74	65	40	68	34
70	41	231	61	81	42	156	64	77	35
32	15	251	84	41	47	155	72	89	44
62	20	282	74	112	63			25	30
30	40	224	80	125	77			55	58
20	54	40	86	114	78			18	44
135	36	117	83	124	75				
130	32	75	85	85	32				
66	34	112	75	220	80				
72	33	110	79	30	34				
64	35	112	70	87	80				
70	34	124	88	70	20				
78	50	117	66	110	67				
74	56	133	74	91	30				
34	35	119	80	345	73				
45	24	119	71	55	41				
40	45	115	84	270	25				
49	20	112	81	180	50				
307	28	115	75	336	83				
86	36	65	45	337	87				
		295	56	80	25				
		39	33	109	70				
		82	42	275	30				
		115	75	345	48				
		106	75	85	30				
		107	84						
		185	50						
		174	58						
		87	73						
		68	76						

2) Site 1987 -GLN, Rampa Bonita Negativa (Veine Mercedes) 5) Site 2017 -GLN (Veine Jimena)

Strie		Faille		Veine		Décollement
274	60	101	86	302	23	275
102	15	100	81	080	04	270
279	25			341	40	329
116	59					310
						20

Veine		Veinule		Décollement
282	8	005	38	309
298	15	006	34	246
280	10	008	34	20
310	15			280
253	15			

3) Site 1987 -GLN, Falla de Cori Huarmi (Veta Mercedes)

Fracture		Faille		Veine
320	47	105	89	308
030	19	113	82	305
116	82	292	85	
245	85	300	85	
314	80	120	82	
132	45	115	59	
		261	71	
		098	87	
		094	77	
		117	64	
		125	51	
		053	79	

6) Site 2017 -GLS (Veta Jimena)

Veine		Dyke		Fracture-Faille
300	34	45	34	11
51	52	273	45	280
45	34	270	43	205
<b>Veinule</b>		309	18	61
256	52	344	64	<b>Cisaillement</b>
5	37	<b>Décollement</b>		55
		261	42	24

4) Site 1757 -GLE (Veta Mercedes)

Veine		Décollement		Veinule
75	50	75	26	190
58	30	34	46	42
20	20	73	23	122
85	35	40	51	75
50	35	83	23	101
24	55	76	39	45
310	25	103	29	118
44	37	88	64	35
57	26	66	28	<b>Fracture</b>
60	36	83	59	44
72	31	110	35	46
60	31	88	35	121
80	54	121	61	65
102	36	98	6	<b>Faille</b>
119	86	149	26	300
90	42	105	26	76
60	60	90	43	40
82	51	158	42	<b>Contact</b>
94	41	89	37	354
63	37	114	55	52
77	24	80	43	113
105	31	83	39	40
		63	36	24

7) Site 1987 -GLN, Rampa Lola Positiva (Veta Jimena)

Veine		Veinule		Faille
99	5	304	88	126
293	15	3	46	53
300	4	340	25	168
56	24	270	8	27
324	17	6	63	58
352	10	320	47	270
49	27	308	24	43
297	30	69	22	85
295	34	9	15	20
290	13	353	45	25
128	38	344	31	98
195	21	58	29	39
337	19	0	20	24
265	17	328	50	40
26	55	354	52	327
197	86	<b>Décollement</b>		<b>Décollement</b>
301	10	100	23	2
252	28	91	16	27
40	14	137	81	336
310	37	274	36	20
233	3	235	33	25
5	76			7
349	37			15
312	34			30
341	47			20
125	24			

8) Site 1950 -GLN, tajo7977 (Veta Jimena)

Veine et veinule		Fracture		Décollement	
80	5	120	43	310	32
315	24	333	49	340	29
20	6	336	34	310	38
320	21	3	32	325	24
342	33	338	76	327	27
333	49			10	25

9) Site 1950 -GLN (Veta Jimena)

Veine et veinule		Fracture	
327	32	205	30
329	15	340	37
310	35	310	23
315	21	240	79
297	40	110	35
310	5	310	45
330	27	250	45
325	16	125	18
325	34	358	16
327	25	274	65
313	20	310	34
342	32	Décollement	
305	19	327	32
295	37	312	34
273	27		
320	22		
355	33		
264	32		
10	12		

