Minéralisation en chrome et éléments du groupe du platine dans les ophiolites d'Assemion et de Neyriz, ceinture du Zagros, Iran

Mohammad Ali Rajabzadeh

▶ **To cite this version:**

Mohammad Ali Rajabzadeh. Minéralisation en chrome et éléments du groupe du platine dans les ophiolites d'Assemion et de Neyriz, ceinture du Zagros, Iran. Sciences de la Terre. Institut National Polytechnique de Lorraine, 1998. Français. NNT : 1998INPL027N . tel-01750888

HAL Id: tel-01750888
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01750888

Submitted on 29 Mar 2018

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

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

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Institut National Polytechnique
de Lorraine

Centre de Recherches
Pétrographiques et Géochimiques
(C.R.P.G. - C.N.R.S.)

THESE

présentée à

l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

pour l'obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'I.N.P.L.

Spécialité: "GÉOSCIENCES ET MATIÉRES PREMIÈRES"

par

Mohammad Ali RAJABZADEH

Soutenue publiquement le 29 Avril 1998
devant la Commission d'Examen

MINÉRALISATION EN CHROME ET ÉLÉMENTS DU GROUPE DU PLATINE DANS LES OPHIOLITES D'ASSEMION ET DE NEYRIZ, CEINTURE DU ZAGROS, IRAN

Membres du Jury

P. BARBEY. Professeur Université Henri Poincare (Nancy)	Président
M. NOGHREYAN. Professeur Université d' Esfahan (Iran)	Rapporteur
T. AUGÉ. Docteur Ingénieur au BRGM (Orléans)	Rapporteur
D. OHNENSTETTER. Chargé de Recherches au CNRS (Nancy)	Examinateur
L. REISBERG. Chargé de Recherches au CNRS (Nancy)	Examinateur
M. OHNENSTETTER. Directeur de Recherches au CNRS (Nancy)	Directeur de thèse

Remerciement

Cette thèse a été réalisée au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques du CNRS à Nancy. A l'issue de ce travail je voudrais remercier tous ceux qui m'ont aidé à sa réalisation.

Ma reconnaissance va tout d'abord à Madame Maryse OHNENSTETTER, directeur de Recherches au CNRS, directeur de cette thèse, qui a bien voulu m'accueillir dans son équipe. Elle m'a aidé en dirigeant ce travail et j'ai beaucoup profité de ses suggestions et remarques ainsi que son expérience scientifique. J'espère qu'elle acceptera la profonde gratitude que je tiens à lui exprimer ici.

Je remercie Monsieur Pierre BARBEY, professeur à l'Université Henri Poincare de Nancy, pour l'honneur qu'il me fait en présidant mon Jury.

C'est avec grand plaisir que je compte Monsieur Thierry AUGE, Docteur ingénieur au BRGM parmi mes rapporteurs. Je l'en remercie sincèrement d'avoir accepter d'être rapporteur de cette thèse.

Je présente ma profonde gratitude à Monsieur Moussa NOGHREYAN, professeur à l'Université d'Esfahan, Iran, d'accepter de venir en France et participer au Jury en tant que rapporteur. Il m'a fait confiance et m'a toujours soutenu dès notre connaissance. Je le prie de bien vouloir trouver dans ces lignes le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Daniel OHNENSTETTER, chargé de Recherches au CRPG, CNRS. Grâce à son aide, j'ai pu mener à bien cette étude. Je n'oublierai pas son assistance tout au long de mes travaux au laboratoire. Je lui adresse mes sincères remerciements pour sa participation active aux corrections de ce manuscrit ainsi que pour avoir bien voulu participer à mon Jury.

Madame Laurie REISBERG, chargé de Recherches au CRPG, CNRS, que j'ai toujours trouvée ouverte et disponible. J'ai pu mener à bien l'étude isotopique de mes échantillons sous sa direction; qu'elle en soit remerciée ainsi que pour avoir bien voulu participer à mon Jury.

Je présente également mes remerciements à Monsieur Farid Moore, professeur à l'Université de Shirez, Iran pour son assistance dans les travaux de terrain.

Je tiens à adresser ma gratitude à Monsieur ALIABADIZADEH le directeur général de la Compagnie de chromite de Faryab et également mon cher collègue, Monsieur Khosro RASHIDI ingénieur en chef des mines de Faryab, pour leurs soutiens durant mes travaux de terrain.

Ce travail doit beaucoup à Madame Sandrine BARDA et feu Monsieur Jean Marie CLAUDE, qui m'ont aidé au cours des nombreuses journées à la microsonde électronique et Monsieur Alain KOHLER au MEB, qu'ils soient également remerciés pour leurs amitiés.

Je remercie Madame Annie JEANNOT, qui m'a toujours fourni avec diligence les références bibliographiques non disponibles au CRPG.

Je tiens ainsi à remercier Mademoiselle Catherine SPATZ, pour son assistance à la préparation de mes échantillons au laboratoire des isotopes du CRPG.

Messieurs Lucien SANDRIN et Robert LEHMANN soient remerciés pour leur contribution à la préparation des lames minces polies et des sections polies.

Je tiens à remercier la direction et l'ensemble du personnel du CRPG, surtout Madame Caroline ZIMMER et Messieurs Jean Pierre BLANCHARD, Jean Marc CHAFFAUT et Bruno PORCU au service général du CRPG, ainsi que les thésards du laboratoire avec qui j'ai en des relations chaleureuses et dont l'amitié m'a été très précieuse, Particulièrement Monsieur Yannick BRANQUET qui m'a aidé beaucoup à bien préparer le texte et les figures de ma thèse sans oublier l'aide considerable pour faire les transparents et les figures, que m'a apporter, Madame Cécile MAHE-LE CARLIER.

Enfin, et surtout, c'est ma femme, qui m'a toujours soutenu. J'adresse mes remerciements les plus chaleureux pour ses multiples encouragements et sa patience durant ces années.