**ANNEXE B - TABLEAUX SYNTHÈSES : DESCRIPTION DES SITES  
D'ÉTUDES**

Veine Mercedes						
Caractéristiques		2190-GLN	2190-GLN, Failles La Brava	1987-GLN, zone de Failles Cori Huarmi	1987-GLN, Rampa Bonita Negativa	1757-GLE
Poches encaissante	Diorite	X	X	X	X	X
	Granodiorite	X		X		X
	Monzogranite			X		X
	Micro-diorite	X		X		X
	Dyke aplitique	X (?)		X		X
	Hornfels					
	Dyke andésitique (tardif)		X			
Textures	Laminé	X	X	X	X	X
	Massif					
	Bréchique					
	Ouverture-remplissage	X				X
	Peigne	X				
	Idiomorphe			X (Void)		
	Veinule	X				X
	Ciment	X			X	X
	Remplissage	X	X		X	X
	Disséminés	X	X	X	X	X
Sulfures	Amas				X	X
	Lamindés	X	X (?)	X		X
	Rubans					X
	Massif/semi-massif	X				X
	Incrustation					
	Bréchiques					
	Arrondis/Anguleux	Arrondis		Arrondis	Arrondis	Arrondis à sub-arrondis
Brèches	Dimension	Cm à m		Cm à dm	Cm	Cm à m
	Minéraux d'altération	Qz - Sér ± Py ± Ca		Qz ± Py ± Ca	Qz + Sér ± Py	Qz + Sér ± Ca ± Py
	Hydraulique	Localisation			Toit	
	Mécanique	Composition			20% Qz + Py + 80% Fragments	
Stockwork	Fragments				Dm, anguleux, "casse-tête"	
	Matrice	Chl			Qz blanc + Py disséminée	
	Localisation				Toit et mur	
	Matériel injectant				Qz blanc	
Structures	Orientation veinules				// et perpendiculaire à la veine	
	Fractures	Orientation	A = 083/28, B = 117/73	A = 336/39, B = 236/70	Sub-// aux failles ou à la veine	// à la veine
		Bordure d'altération	Local, cm			Sub-// aux failles ou à la veine
		Minéraux d'altération	Sér + Qz ± Ca ± Py			Local, mm à cm
		Rectilignes	X	X	X	Qz + Sér ± Ca ± Chl
		Anastomosées	X		X	
	Faillies	Type	Fragile/Ductile	Fragile/Ductile	Ductile/Fragile	Fragile/Ductile
		Orientation	A= 247/30-90, B= 112 77	248/75	106/80	101/83
		Altération	Sér + Chl ± Chl	Sér + Chl ± Épi	Chl + Sér	Sér + Chl ± Épi + Oxydation
		Remplissage	Boue de faille mal structuré	Boue de faille mal structuré	Boue de faille riche en Sér	Boue de faille riche en Sér
Décollements	Fabrique			C-S, Mvt inverse	C-S, Mvt inverse et dextre	
	Localisation	Toit et mur			Toit et mur	Toit et mur
	Type	Ductile			Ductile	Ductile
	Orientation moyenne	060/37			292/37	088/34
	Épaisseur moyenne	15 cm			10 cm	5 mm à 20 cm
	Minéraux d'altération	Sér + Chl ± Ca			Sér + Chl ± Qz	
	Fabrique	Local, planaire et // veine			Sér + Chl ± Qz ± Ca	
Zone d'altération	Anastomosées	X			X	
	Épaisseur	Métrique	50 m	60 m	> 6 m	1 m
	Minéraux d'altération	Sér+ Qz ± Chl ± Ca ± Py	Chl ± Qz ± Py	Chl + Qz ± Py ± Ca	Qz + Chl ± Py	Sér+ Qz + Chl ± Ca ± Py
	Relais	X				
Veine	Schistosité	X				X, // à la veine
	Orientation moyenne	047/30	336/39	308/02	A = 302/80, B = 080/04	070/35
	Épaisseur moyenne	20 cm	20 cm	70 cm	1 m	1,5 m
	Paragenèse métallique	Py + Aspy ± Cpy ± Ga	Py ± Aspy (?)	Py ± Aspy	Py ± Aspy	Py + Aspy ± Sph ± Ga
	Plissement	X	X	X	X	
	Boudinage/Démembrement	X	X			
	Duplication	X				X

Tableau 2.1 - Tableau synthèse pour la veine Mercedes

Veine Jimena					
Caractéristiques		2017-GLN	2017-GLS	1987-GLN, Rampa Loja Positiva	1950-GLN, tajo 7977
Roche encassante	Diorite	X	X	X	X
	Granodiorite	X	X	X	X
	Monzogranite		X		
	Micro-diorite		X	X	X
	Dyke aplitique		X	X	X
	Hornfels			X	X
	Dyke andésitique (tardif)				
Textures	Laminé	X	X	X	X
	Massif	X	X		X
	Bréchique		X		
	Ouverture-remplissage	X		X	X
	Peigne	X		X	X
	Idiomorphe	X		X	X
	Veinule	X	X		X
	Ciment		X	X	X
	Remplissage	X	X	X	X
	Disséminés	X	X	X	X
	Amas	X	X	X	X
	Laminés		X	X	X
	Rubans	X		X	X
	Massif/semi-massif	X		X	X
Fragments	Incrustation	X			X
	Bréchiques	X	X	X	X
	Arrondis/Anguleux	Arrondis à sub-anguleux	Arrondis à sub-anguleux	Anguleux à arrondis	Arrondis et rarement anguleux
	Dimension	Cm à m	Dm à m	Cm à > 1 m, motif "casse-tête"	Cm à m
	Minéraux d'altération	Sér + Qz ± Ca ± Py	Sér + Qz ± Ca ± Py	Sér + Qz ± Ca ± Py-Aspy	Sér + Qz ± Ca ± Py
	Hydraulique	Mur	Veine	Toit et mur	Toit
	Composition	30% Qtz + 70% fragments ± Py	88% Qz + 5% Ca + 7% Chl ± Py	30% Qz + 75% frag + 15% SF	10% Qz + 88% frag + 2% Py
Brèches	Fragments	Cm à dm, mal structurés	Cm, Qz blanc et anguleux	Dm à m, motif "casse-tête"	Cm à m
	Matrice	Qz blanc ± Py parfois "crack-seal"	Qz blanche + Ca + Chl	Qz blanche	Qz blanc laminé + Py disséminée
	Mécanique	Localization		Mur	Mur
	Composition			Qz + Chl	Qz + Ca + Chl + Py disséminée
Stockwork	Fragments			Cm, Anguleux, mal structurés	Cm, Anguleux, mal structurés
	Matrice			Chl	Chl + Ca
	Localization			Mur	Mur
	Matériel injectant			Qz blanc + Py-Aspy	Qz blanc + Ca ± Py
Structures	Orientation veineuses			// veine principale	// à la veine
	Fractures	Orientation	006/34	300/34 ou 051/52	// veine ou // failles majeures
					Sub-// veine ou sub-// failles
		Bordure d'altération	X	1 à 3 cm	1 à 3 cm
		Minéraux d'altération	Remplissage par Chl ou Qz ou Ca	Sér + Qz ± Py	Ca + Qz ± Sér
		Rectilignes	X	X	X
		Anastomosées		X	X
Décollements	Faillées	Type	Fragile	Ductile	
		Orientation	042/66	130/38	
		Altération		?	
		Remplissage	Ca	Boue de faille (Sér + Chl ± Qz)	
		Fabrique			
		Localization	Toit	Toit et localement au mur	Toit
		Type	Ductile	Ductile	Ductile
Zone d'altération	Orientation moyenne	300/18	261/42	315/08	328/28
	Épaisseur moyenne	15 cm	Cm	10 cm	2 cm
	Minéraux d'altération	Sér + Qz + Chl ± Ca	Chl + Qz + Ca	Sér + Qz + Chl ± Ca	Sér + Qz ± Py + oxydée
	Fabrique		Local, planaire et // à la veine		Sér + Qz ± Py ± Ca
Veine	Anastomosées		X	X	X
	Épaisseur	> 1 m	15 cm à 1m	15 cm à 1m	20 cm
	Minéraux d'altération	Chl + Qz ± Ca ± Py	Chl + Qz ± Ca ± Py	Sér + Qz + Chl ± Ca ± Py	Qz + Sér ± Ca ± Py
	Relais	X		X	
	Schistosité		X (Mvt senestre)	X (Mvt inverse)	
	Orientation moyenne	285/12	300/34	319/09	334/21
	Épaisseur moyenne	1m à 3 m	10 cm à 1,5 m	1 m	30 cm à 2 m
	Paragenèse métallique	Py + Aspy ± Ga	Py ± Aspy	Py + Aspy + Ga ± Cpy	Py + Aspy + Ga + Sph ± Cpy
	Plissement				
	Boudinage/Démembrement		X		
	Duplication		X (Mvt inverse)	X	

Tableau 2.2 - Tableau synthèse pour la veine Jimena

**ANNEXE C - TABLEAU SYNTHÈSE : MORPHOLOGIE ET FACIÈS**

Caractéristique	Site	Épaisseur	Orientations	Sens	Faciès	Épaisseur	Faciès	Épaisseur	Caractéristiques
Mer	2190-GN-N 18 à 76 cm	147-36°	5-12%	fragments d'épingle	laminée	table à moyenne	veines multiples à Py + fragments épingle		
Mer	2190-GN-N 18 à 76 cm	147-36°	5-12%	laminée	table à moyenne	table à moyenne	veines multiples à Py + fragments épingle		
Mer	1937-GN-S laminée	36-50 cm	645-30°	5%	laminée	table à moyenne	table à moyenne	veines multiples à Py + fragments épingle	
Mer	1937-GN-S laminée	36-50 cm	645-30°	5%	laminée	table à moyenne	table à moyenne	veine unique laminée à Py + Aspy + voile	
Mer	1937-GN-S laminée	36-50 cm	645-30°	5-10%	laminée	table à moyenne	table à moyenne	veine unique laminée à Py + Aspy + voile	
Mer	1757-GN-E 0,5	170-35**	7-10%	laminée	Quartz en pelote	table à moyenne	veines multiples ou composites laminées rubanées à Py + Aspy + Ga fragments épingle		
Jim	2017-GN-S laminée	0,7 à 1,0 m	200-34	5%	laminée	table à moyenne	table à moyenne	veines multiples ou composites laminées rubanées à Py + Aspy + Ga fragments épingle	
Jim	2017-GN-S laminée	0,7 à 1,0 m	200-34	5%	fragments d'épingle	massif	faible	veine unique laminée à Py + Aspy + fragments épingle	
Jim	1934-GN-N laminée	0,3 à 2,0 m	334-31**	5-15%	laminée	table à moyenne	table à moyenne	veines multiples ou composites laminées rubanées à Py + Aspy + fragments épingle	
Jim	1934-GN-N laminée	0,3 à 2,0 m	334-31**	10-45%	laminée	fragments d'épingle	table à moyenne	veine composites laminées rubanées à Py + Aspy + Ga + fragments épingle	
Jim	1934-GN-N laminée	0,3 à 2,0 m	334-31**	10-45%	laminée	fragments d'épingle	table à moyenne	veines multiples ou composites laminées rubanées à Py + Aspy + fragments épingle	

Tableau 3.1.1 - Synthèse géométrique, morphologique, des faciès et de la déformation aux veines Mercedes et Jimena.