Table des matières

Introduction 9

Chapitre 1. Cadre géologique des ophiolites d'Iran 15

1.1. Situation géologique des ophiolites d'Iran 17
1.1.1. Les ophiolites d'âge Paléozoïque au Nord de l'Iran 17
1.1.2. Les ophiolites d'âge Mésozoïque de l'Est et du Centre de l'Iran 19
1.1.3. Les ophiolites d'âge Mésozoïque de la ceinture du Zagros 21
1.1.4. Les ophiolites de l'âge Mésozoïque du Makran 21

1.2. La chaîne du Zagros 22
1.2.1. L'évolution géodynamique du Zagros 22
1.2.2. Modéles de mise en place des ophiolites du Zagros 25
1.2.3. Les secteurs d'étude 28

Chapitre 2. Les ophiolites de Neyriz (secteur d'Abadeh Tashk) et d'Assemion 29

Intruduction 31

2.1. Localisation des massifs 32
2.1.1. Neyriz 32
2.1.2. Assemion 32

2.2. Le contexte géologique 33

2.2.1. Situation générale 33
2.2.2. Les formations sédimentaires et métamorphiques associées aux massifs ophiolitiques 34
2.2.2.1. Les formation sédimentaires de Neyriz 34
2.2.2.2. Les formations sédimentaires et métamorphiques d'Assemion 34

2.3. Assemblage ophiolitique de Neyriz 38
2.3.1. Tectonites mantelliques 38
2.3.1.1. Harzburgite homogène 41
2.3.1.2. Zone transitionnelle 41
2.3.2. Cumulats ultramafiques 43

2.4. Les tectoniques mantelliques d'Assemion 43

2.5. Pétrographie de l'assemblages ophiolitique de Neyriz 45
2.5.1.1. Harzburgite homogène 45
2.5.1.1.2. Zone transitionelle 45
2.5.1.2. Cumulats ultramafiques 46
2.5.2. Evolution de la composition des silicates et spinelles chromifères 46
2.5.2.1.1. Olivine 47
2.5.2.1.2. Orthopyroxène 48
2.5.2.1.3. Clinopyroxène 52
2.5.2.2. Spinelles 52

2.6. Conclusions 59

Chapitre 3. Les gisements de chromite de Neyriz et d'Assemion 61

Introduction 63

3.1. Distribution et structure de gisements 67
3.1.1. Répartition stratigraphique des gisements 67
3.1.2. Morphologie et strucure des gisements de chromite 73
3.1.2.1. Orientation des gisements 73
3.1.2.2. Importance du boudinage 74
3.1.2.3. Tectonique cassante 74

3.2. Texture des chromitites 76
3.2.1. Le minerai massif 76
3.2.2. Le minerai disseminé 78
3.2.3. Le minerai nodulaire 78
3.2.4. Le minerai rubané 79

3.3. Composition chimique des chromites des gisements 79

3.3.1. Composition des spinelles chromifères 80
3.3.2. Distribution des éléments mineurs et traces 81
3.3.3. Variation de la composition chimique des chromites avec la stratigraphie 83
3.3.4. Variation de la composition chimique des chromites au sein des gisements 86
3.3.5. Variation de la composition des spinelles chromifères à l'échelle du grain 90
3.3.6. Variation de la composition des chromites au voisinage des inclusions à MGP 93

3.4. Composition des minéraux interstitiels 96
3.4.1. Les silicates 100
3.4.2. Les sulfures 101
3.4.3. Les alliages 101
3.4.4. Les sulfoarséniures 103
3.4.5. Les arséniures 103

3.5. Résumé-Discussion-Proposition de modèle 103
3.5.1. Résumé-Discussion 103
3.5.2. Contrôle sur l'évolution des gisements-Origine 105
3.5.3. Modèle de la formation des gisements de chromite dans les ophiolites de Neyriz et d'Assemion 108

3.6. Résumé-Conclusions 113

Chapitre 4. Les Minéraux du Groupe du Platine (MGP) et les phases associées 117

4.1. Méthodes et Techniques Analytiques 119

4.2. Minéralogie des MGP 121
4.2.1. Les sulfures 122
4.2.1.1. La laurite 122
4.2.1.2. L'erlichmanite 132
4.2.2. Les alliages 137
4.2.2.1. Les alliages de Os, de Ir et de Ru 137
4.2.2.1.1. Osmium 140
4.2.2.1.2. Iridium 140
4.2.2.2. Les alliages de Pd et de Rh 141
4.2.3. Les sulofarséniures 142
4.2.3.1. Hollingworthite 144
4.2.3.2. Irarsite 144
4.2.4. Les minéraux formant des solutions solides 145
4.2.4.1. Les sulfures 146
4.2.4.1.1. Malanite 146
4.2.4.1.2. Cuproiridsite 146
4.2.4.1.3. Innomé Ni_2IrS_4 147
4.2.4.1.4. Innomé $NiIrS_2$ 148
4.2.4.2. Les alliages 148

4.3. Les minéraux de métaux de base 149
4.3.1. Les sulfures 150
4.3.1.1. Millerite 151
4.3.1.2. Heazlewoodite 151
4.3.1.3. Pentlandite 152
4.3.1.4. Digenite 153
4.3.1.5. Chalcocite 153
4.3.1.6. Covellite 153
4.3.1.7. Pyrite 153
4.3.1.8. Linnaeite 154
4.3.2. Les Arséniures et sulfoarséniures 154
4.3.2.1.. Maucherite 154
4.3.2.2. Arsenopyrite 154
4.3.3. Les alliages 155
4.3.3.1. Awaruite 155
4.3.3.2. Taenite 156
4.3.3.3. Tetrataenite 156
4.3.3.4. Nickel 156
4.3.3.5. Fer 156
4.3.4. EGP dans le réseau des métaux de base 156

4.4. Les silicates 158
4.4.1. Serpentine 160
4.4.2. Pyroxène 160
4.4.3. Chlorite 161
4.4.4. Amphibole 162
4.4.5. Mica 163

4.5. Conclusions 163

Chapitre 5. Distribution des Minéraux du Groupe du Platine et Phases associés 167

Intruduction 169

5.1. Distribution spatiale des MGP dans l'échantillon 169
5.1.1. Répartition des MGP dans les massifs 171
5.1.2. Répartition des MGP au sein des gisements 178
5.1.3. Répartition des MGP par rapport aux chromites 185

5.2. Distribution des différentes phases au sein des inclusions 193
5.2.1. Les inclusions monophasées 193
5.2.2. Les inclusions biphasées 197
5.2.3. Les inclusions triphasées 200
5.2.4. Les inclusions quadriphasées 200

5.4. Conclusions générales sur la distribution des MGP 200

Chapitre 6. Géochimie des éléments du groupe du platine 205

6.1. Présentation générale des éléments du groupe du platine (EGP) 207

6.2. Teneurs en EGP des chromitites 208

6.3. Comparaison avec autres chromitites des ophiolites de la littérature 215

6.4. Etude isotopique 217
6.4.1. Technique analytique 217
6.4.2. Discussion sur les résultats 219

6.5. Conclusions 221

Chapitre 7. Modèles de mise en place de minéralisation en éléments du groupe du platine 223

7.1. Les conditions de formation des MGP 225

7.2. Une revue des modèles proposés pour la formation des MGP 227

7.3. Proposition d'un modèle de mise en place de la minéralisation en EGP 229

Conclusions générales 235

Planches photographiques 241

Références bibliographiques 261

Annexes 283
Liste des figures 285
Liste des tableaux 291
Liste des échantillons étudiés 293
Tableaux des analyses 299

Introduction

Introduction

Les chromitites constituent, avec les amas sulfurés riches en Cu et Fe associés aux laves, l'une des deux principales ressources économiques des ophiolites. On a longtemps pensé que les ophiolites étaient dépourvues de concentrations d'éléments du groupe du platine (Os, Ir, Ru, Rh, Pt et Pd), notamment de Pt et de Pt qui forment des gisements exploitables dans les complexes magmatiques rubanés. tel celui du Bushveld. L'une des principales raisons est la rareté, voir l'absence, de concentrations de sulfures dans les niveaux profonds de l'ophiolite, qui sont censés être les principaux collecteurs des éléments du groupe du platine (EGP). En effet, les premières concentrations de platine dans les ophiolites ont été trouvées dans la partie supérieure du manteau, en association avec des sulfures de nickel, comme à Acoje. aux Philippines (Orberger et al. 1987). D'autres concentrations de sulfures dans les ophiolites de Thetford Mines (Barnes et al. 1985), de Shetland Isles (Prichard et al 1986, Gunn 1989), de Troodos (McElduff et Stumpfl 1989), d'Albanie (Ohnenstetter et al. 1991), d'Arabie Saoudite (Prichard et al. 1996) se sont révélées porteuses de concentrations de Pt et surtout de Pd.