\*Variation du pendage, \*\* Variation de la direction et du pendage

**ANNEXE D - TABLEAU SYNTHÈSE : PARAGENÈSES MÉTALLIQUES,  
MINÉRAUX DE GANGUE ET D'ALTERATION**

No.	Mine	Veine	Site	Échantillon	Paragenèse gangue				Paragenèse métallique				Textures sulf.	
					Mégascopique		Microscopique		Mégascopique		Microscopique			
					Méga	scopique	Micro	scopique	Méga	scopique	Micro	scopique		
1	Papagayo	Mercedes	1751-GLE	EM7-1	96	4	93	7	3	100	10	100	Laminée	
2	Papagayo	Mercedes	1751-GLE	EM7-2A	97	3	98	2	20	10	90	35	Semi-massif	
3	Papagayo	Mercedes	1751-GLE	EM7-5	Tr	0	2	Tr	98	50	40	5	1	
4	Papagayo	Mercedes	1751-GLE	EM7-14	60	40	45	55	45	70	30	65	15	
5	Papagayo	Mercedes	CH2-2	100	0	90	10	85	90	10	80	92	1 Pr	
6	Papagayo	Mercedes	2190-GLN	EM1-5	15	85	90	10	7	90	Tr	8	Massif	
7	Papagayo	Jimena	1987-RL+	EM5-1	95	5	90	10	60	100	100	100	Disséminée	
8	Papagayo	Jimena	1987-RL+	EM5-8A	90	10	70	30	20	100	80	25	Tr	
9	Papagayo	Jimena	1987-RL+	EM5-A	88	12	80	20	35	96	1	19	1 Pr	
10	Papagayo	Jimena	1987-RL+	EM5-B	95	5	40	60	80	89	5	4	Tr	
11	Papagayo	Jimena	2017-GLS	EM6-3	60	40	60	40	10	99	1	7	98	
12	Papagayo	Jimena	2017-GLS	EM6-4A	86	12	80	20	8	100	100	6	100	
13	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-3A	98	2	100	Tr	30	100	Tr	25	Tr	
14	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-3B	100	Tr	100	Tr	40	88	1	10	1	
15	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-5A-1	100	0	100	Tr	85	98	2	97	3	
16	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-5A-2	100	Tr	99	1	20	85	15	17	100	
17	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-5B	100	Tr	100	Tr	35	98	2	40	95	
18	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-6	60	40	45	55	Tr	Tr	Tr	2	100	
19	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-8A	59	50	70	30	98	40	50	96	30	
20	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-8B	95	5	94	6	182	80	20	2	100	
21	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-9A	20	80	10	90	10	100	8	93	1	
22	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-10	99	1	98	2	4	45	55	6	100	
23	Papagayo	Karola	1700-GLS	EK1-1A	90	1	100	Tr	30	100	Tr	35	Tr	
24	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK2-3	99	1	100	Tr	100	Tr	15	100	Disséminée, laminiée et semi-massif	
25	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK2-4	98	2%	Chlorite	98	2%	Chlorite	1	100	Laminiée, disséminée	
26	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK3-1	100	0	100	Tr	15	5	95	13	4	
27	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK3-2A	100	0	100	0	6	10	90	5	100	
28	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK3-2B	100	0	99	1	75	82	2	13	2	
29	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK3-3	98	2	100	Tr	35	86	10	4	Tr	
30	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK3-4B	95	5	89-90	10 à 12	7	95	5	8	2	
31	Papagayo	Karola	1700-GLN	EK3-8	100	Tr	100	Tr	90	100	5	90	3	

Tableau 3.1.4 - Tableau synthèse des paragenèses minérales observées aux veines Mercedes, Jimena et Karola

**ANNEXE E - TABLEAUX SYNTHÈSES : DONNÉES TENEUR, DIRECTION  
ET PENDAGE FOURNIES PAR LA COMPAGNIE MINERA PODEROSA S.A.**

X	Y	Az (deg)	Direction (°)	Pendage (°)
211061,95	9146613,2	15,003	32	15
210931,46	9146611,62	34,8602	57	35
210932,65	9146620,63	25,0212	74	25
210995,63	9146627,77	15,0149	81	15
211135,16	9146613,99	39,881	358	40
211131,03	9146595,9	10,0011	16	10
211101,69	9146605,06	23,992	18	24
210797,18	9146766,16	22,0021	79	22
210719,44	9146763,39	49,721	45	50
210711,62	9146758,51	35,1959	14	35
210665,95	9146808,55	49,8187	68	50
210649,22	9146797,16	64,9703	62	65
210869,68	9146803,68	40,0177	98	40
210865,32	9146803,81	44,7606	98	45
210836,51	9146804,93	49,8928	98	50
210838,35	9146811,46	40,0309	98	40
210867,63	9146786,74	38,0102	92	38
210882,07	9146785,43	39,9908	98	40
210844,02	9146777,19	35,0034	79	35
210872,84	9146888,02	47,9705	81	48
210772,39	9146890,66	44,9163	124	45
210788,06	9146883,27	28,0444	81	28
210752,28	9146886,08	44,9769	103	45
210797,02	9146809,57	35,271	98	35
210788,27	9146810,27	37,9682	98	38
210742,62	9146801,03	30,0042	68	30
210769,67	9146804,34	30,0178	82	30
210729,22	9146786,17	15,9003	79	15
210725,61	9146793,11	32,9997	65	33
210708,59	9146770,53	28,2519	34	28
210692,06	9146785,19	74,9134	144	75
210685,9	9146795,75	50,0772	345	50
210808,89	9146776,59	10,3567	79	10
210832,13	9146778,86	39,9567	98	40
211071,27	9146686,94	15,0605	51	15
210930,64	9146645,35	19,998	74	20
210946,55	9146647,09	22,0397	81	22
210951,48	9146655,5	34,6388	71	35
210958,25	9146657,14	19,3382	64	19
211019,18	9146655,01	20,0053	50	20
211034,72	9146711,28	29,8946	88	30
211055,77	9146728,42	29,9158	58	30
211084,05	9146734,54	48,0536	68	48
211079,87	9146732,87	72,6433	48	73

211035,58	9146741,64	40,0466	95	40
210991,71	9146745,92	30,0136	102	30
211003,56	9146745,09	37,9755	99	38
210993,76	9146702,27	25,0002	19	25
210983,3	9146666,57	20,0685	78	20
210996,65	9146662,72	29,9754	58	30
210991,63	9146671,05	24,9677	74	25
210988	9146656,62	29,9742	75	30
210975,81	9146754,87	34,9849	77	35
210949,11	9146752,4	30,0161	86	30
210974,65	9146746,69	30,0123	78	30
210951,88	9146743,99	20,0787	47	20
210943,24	9146723,71	29,9935	51	30
210896,93	9146698,1	20,0009	51	20
211029,36	9146688,17	20,0045	26	20
211088,91	9146657,1	49,8887	46	50
211075,61	9146639,71	11,0189	360	11
211083,31	9146653,07	22,1619	19	22
211068,16	9146639,15	10,016	20	10
211108,55	9146675,85	15,0441	46	15
211095,55	9146643,9	19,9949	338	20
211114,65	9146737,99	44,9959	72	45
211126,87	9146740,91	45,0065	67	45
211138,15	9146754,79	49,8762	68	50
211148,29	9146762,41	30,0806	9	30
211113,5	9146765,75	69,3074	83	70
211095,85	9146756,46	48,0002	83	48
211097,36	9146652,97	12,3096	58	12
211087,87	9146801,03	37,9945	63	38
211021,86	9146802,98	33,0167	87	33
211001,86	9146796,51	40,0322	83	40
210959,32	9146794,62	32,9701	98	33
210965,54	9146801,05	30,014	98	30
210911,68	9146799,2	37,0277	98	37
210932,39	9146778,84	33,9987	98	34
210932,39	9146891,63	20,0259	91	20
211139,09	9146794,57	46,0052	351	46
211118,2	9146768,36	30,8815	44	30
211129,69	9146778,07	49,9617	44	50
211106,92	9146817,96	15,0529	66	15
211097,63	9146804,28	30,1007	69	30
211136,58	9146831,06	41,9861	89	42
211160,42	9146838,33	36,0219	89	36
211050,28	9146598,2	20,931	86	21
211173,34	9146837,66	37,0361	67	37

211071,15	9146620,57	19,9798	17	20
210960,46	9146615,31	24,9989	111	25
210919,66	9146607,6	15,0388	36	15
211114,48	9146629,37	20,0261	327	20
211105,7	9146630,6	20,0119	327	20
211127,08	9146617,52	39,9273	327	40
211133,42	9146606,84	12,7657	8	12
211098,12	9146618,27	22,9971	346	23
210854,41	9146666,48	29,9951	51	30
210881,5	9146674,11	18,0125	51	18
210805,74	9146762,26	21,993	64	22
210670,06	9146886,67	33,0112	56	33
210670,54	9146802,88	15,7407	78	15
210649,3	9146788,09	61,0135	38	61
211255,74	9146843,21	14,0834	54	14
211255,45	9146824,94	34,9982	107	35
210877,55	9146972,07	20,0359	66	20
210868,55	9146981,06	29,993	66	30
210783,11	9146952,18	54,8664	78	55
210714,72	9146897,9	30,0144	84	30
210909,33	9146974,27	15,0141	81	15
210935,61	9146972,74	25,0085	81	25
210943,58	9146987,1	32,9991	81	33
210948,39	9146905,42	24,8838	81	25
211233,25	9146929,67	24,9959	2	25
211228,75	9146954,73	36,5347	2	36
211236,6	9146962,57	33,1329	2	33
211241,25	9146938,23	14,5231	270	13
211239,31	9146941,04	14,3895	270	15
211072,24	9146707,79	28,0036	48	28
211083,67	9146718,01	39,8706	48	40
210847,85	9146804,67	38,0498	98	38
210841,32	9146803,15	45,9225	98	46
210858,6	9146808,95	36,0315	98	36
210807,03	9146808,89	49,8805	98	50
210814,61	9146802,23	30,1548	98	30
210861,03	9146884,09	30,025	81	30
210807,88	9146891,1	29,9998	81	30
210758,04	9146891,54	40,0712	91	40
210787,27	9146802,13	39,9767	75	40
210738,22	9146791,45	39,9594	70	40
210724,82	9146778,45	59,7257	28	60
210805,74	9146780,27	29,7616	92	30
210800,26	9146769,61	22,0107	54	22
211068,32	9146676,85	32,9382	51	33