Les spectres de répartition des EGP dans les concentrations de sulfures des ophiolites ont une pente positive, comparables à ceux des gisements de sulfures disséminés dans les complexes rubanés (Neziraj 1992). L'allure de ces spectres contraste avec celle à pente négative des spectres de chromitites stériles (Page et al. 1982, 1983, 1984, Page et Talkington 1984). Ces derniers ont longtemps été considérés comme caractéristique de la répartition des EGP dans les ophiolites. On doit à Page et al. (1979) l'étude de la distribution des EGP dans plusieurs gisements de chromite du monde, dont ceux des mines d'Abdasht à Esfandagheh et les mines de Faryab à Assemion au Sud de l'Iran. Toutes les chromitites se sont révélées stériles en Pt et Pd, mais enrichies relativement en éléments de la première triade (Ru, Os, Ir). Les ophiolites semblaient alors offrir un faible potentiel en Pt et Pd, à l'opposé des complexes rubanés.

La decouverte de teneurs élevées de Pt et de Pd dans les chromitites est relativement récente. De fortes teneurs de Pt liées à la présence d'alliages ont été découvertes dans des chromitites généralement situées à l'interface manteau-cumulats. L'origine de ces gisements est en conséquence rapportée soit à l'évolution tectono-magmatique du manteau, soit à la constitution de la croûte océanique.

Dans les chromitites, les minéraux du groupe du platine (MGP) sont localisés dans les chromite hôtes où ils appartiennent à des inclusions mono à pluriminérales. Ces dernières comportent des silicates dont des minéraux hydroxylés. mica et amphibole, des sulfures de métaux de base (SMB) et des minéraux secondaires telles

les chlorites. La paragenèse des inclusions qui contraste avec celle des roches hôtes a conduit à l'élaboration de modèles où les fluides jouent un rôle non négligeable pour concentrer les EGP et les déposer (Johan et Watkinson 1987). D'autres modèles retiennent un piégeage mécanique des MGP lors de la cristallisation de la chromite au sein des filons (Legendre 1982, Talkington et al. 1983, Augé 1988). Selon les différents modèles mis en œuvre, le lien génétique entre la formation des gisements de chromite et celles des concentrations d'EGP incluses dans les chromites est plus ou moins prononcé.

Il existe plusieurs raisons à la diversité des modèles proposés. L'une d'entre elles tient à la complexité de la lithostratigraphie des zones profondes de l'ophiolite due en partie aux mécanismes de formation de l'ophiolite, selon que celles-ci se sont mises en place dans un rift, au droit d'une dorsale médio-océanique ou dans un contexte d'arc insulaire. De ce fait, il existe de nombreuses incertitudes quant aux relations de mise en place des gisements par rapport au manteau résiduel ou par rapport aux roches silicatées dérivées des magmas successivement mis en place. De même, la chronologie de mise en place des différents gisements de chromite est souvent délicate à définir.

On admet généralement que les gisements les plus profonds sont les plus anciens et que ceux qui sont placés à proximité du Moho sont plus récents. Les gisements profonds seraient plus réfractaires que les gisements superficiels. La variation du rapport Al/Cr des gisements résulterait soit de la présence d'un manteau moins appauvri en profondeur à l'origine de magmas plus alumineux, soit d'un processus de fractionnement d'un magma, soit de la mise en place de plusieurs magmas de composition distincte. Le lien de différentes concentrations de chromite avec les magmas silicatés qui ont contribué à l'édification des ophiolites, par la mise en place de filons ou de massifs plutoniques dans le manteau, ou par le formation d'une croute dérivant de plusieurs chambres magmatiques emboîtées est là encore à préciser. On souligne le potentiel métallogénique des magmas boninitiques qui seraient à l'origine des gisements de chromite parmi les plus riches en chrome ainsi qu'à l'origine des concentrations platinifères liées aux chromitites (Prichard et Lord 1988). Toutefois, le rôle et la nature des magmas successifs issus de manteau de plus en plus appauvris, et leur incidence sur la formation, la nature et la taille des gisements est lui aussi toujours discuté.

Par ailleurs, la nature du collecteur des éléments du groupe du platine, magma silicaté, matte sulfurée, ou fluide minéralisant est très discutée, de même que les conditions de dépôt, selon que les concentrations d'EGP sont associées à des sulfures ou à des chromitites. Dans le premier cas, les sulfures enrichis en EGP dériveraient d'une matte sulfurée qui se serait individualisée d'un magma silicaté en concentrant les

EGP. Un processus hydrothermal pourrait également conduire à la concentration progressive des EGP en association avec des sulfures au sein de filons, et ceci après lessivage de la croûte océanique. Cette hypothèse est souvent retenue pour les concentrations de sulfures dans les ophiolites (Orberger et al. 1987, Prichard et al. 1996, Leblanc et al. 1991). En l'absence de sulfures, les PGM, en particulier les alliages cristalliseraient directement à partir d'un magma silicaté saturé en EGP (Nixon et al. 1990, Ohnenstetter 1992). Un fluide minéralisant d'origine magmatique concentrerait les éléments volatils avec les substances utiles pour provoquer leur dépôt lors de l'ouverture des filons de chromite dans le manteau ou lors de la circulation du fluide au sein d'une roche silicatée non consolidée.

Ce bref aperçu montre que les liens génétiques entre le magmatisme et la formation des gisements de chromite sont encore peu connus dans les ophiolites, de même que les relations entre les gisements de chromite et les concentrations d'éléments du groupe du platine. Il en va de même pour les mécanismes conduisant à la concentration de Rh, Pt et Pd par rapport aux éléments de la première triade (Ru, Os, Ir). Les teneurs plus élevées en EGP dans les chromitites des complexes rubanés par rapport à celles des chromitites ophiolitiques sont attribuées à une plus forte fugacité en soufre (Naldrett et von Grunewaldt 1989). Par ailleurs, des teneurs élevées en EGP dans les chromitites associés avec peu de sulfures ou dans les chromitites dépourvus de sulfures dans certains complexes rubanés semble indiquer qu'il n'y a pas de lien entre sulfures et EGP dans les chromitites (Nixon et al. 1990). Nous proposerons dans ce travail une explication concernant les teneurs en EGP différentes des chromitites des complexes ophiolitiques et de celles des intrusions rubanés.

Travaux engagés dans les ophiolites du rameau NW-SE (chaîne du Zagros):

Dans la plupart des études sur les ophiolites d'Iran, peu d'auteurs se sont consacrés à étudier en détail les corps de chromite qui ont été principalement considérés d'un point de vue économique. Peu d'informations sont disponibles sur la répartition des éléments du groupe du platine dans les chromitites des ophiolites d'Iran. Les premières données ont été repportées dans le rapport de Page et al. (1979) sur les chromitites des mines d'Abdasht à Esfandagheh et de Faryab à Assemion situées dans le Sud de l'Iran. La présence de minéraux du groupe du platine et donc l'existence de minéralisation en éléments du groupe du platine liée aux chromitites ont été signalées dans le massif de Neyriz (Moore et Rajabzadeh 1993). Ce travail préliminaire nous a amené à effectuer une étude plus précise de la distribution des EGP et des MGP dans les chromitites couplée à l'étude des roches hôtes.

Dans ce but, nous avons échantillonné des chromitites dans les mines des

régions de Neyriz et d'Assemion, cette dernière étant la plus grande région minière pour le chrome en Iran. La composition des chromites a été déterminée et discutée par rapport à la texture des roches hôtes et par rapport à la position stratigraphique des chromitites dans la pile ophiolitique. On a recherché et déterminé les paragenèses primaires des inclusions mono et pluriphasées présentes dans les chromites. L'étude minéralogique a été couplée à une étude statistique sur la répartition des MGP dans les chromitites. Les analyses des isotopes de l'osmium effectuées sur les chromitites ont permis de préciser l'origine et de ces gisements.

Enfin un modèle sur la formation des chromites et des minéralisations en EGP associées a été proposé à partir de la pétrogenèse des chromitites et des roches associées et de l'étude statistique sur la distribution des PGM.

Chapitre I

Cadre géologique des ophiolites d'Iran

1.1. Situation géologique des ophiolites d'Iran

L'Iran a une place spécifique du point de vue géologique. La formation du bloc iranien résulte du mouvement relatif de deux grands continents: l'Eurasie et le Gondwana. De nombreuses microplaques séparaient ces deux super-continents qui en s'accrétant ont donné l'Iran (Gansser 1974, Stöcklin 1974, 1977, Berberian et King 1981). Les ophiolites et les mélanges ophiolitiques sont les témoins de la croûte océanique séparant les microplaques. Elles indiquent suite à leur emplacement sur la marge des microplaques, les limites de ces microplaques. Les ophiolites jouent donc un rôle clé en compréhension de la formation du bloc iranien.

Les auteurs ont classé les ophiolites d'Iran sur la base de leur position géographique (Takin 1972, Stöcklin 1968, 1974), leur mode de genèse et leur position structurale (Desmons et Beccaluva 1983, Knipper et al. 1986), leur âge (Weber-Diefenbach et al. 1986, Arvin et Robinson 1994). Lensch et Davoudzadeh (1982) tiennent compte de tous ces facteurs pour classer les ceintures ophiolitiques. Nous retenons les traits essentiels de cette classification en apportant néamoins une légère modification: nous séparons les ophiolites du Sud du Baluchestan de celles de la ceinture du Zagros, comme cela a été proposé par Farhoudi et King (1977) et Knipper et al. (1986). Ce faisant, nous subdivisons les ophiolites d'Iran en quatre groupes majeurs (Fig. 1.1) qui sont présentés ci-dessous.

1.1.1. Les ophiolites d'âge Paléozoïque du Nord de l'Iran

Ces ophiolites affleurent sur les flancs Nord de la chaîne d'Alborz au Nord de l'Iran. Un massif ophiolitique rattaché à ce groupe d'âge Paléozïque affleure dans l'Iran Central (Lensch et Davoudzadeh 1982). Les ophiolites paléozoïques sont beaucoup moins abondantes que les ophiolites mésozoïques. Les principaux affleurements ayant servi à la description des ophiolites paléozoïques sont situés à l'Ouest de Machhad (Davoudzadeh et al. 1975, Stöcklin 1974, 1977, Majidi 1978, Alavi 1990), dans la vallée de Massouleh au Sud-Ouest de Racht (Davies et al. 1972) et au Nord d'Anarak. Les assemblages ophiolitiques ne sont jamais complets. Les roches ultramafiques (harzburgite, dunite, pyroxenite et serpentinite) correspondant à la partie basale d'une séquence ophiolitiques sont accompagnées par des roches métamorphiques (schistes verts, amphibolites et gneiss).

Alavi (1991) a observé un contact transitionnel à l'Ouest de Machhad entre les péridotites, les gabbros isotropiques qui se trouvent localement et les roches basaltiques. Majidi (1978, 1981) a noté la présence de laves basiques et ultrabasiques appartenant aux ophiolites paléozoïques. L'existence de laves ultrabasiques a été déduite de l'observation d'une wehrlite poecilitique composée d'olivine, de