211056,15	9146671,64	24,9973	51	25
210918,63	9146641,65	15,0111	65	15
211102,51	9146703,56	20,1505	24	20
210973,96	9146653,55	20,0011	81	20
210968,62	9146666,26	20,0039	81	20
210568,18	9146906,23	79,8871	81	80
210522,27	9146930,31	36,9871	81	37
211187,79	9146748,73	64,6977	3	65
211180,56	9146752,18	30,3385	17	30
211081,44	9146584,97	14,0342	46	14
211097,28	9146665,45	64,781	46	65
211109,78	9146649,33	25,0211	76	25
211136,58	9146633,62	18,0659	81	18
211024,28	9146641,66	29,9853	50	30
211006,28	9146640,86	29,9683	81	30
211035,47	9146660,94	20,0033	50	20
211024,86	9146708,44	25,0135	58	25
211052,6	9146724,18	26,0523	71	26
211042,4	9146713,53	22,0729	58	22
211082,16	9146723,7	27,3603	48	27
211070,15	9146729,95	30,063	58	30
211086,35	9146748,84	27,1342	83	27
211072,14	9146755,84	69,9611	83	70
211054,38	9146743,94	45,0047	83	45
211032,03	9146748,01	44,9998	98	45
211021,29	9146734,5	44,9429	88	45
211017,12	9146725,09	35,0272	74	35
211005,31	9146720,23	25,0181	39	25
211006,91	9146667,27	25,001	58	25
210956,9	9146751,17	34,9457	102	35
210916,23	9146701,88	21,003	51	21
210900,1	9146683,37	19,9993	51	20
211145,75	9146672,69	29,9383	11	30
211074,08	9146645,67	13,9945	360	14
211060,23	9146655,11	18,0028	2	18
211036,73	9146603,57	11,9774	97	12
211095,33	9146736,94	40,0087	67	40
211134,19	9146744,67	47,9688	67	48
211074,98	9146792,99	47	94	47
211001,86	9146803,89	49,9227	87	50
211012,53	9146803,89	39,9645	98	40
210992,83	9146801,76	40,9518	87	35
210989,72	9146801,21	40,7867	87	45
210985,06	9146800,88	41,9481	86	42
210971,35	9146793,72	36,9908	98	37

210952,75	9146796,7	30,0314	98	30
210904,23	9146800,52	39,9597	98	40
210889,99	9146783,91	39,9999	98	40
210552,23	9147155,94	26,9996	356	27
210581,87	9147189,28	32,0377	55	32
210578,72	9147196,45	39,9501	35	40
210652,67	9147241,73	25,0201	60	25
210510,56	9147177,09	26,9829	48	27
210514,79	9147180,47	18,3721	48	18
210519,49	9147197,82	20,0378	48	20
210539,94	9147208,38	28,0062	48	28
210574,63	9147237,45	54,8892	69	55
210592,07	9147254,06	32,9614	58	33
210597,24	9147256,4	25,4689	69	25
210606,98	9147256,59	20,0884	58	20
210616	9147260,42	39,9941	58	40
210621,03	9147268,79	46,9796	13	47
210617,68	9147281,47	40,0053	13	40
210635,83	9147287,03	35,0011	69	35
210649,25	9147291,4	26,9602	69	27
210607,12	9147359,14	17,1276	22	17
210609,35	9147365,81	27,5111	22	28
210609,96	9147370,86	22,1191	22	22
210604,57	9147377,41	22,367	22	30
210616,63	9147383,68	25,9732	3	26
210614,18	9147389,45	24,0025	339	24
210612,9	9147395,45	22,1203	339	22
210604,29	9147388,84	28,9993	9	29
210465,82	9147227,19	30,1747	28	30
211140,03	9146813,98	44,9997	350	45
211142,23	9146779,53	47,9599	44	48
211106,34	9146810,02	49,8006	44	50
211190,37	9146850,19	41,9955	89	42
211185,78	9146842,92	44,9397	89	45
211277,75	9146894,19	44,9642	12	45
211017,34	9147050,55	50,021	4	50
210999,02	9147072,03	46,9999	27	47
210575,34	9147376,63	9,05516	5	9
210553,4	9147333,72	31,8995	1	32
210544,69	9147343,6	39,6588	12	40
210532,23	9147305,56	18,0892	61	18
210509,65	9147273,62	36,9479	70	37
210490,89	9147254,02	23,0624	25	23
210487,07	9147246,12	32,8836	42	33
210484,1	9147242,83	29,0658	49	29