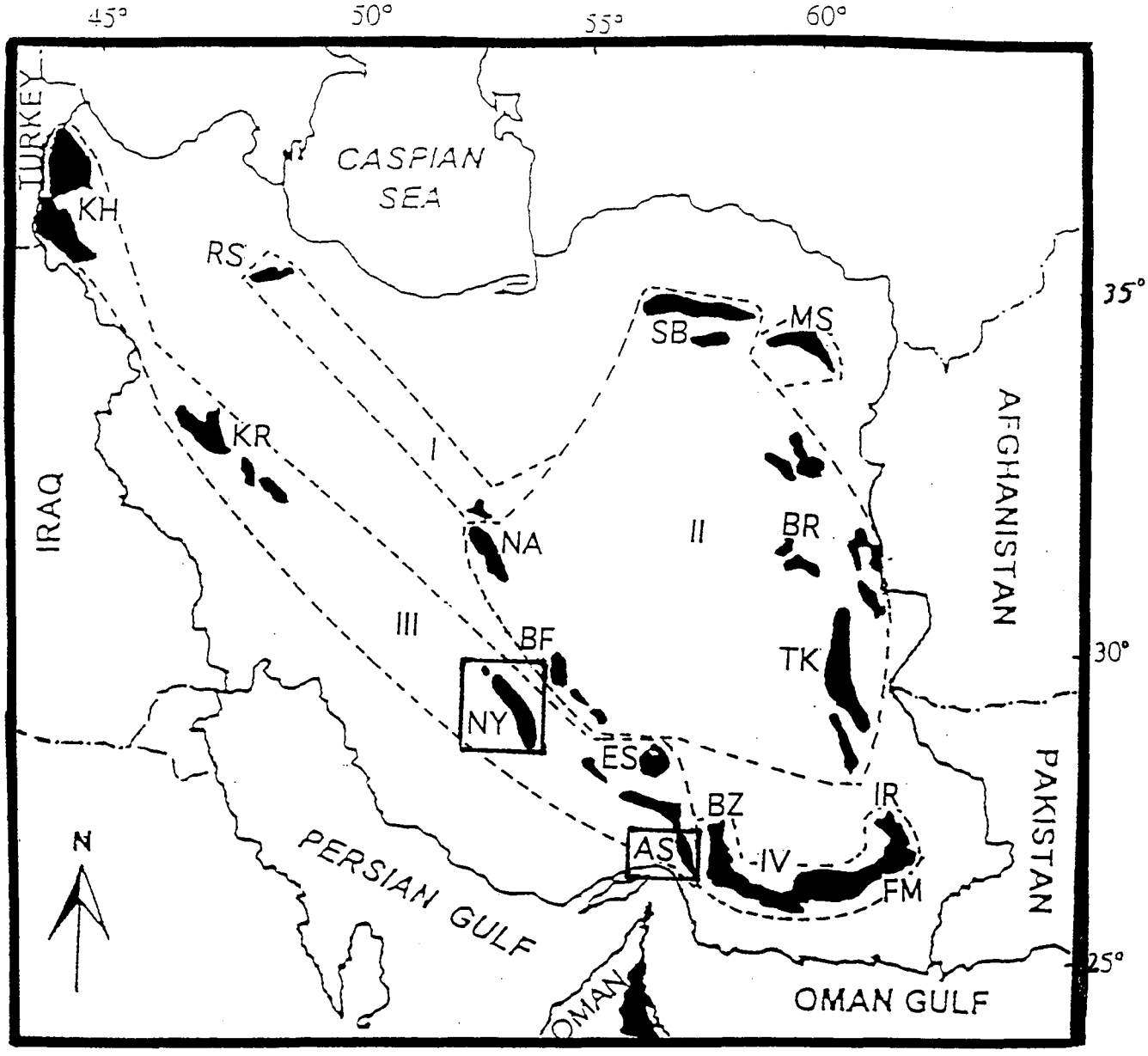


Fig. 1.1. Situation géographique des principaux massifs ophiolitiques d'Iran. I, Ophiolites paléozoïques du Nord: MS, Mashad; RS, Rasht (Talesh); II, Ophiolites mésozoïques de l'Est et du Centre: BF, Baft; BR, Birjand; NA, Naïn; SB, Sabzevar; TK, Tchehel Kureh; III, Ophiolites mésozoïques de la ceinture du Zagros: As, Assemion; ES, Esfandagheh; KH, Khoy; KR, Kermanshah; NY, Neyriz; IV, Ophiolites mésozoïques du Makran: BZ, Band-e-Ziarat; FM, Fanuj-Maskutan; IR, Iranshahr. Modifié d'après Hassanipak et al. (1996).

clinopyroxène et de verre dévitrifié à l'Ouest de Machhad. Les laves sont accompagnées de sédiments marins interstratifiés et métamorphisés dans le faciès schistes verts à amphibolites d'âge Carbonifère inférieur (Majidi 1983). La distribution des éléments majeurs et traces indique que laves se rapprochent des tholéiites abyssales.

Les ophiolites d'âge Carbonifère du Nord-Est de l'Iran pourraient ainsi correspondre à un processus d'expansion océanique analogue à celui se déroulant dans les dorsales médio-océaniques actuelles ou le long de rides océaniques dans des bassins arrière-arc. La disposition des ophiolites au sein du bloc iranien et leur nature permet de supposer qu'elle sont les restes de l'océan Paléotéthysien qui existait jusqu'au Trias Inférieur entre les deux super-continents : l'Eurasie et le Gondwana (Stöcklin 1977, Lensch et Schmidt 1984, Boulin 1988, 1991). L'emplacement tectonique des ophiolites sur le continent aurait eu lieu durant la phase orogénique hercynienne (Majidi 1978, Berberian et King 1981, Lensch et Davoudzadeh 1982).

1.1.2. Les ophiolites d'âge Mésozoïque de l'Est et du Centre de l'Iran

Les ophiolites de ce groupe se trouvent à la périphérie des microplaques de l'Est et du Centre de l'Iran dont les limites sont soulignées par de grandes failles longitudinales et transversales. Les principaux massifs ophiolitiques sont: au Nord, le massif de Sabzevar près de la faille de "Great" Kavir, à l'Ouest et Sud-Ouest, les massifs d'Anarak, de Nain et de Chahr Babak-Baft près de la faille de Nain-Baft et à l'Est, des massifs situés entre Birjand et Zahedan près de la faille de Naïband.

Sur la base des données paléomagnetiques et géologiques, la microplaque du Centre-Est de l'Iran aurait subi une rotation anti-horaire de 135°(Davoudzadeh et al. 1981, Lensch et Schmidt 1984, Schmidt et Soffel 1984, Boulin 1991). En raison de cette rotation, les assemblages ophiolitiques qui longent la microplaque Centre-Est sont généralement plus tectonisés et démembrés, ils apparaissent donc souvent comme des mélanges ophiolitiques.

Dans la région de Sabzevar, les ophiolites sont moins déformées et la succession des différents termes ophiolitiques est localement complète (Noghreyan 1982). Une formation volcano-sédimentaire post-ophiolitique est bien développée (Lensch et Davoudzadeh 1982, Baroz et al. 1983). Les laves et les sédiments sont d'âge Eocène et Miocène (Lensch et al. 1980).

Les ophiolites mésozoïques ont probablement pu être formées depuis le Trias supérieur, moment où la plaque Centre-Est a été séparée du reste de l'Iran, pendant l'ouverture de la Néotéthys (Davoudzadeh et al. 1981, Lensch et Schmidt 1984). L'emplacement des ophiolites sur la marge des microcontinents s'est fait suite à la

fermeture de la Néotéthys au Crétacé Supérieur-Eocène (Lindenberg et al. 1984, Schmidt et Soffel 1984).

Les caractères géochimiques des ophiolites mésozoïques sont mixtes, certains massifs ou portions de massifs montrant une affinité géochimique avec le magmatisme tholéiitique de type ride médio-océanique actuelle (Ohanian 1982, 1983, Desmons et Beccaluva 1983, Arvin et Robinson 1994) ou avec le magmatisme de type arcs insulaire (Lensch et al. 1979, Desmons et Beccaluva 1983, Baroz et al. 1983). Par exemple, l'évolution des gabbros et des microgabbros de Sabzevar est comparable à celle des roches tholéiitiques des rides médio-océaniques. L'affinité géochimique change au niveau du complexe filonien ("sheeted dykes") qui montre des caractéristiques semblables au magmatisme calco-alcalin (Lensch et al. 1979, Baroz et al. 1983).

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer ces évolutions géochimiques contrastées::

- (1) L'altération déutérique et le métamorphisme de faible degré seraient responsables de la mobilité chimique de certains éléments et du changement du caractère des roches d'un domaine tholéiitique vers un domaine calco-alcalin.

- (2) Les magmas pourraient être issus de portions de manteau supérieur de différente composition. La composition du manteau peut évoluer avec le temps ou suite à un changement des conditions de fusion.

- (3) L'évolution des conditions structurale et géotectonique suite à la rotation des microplaques peut influencer la genèse des ophiolites.

La première hypothèse n'est pas convaincante, car l'altération déutérique et le métamorphisme de faible degré est un phénomène commun dans les ophiolites. On sait que les processus liés à l'altération ou à l'hydrothermalisme ne peuvent pas à eux seuls modifier de cette façon le chimisme des roches. On ne peut également pas retenir la deuxième hypothèse, car par exemple dans le cas de l'ophiolite de Sabzevar l'activité magmatique a été limitée dans le temps et dans l'espace (Lensch et al. 1979, Ohnenstetter 1983). Il nous semble que la dernière hypothèse est la plus compatible avec la reconstruction paléogéographique. Ici nous retenons le modèle proposé par Baroz et al. (1983) pour l'ophiolite de Sabzevar :

"Un système de décrochements se crée le long de la marge active pendant les mouvements de la microplaque. Ce système de failles verticales développe des bassins "short lived" en "pull-apart" qui peuvent contenir les ophiolites. Sur la base de ce modèle pendant la convergence, l'accrétion des continents se réduit ou même se termine, et une limite de zone de subduction commence à entrer en activité à l'endroit des anciens linéaments. De cette façon, un arc insulaire se forme avec un volcanisme

explosif. En conséquence, une alternance du magmatisme calco-alcalin et alcalin se forme le long de la zone de Benioff".

1.1.3. Les ophiolites d'âge Mésozoïque de la ceinture du Zagros

Les ophiolites de cette ceinture s'étendent de Khoy et de Kermanchah au Nord-Ouest de l'Iran jusqu'à l'Ouest de la dépression de Jaz-Murian au Sud de l'Iran. Elles se poursuivient hors du territoire iranien, en Oman. La chaîne du Zagros constitue au Moyen-Orient une partie de la chaîne alpino-méditerranéenne (Ricou 1974) qui correspondant à la Téthys méridionale (Stoneley 1974).

Les ophiolites du Zagros, vestiges de la croûte océanique et du manteau supérieur au Mésozoïque, ont été mises en place tectoniquement dans la zone des écailles du Zagros. Cette dernière est limitée à l'Ouest, par la séquence calcaire de la plate-forme continentale Africo-Arabe, et à l'Est et au Nord-Est par la zone métamorphique de Sanandaj-Sirjan.

Les études radiométriques Ar/Ar et K/Ar (Pamic et Adib 1982, Delaloye et Desmons 1980, Lanpher et Pamic 1983) donnent un âge du début du Crétacé supérieur pour la genèse des ophiolites. L'âge du métamorphisme sous-jacent aux péridotites est estimé autour de 95 Ma. La plus récente étude radiométrique sur les gabbros du complexe ophiolitique de Band Ziarat à l'Ouest de la dépression de Jaz-Murian (Hassanipak et al. 1996) donne des âges 134 et 146 Ma. pour les gabbros du niveau inférieur et des âges 121 et 130 Ma. pour ceux du niveau supérieur, c'est à dire environ 40 Ma. de différence. Ces âges confrontés aux données de Haynes et Reynolds (1980) sur les amphibolites accompagnant les ophiolites du Sud-Est de Zagros et de l'Ouest de Makran (170 m.a.) semblent indiquer que la genèse et l'emplacement des ophiolites au Sud de l'Iran ont commencés beaucoup plus tôt que dans le Nord-Ouest.

Les ophiolites du Zagros, au contraire de celles de de l'Iran Oriental et Central et de celles du Baluchestan, ont été mises en place par charriage au Crétacé Supérieur (Desmons 1981). Les laves et les roches volcano-clastiques sont rares dans les ophiolites du Zagros. Elles sont néamoins localement présentes comme à Esfandagheh (Sabzehei, 1974). La plupart des ophiolites sont constituées d'une masse homogène de péridotite. Les sédiments supra-ophiolitiques comportent des radiolarites, des calcaires et des schistes (Lensch et Davoudzadeh 1982).

1.1.4. Les ophiolites d'âge Mésozoïque du Makran

Les ophiolites du Makran s'étendent au Sud du Baluchestan et sont séparées au Nord du bloc de Lut situé au Nord, par la dépression de Jaz-Murian. La ceinture

ophilolitique est orientée E-W, parallèlement au Golf d'Oman. Elle est proche du plan de charriage du Baluchestan.

Les microfaunes des sédiments accompagnant la séquence de "pillow lava" indiquent un âge allant du Crétacé inférieur (Valangien) au Paléocène. Les données radiométriques K/Ar donnent un âge Crétacé supérieur (Campanien) pour la cristallisation de la partie supérieure de la croûte océanique et pour le métamorphisme océanique (Delaloye et Desmons 1980). L'âge acceptable pour les diabases est de 89,3 Ma et pour les gabbros est 131 Ma. D'après ces données paléontologiques et radiométriques les ophiolites du Makran se sont formées entre le Jurassique supérieur et le Crétacé supérieur (Arshadi et Förster 1983).

La présence d'un magmatisme calco-alcalin d'âge Eocène moyen-supérieur et Miocène inférieur dans le mélange indique une activité magmatique d'arc insulaire dans cette région (Delaloye et Desmons 1980; Desmons et Beccaluva 1983). Farhoudi et Karig (1977) comparent les terrains ophiolitiques du Makran avec les arcs insulaires. Sur la base de l'hypothèse de Knipper et al. (1986), les ophiolites du Makran n'ont été formées par la simple obduction sur le continent. Elles constitueraient une part du prisme de subduction, ce qui explique qu'elles sont juxtaposées de façon complexe par rapport au continent. Cependant, il est signalé que la formation des mélanges ophiolitiques serait reliée à l'action de failles de forts pendages (Desmons 1981). La subduction dans la région du Makran continue actuellement et le volcanisme calco-alcalin au Nord de la dépression de Jaz-Murian y serait relié (Farhoudi et Karig 1977, Knipper et al. 1986).

1.2. La chaîne du Zagros

La ceinture orogénique du Zagros résulte de la création, puis la disparition de l'océan Néotéthysien localisé entre les plates-formes des continents iranien et arabe. Elle est constituée par trois zones tectoniques parallèles qui sont du Nord-Est vers le Sud-Ouest: a) la zone magmatique d'Urumieh-Dokhtar; b) la zone métamorphique de Sanandaj-Sirjan et c) la zone plissée du Zagros (Alavi 1994). Les assemblages ophiolitiques ont été mis en place le long de la limite entre b et c, soulignée par des dépressions.