210546,26	9147368,61	26,2287	41	31
210548,42	9147371,46	28,6096	37	27
210552,61	9147375,9	20,1821	43	19
210635,87	9147345,21	16,0049	355	16
210659,09	9147350,45	11,883	59	12
211274,69	9146878,02	30,0165	12	30
210674,92	9147378,11	3,09542	24	3
210672,99	9147372,09	4,98966	5	5
211265,41	9146854,78	28,9443	54	29
211264,74	9146843,11	28,9383	54	29
210677,17	9147385,38	9,00981	67	9
210693,99	9147382,89	23,0139	99	23
210705,16	9147379,98	24,9985	105	25
210412,3	9147503	17,8568	307	18
210405,62	9147571,26	25,997	318	24
210420,36	9147500,06	12,0044	310	12
210418,84	9147558,07	17,0533	308	17
210421,61	9147561,32	20,0897	308	20
210682,04	9146895,83	39,9622	81	40
210408,67	9147569,95	26,1169	336	28
210862,42	9146961,67	41,9322	78	42
210834,3	9146948,06	22,0187	61	22
210813,59	9146945,47	34,9262	78	35
210791,26	9146953,23	33,4435	94	33
210471,18	9147540,1	34,9772	298	35
210498,2	9147508,12	16,0011	311	16
210516,41	9147498,02	29,9576	295	30
210510,75	9147505,38	25,3114	337	26
210946,94	9146977,15	34,987	81	35
210702,44	9146905,73	45,9524	81	46
210896,9	9146981,25	16,0359	81	16
211037,48	9146915,76	27,0037	95	27
211009,1	9146925,08	49,9767	81	50
210995,75	9146919,68	30,19	87	30
210960,07	9146912,79	15,1419	81	15
211023,77	9146917,88	29,0324	101	29
210986,1	9146918,61	29,9728	88	30
210930,5	9146901,61	29,9573	92	30
211243,83	9146929,95	20,0173	270	20
211228,85	9146958,94	46,8363	2	47
211107,7	9146709,85	24,9828	65	25
211087,51	9146687,78	29,9931	48	30
211098,01	9146696,77	24,9902	48	25
210588,54	9146912,82	27,0526	81	27
210505,59	9146930,03	30,012	81	30

211074,2	9146579,27	25,9186	76	26
211178,6	9146742,49	15,109	45	15
211102,48	9146656,53	39,6645	46	40
211174,44	9146652,48	31,1449	54	31
211164,41	9146649,23	47,8642	76	48
211140,3	9146679,79	21,0869	5	21
211144,43	9146685,61	22,9931	357	23
211145,28	9146645,57	22,0508	76	22
211193,9	9146668,93	31,9966	40	32
211183,35	9146656,73	28,036	54	28
211224,48	9146703,06	25,0193	16	25
211216,65	9146688,28	30,9855	48	31
211229,77	9146712,2	26,0052	352	26
211040,26	9146598,06	9,05863	86	9
211023,96	9146598,53	11,0012	97	11
210526,28	9147500,99	7,07075	298	7
210575,57	9147494,56	37,5919	296	38
210565,85	9147497,7	32,873	296	33
210573,75	9147489,5	25,1304	296	25
210563,98	9147493,41	24,213	296	24
210716,76	9147491,33	22,0299	333	22
210733,76	9147488,86	26,9931	292	27
210699,54	9147506,97	24,9959	312	25
210692,8	9147509,66	24,7873	305	25
210685,84	9147514,21	20,0781	304	20
210685,48	9147507,76	59,2134	303	60
210593,84	9147548,11	34,8502	305	35
210683,31	9147493,6	18,2372	304	18
210668,93	9147496,12	87,9787	304	88
210904,14	9147489,11	12,0024	293	12
210951,56	9147444,46	47,9964	293	48
210805,38	9147448,91	20,0024	115	20
210825,95	9147432,75	24,7839	294	25
210830,19	9147430,95	18,1137	294	18
210842,95	9147436,32	29,9625	312	30
210841,57	9147430,66	18,2221	261	18
210849,96	9147430,8	49,7958	312	50
210846,79	9147433,53	35,5892	312	35
210878,18	9147391,29	34,8792	319	35
210875,44	9147399,41	24,9657	302	25
210871,8	9147403,04	22,0849	326	22
210887,28	9147389,53	30,0377	305	30
210908,36	9147375,05	61,8183	330	62
210911,56	9147359,6	18,1068	1	18
210904,46	9147361,41	13,3629	26	13