1.2.1. L'évolution géodynamique du Zagros

Au Paléozoïque, des formations de plate-forme recouvrent le socle Infracambrien à Cambrien de l'Iran (Stöcklin 1968). A la fin du Permien, l'ère d'accalmie tectonique se termine en Iran. Au Permo-Trias le socle est déchiré en deux

blocs majeurs qui seront caractérisés par des évolutions géologiques très contrastées au Mésozoïque (Stöcklin 1974). D'intenses mouvements affectent la croûte continentale au Trias inférieur pendant que se forme l'océan Néotéthysien. Ces mouvements appartiennent à un processus de "rifting" caractérisé par le dévelopement d'un système en horsts et grabbens accompagnés de l'injection de magma le long des failles. La présence de diabases intercalées au sein des formations sédimentaires témoigne de cette activité tectono-magmatique (Alavi 1980). Les mouvements indépendants des microblocs formés à partir du continent iranien deviennent évidents dès le Trias supérieur et les grandes failles qui découpent l'Iran sont considérées comme les limites de ces microplates (Fig. 1.2).

A cette époque, un nouvel océan, la Néotéthys, s'installe entre l'Iran et l'Arabie suite à l'accolement de l'Iran Central avec l'Eurasie (Stöcklin 1974, Stoneley 1974, Alavi 1980, Delaloye et Desmons 1980). Dans ce nouvel océan, une activité volcanique comme celle de type Mer Rouge se développe et ceci pendant le dépôt de sédiments marins peu profonds sur le plateau continental (Alavi 1980). Selon Glennie et al. (1973), la formation de la croûte océanique dans le secteur de l'Oman aurait commencé dès le Permien moyen, avec un développement majeur au Jurassique. Ceci est en accord avec l'âge des séries radiolaritiques du Zagros, Trias supérieur à Crétacé moyen (Ricou 1968), qui accompagnent l'évolution du bassin.

Il est toutefois à noter que le Zagros a une évolution complètement différente du reste de l'Iran depuis le Trias. Takin (1972) divise l'Iran en deux parties correspondant à la ceinture sédimentaire du Zagros et au reste de l'Iran. L'histoire de la ceinture sédimentaire du Zagros est commune à celle de la plate-forme Arabe comme le montre l'existence des sédiments calcaires mésozoïques qui se poursuivent sans interruption depuis la plate-forme Arabe jusqu'au Zagros. Dans le reste de l'Iran, à la même époque, les signes de mouvements épigénétique et orogénétique sont nombreux ainsi que les traces d'activités ignées et métamorphiques.

Au Crétacé supérieur, la séparation des continents iranien et arabe diminue ou même s'arrête. La reprise du mouvement vers le Nord-Es du craton Africo-Arabe provoque un sous-charriage de la croûte océanique de la Néotéthys sous l'Iran et la formation d'une fosse au front du continent iranien. Un métamorphisme du type hautes pressions-basses températures se développe sous cette fosse (Alavi 1980). Des activités magmatiques soulignées par la mise en place de plutons de diorite et de granodiorite y sont associées. Sur le plateau continental Arab, une sédimenation du type peu profond se poursuit (les formations de Sarvak).

L'orogenèse du Zagros qui s'est déroulée en phases successives est le résultat de la fermeture de la Néotéthys, suivie de la collision des continents (Bird 1978). Les mouvements successifs de la plate-forme Africaine-Arabe vers le Nord-Est ont provoqué le chevauchement des formations sédimentaire du Zagros sur les couches