210899,18	9147353,92	32,061	45	32
210902,35	9147346,66	56,8719	57	57
210884,15	9147346,41	22,0416	86	22
210766,6	9147177,36	10,0216	33	10
210690,56	9147254,4	28,9445	77	29
210702,4	9147259,78	29,9883	77	30
210560,59	9147170,16	25,0634	55	25
210693,26	9147272,4	16,174	30	16
210689,82	9147265,4	12,0744	30	12
210570,22	9147181,86	31,9145	55	32
210697,27	9147277,18	23,9402	64	24
210623,29	9147222,65	30,0016	60	30
210638,76	9147231,06	29,9963	60	30
210529,09	9147199,6	29,8761	48	30
210566,93	9147231,46	45,0402	48	45
210615,2	9147269,38	46,9359	13	47
210598,95	9147342,04	19,9947	36	20
210592,36	9147345,24	17,0742	36	17
210606,51	9147380,63	22,9309	22	15
210463,78	9147233,84	40,1165	33	40
210654,79	9147300,49	20,0144	27	20
210823,09	9147215,82	14,0038	20	14
210596,63	9147349,51	21,9209	36	22
210602,47	9147347,45	17,9865	22	18
210604,9	9147352,71	12,1584	22	12
210606,07	9147395,73	34,8746	349	35
210462,06	9147220,03	32,4939	37	35
210463,15	9147223	32,4571	28	30
211016,35	9147039,25	54,5557	4	55
211019,44	9147025,38	45,0231	314	45
210570,31	9147356,35	15,0045	62	15
210553,68	9147338,1	31,7129	11	33
210546,88	9147331,14	25,0609	343	25
210547,77	9147326,2	15,5054	356	15
210555,35	9147313,88	12,0248	36	12
210547,46	9147307,66	24,1484	270	35
210543,72	9147306,67	24,7773	59	15
210501,46	9147269,58	34,9485	70	35
210542,95	9147360,93	9,03233	5	9
210638,53	9147337,01	17,2719	315	20
210664,58	9147355,81	7,1673	54	7
210554,35	9147341,24	31,255	12	30
210543,47	9147312,7	20,0055	52	20
210520,86	9147296,91	20,0248	21	20
210474,59	9147243,57	32,6216	70	30

210468,32	9147240,38	54,3568	61	55
210554,17	9147382,01	42,9786	19	43
210644,74	9147340,57	24,8946	22	25
210636,48	9147340,15	16,8757	340	14
210672,31	9147362,86	9,96293	24	10
210686,05	9147381,48	23,7626	51	24
210424,02	9147553,79	28,1244	308	42
210445,11	9147549,11	20,0076	298	20
210462,06	9147542,83	33,8946	298	34
210452,52	9147546,57	16,6057	286	16
210473	9147529,62	31,9357	298	32
210406,12	9147508,71	12,0552	329	12
210487,32	9147527,07	10,0254	334	10
210488,54	9147517,22	15,9228	298	16
210481,72	9147521,82	15,0536	313	15
210413	9147566,54	26,6811	300	27
210501,83	9147514,44	11,9916	316	12
210494,25	9147513,14	14,1635	314	14
210426,02	9147556,87	27,6702	308	19
210432,36	9147554,1	31,8503	286	32
210508,62	9147508,58	12,9535	315	11
210505,69	9147511	10,7606	317	10
210441,86	9147545,95	21,0036	295	21
210536,62	9147489,08	23,9889	337	24
210531,79	9147496,98	15,9829	321	16
210652,7	9147540,48	0,0556341	322	0
210646,7	9147534,41	4,05603	322	4
210639,48	9147548,43	13,9302	120	21
210638,35	9147544,58	15,4117	107	8
210643,39	9147541,61	19,2247	120	20
210627,83	9147550,9	15,5641	287	15
210631,24	9147549,99	16,298	281	18
210619,74	9147548,9	4,99249	214	5
210615,15	9147546,65	4,17448	259	4
210606,41	9147544,18	17,8712	305	18
210593,67	9147543,33	24,1358	305	24
210601,88	9147532,81	25,0022	339	25
210734,94	9147153,22	14,9297	39	14
210729,56	9147149,33	29,8828	68	30
210707,83	9147282,4	19,7676	45	20
210712,95	9147287,01	15,0033	58	15
210732,97	9147291,81	15,001	29	15
210644,4	9147656,55	74,9904	138	75
210800,43	9147198,65	23,971	50	24
210790,49	9147197,03	25,9863	69	26

210772,28	9147167,63	10,0239	65	10
210762,03	9147165,95	39,5641	63	40
210493,14	9147612,24	29,972	133	30
210493,53	9147606,29	25,0326	325	25
210480,3	9147617,68	32,0566	125	32
210474,39	9147620,98	34,9541	284	35
210517,13	9147613,05	25,0002	295	25
210524,19	9147598,85	24,0025	301	24
210569,86	9147558,31	34,9326	301	35
210583,66	9147555,72	28,0348	305	28
210536,97	9147581,27	29,9954	303	30
210557,3	9147563	18,0346	311	18
210531,25	9147602,39	22,0779	289	22
210543,44	9147599,93	24,975	286	25
210573,19	9147593,01	25,9859	294	26
210550,47	9147598,26	24,0275	286	24
210584,97	9147590,66	19,12	294	19
210588,92	9147585,15	21,0029	294	21
210595,67	9147587,28	25,9278	294	26
210602,76	9147581,78	29,9359	290	30
210621,04	9147577,59	38,9943	301	40
210612,71	9147580,65	26,1299	273	26
210626,98	9147571,04	15,0213	247	15
210628,4	9147575,25	15,3592	252	15
210636,03	9147578,2	10,0078	269	10
211103,94	9147304,3	15,0023	326	15
211102,88	9147299,98	15,1055	326	15
211106,33	9147292,37	29,8018	316	30
211115,77	9147289,6	30,023	316	30
211117,73	9147280,77	34,9907	316	35
211124,36	9147280,36	34,9907	316	35