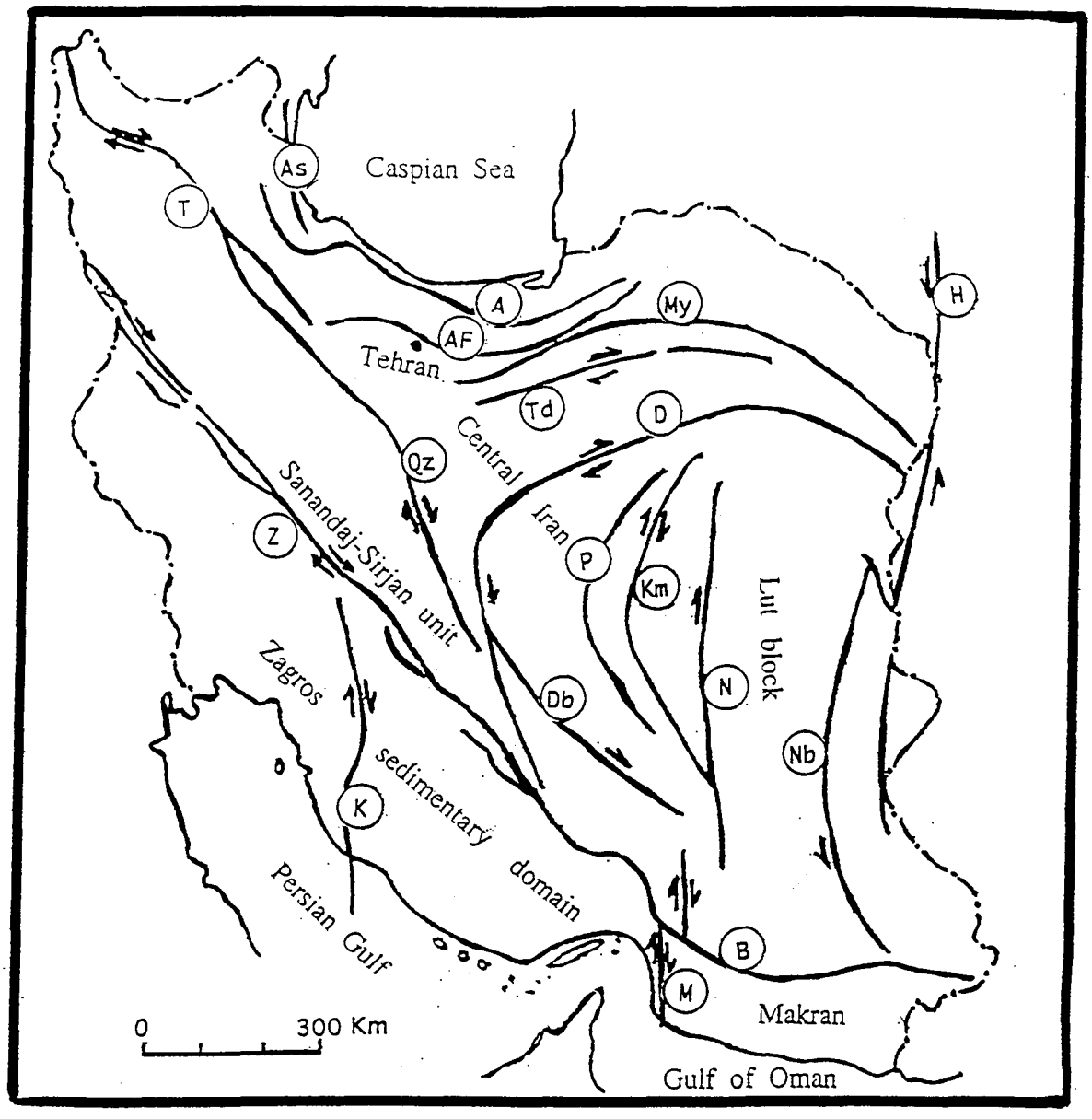


Fig. 1.2. Les grandes failles en Iran. A, Alborz; AF, Abyek-Firouzkuh; AS, Astara; B, Bashaguerd; D, Dorouneh; Db, Dehshir-Baft; H, Hariroud; k, Kazeroun; Km, Kalmerd; M, Minab; My, Miamey; N, Naïband; Nb, Nehbandan; P, Poshtbadam; QZ, Qom-Zafreh; T, Tabriz; Td, Troud; Z, Zagros. D'après Nabavi (1976).

salines infracambriennes (série d'Hormoz). Les blocs ophiolitiques, les radiolarites, les calcaires de faible profondeur et les turbidites qui les accompagnent ont été progressivement plissés le long de la zone de charriage du Zagros. Cette tectonique a été associé au dévelopement de flyschs au front du plateau continental durant le Crétacé supérieur et le Paléocène (les formations d'Amiran).

La formation des mélange colorés du Zagros est datée Crétacé supérieur (Ricou et al. 1977). Les datations radiomètriques sur les ophiolites et les roches métamorphiques donnent un âge Campanien pour la formation des ophiolites et pour le métamorphisme "schiste bleu" dans la région du Baluchestan au Sud de l'Iran (Delaloye et Desmons 1980). Ceci est en accord avec l'âge Maastrichtien des calcaires peu profonds (la formation de Tarbour) qui recouvrent partiellement les ophiolites de Neyriz et les roches associées.

Les mouvement liés au charriage du Zagros se sont poursuivis jusqu'au Pliocène (Falcon 1974).Ils ont accompagné l'évolution d'une zone de subduction qui a entrainé l'existence d'une activité volcanique au Pliocène, calco-alcaline à alcaline, au Nord de la ceinture ophiolitique (Jung et al. 1976). La distance séparant la zone volcanique du front du charriage du Zagros s'agrandit du Sud-Est vers le Nord-Ouest. Ceci pourrait être relié à la diminution du pendage de la zone de subduction vers le Nord-Ouest (Lensch et Schmidt 1984). L'orognèse Plio-Pléistocène, est en relation avec le mouvement du craton Arabe vers l'Iran. Les mouvements actuels dans la chaîne du Zagros sont limites aux mouvements verticaux le long des failles (Nowroozi 1971, Berberian 1976).

Les données géophysiques confirment que la collision de la plate-forme Arabe avec celle d'Iran a eu une grande influence sur la structuration de la croûte iranienne. L'épaisseur de la croûte de la microplaque de l'Iran Oriental et Central diminue de 40 à 20 km vers le charriage du Zagros. Sous le charriage du Zagros, il existe une autre limite de type croûte-manteau située à environ 60 km et qui peut s'interpréter comme de la plateforme Arabe subductée. La duplication de la croûte continentale sous le Zagros a été soulignée par Giesse et al (1983). Les données sismiques sur la chaîne du Zagros témoignent de l'existence d'une compression perpendiculaire à l'axe de la chaîne (Akasheh et Berckhermer 1984). Le raccourcissement du Zagros estimé à 100 km s'est déroulé depuis le Miocène (Alavi 1994). Le taux du raccourcissement du Zagros est estimé de 3 cm par an pendan l' Holocène (Mann et Vita-Finzi 1982).

1.2.2. Modèle de mise en place des ophiolites du Zagros

La plupart des modèles proposés pour la mise en place tectonique des ophiolites du Zagros sont basés sur l'existence d'une zone de subduction entrainant

la croûte océanique sous la croûte continentale, suivie de l'obduction d'une partie de cette croûte océanique sur la marge continentale (Haynes et McQuillan 1974, Stoneley 1975, Pamic et al. 1979, Alavi 1980, Haynes et Reynolds 1980, Sarkari Nejad 1985, Alavi 1994). D'autre modèles s'écartent de ce schéma classique. Ainsi Sabzehei (1974) propose que la séquence basique-ultrabasique (région d'Esfandagheh) se soit formée par la différentiation d'un magma basaltique dans un grand fosse apparu au sein d'un continent. Ricou (1971) montre que le contact anormal entre les ophiolites de Neyriz (secteur de Tang-é-Hana) et la croûte continentale sous jacente est accompagné d'un métamorphisme de contact dû à l'emplacement d'une masse encore très chaude sur le socle froid.

La génèse des ophiolites se serait déroulée dans des environnements géotectoniques très différents. Ainsi,

- (1) Les ophiolites du Zagros se seraient formées dans un arc insulaire (Farhoudi 1978, Desmons et Beccaluva 1983). Les données sur les ophiolites (Kermanshah, Neyriz) montrent une évolution géochimique des magmas parents depuis des tholéiites médio-océaniques jusqu'à des tholéiites d'arc insulaire immature (Desmons et Beccaluva 1983; Sarkari Nejad 1992). La présence d'un magmatisme voisin de celui des arcs insulaires immature a été également signalée par Baroz et al. (1983) dans les ophiolites de Sabzevar et par Arvin et Robinson (1994) dans les ophiolites de Baft au Sud-ouest de Kerman.

- (2) Knipper et al. (1986) proposent que les ophiolites de la Téthys soient formées le long d'une marge continent-océan dans les conditions géodynamiques instables. La croûte océanique est jeune au moment de l'obduction, c'est à dire qu'elle a moins de 50 Ma. On peut en déduire que la préservation des ophiolites résulte d'abord de l'existence de chevauchements intraocéaniques liée au foncionnement de l'arc intraocéanique. Ces chevauchements ont préfiguré les zones de cisaillement conduisant à l'obduction de la croûte océanique sur le continent et la collision de l'arc avec la marge continentale. L'affaissement de la marge continentale pendant la collision arc-continent a pu aussi conduire à la mise en place des ophiolites sur le continent grâce à un glissement par gravité.

- (3) Les ophiolites se seraient formées au droit d'une ride médio-océanique. Leur obduction sur le socle se réaliserait lors d'une première phase liée à la collision continentale du Zagros (Alavi 1994). L'obduction de la croûte océanique est accompagnée de la formation d'une zone d'écailles frontales de sédiments du plateau continental qui se structure durant la collison (Fig. 1.3)

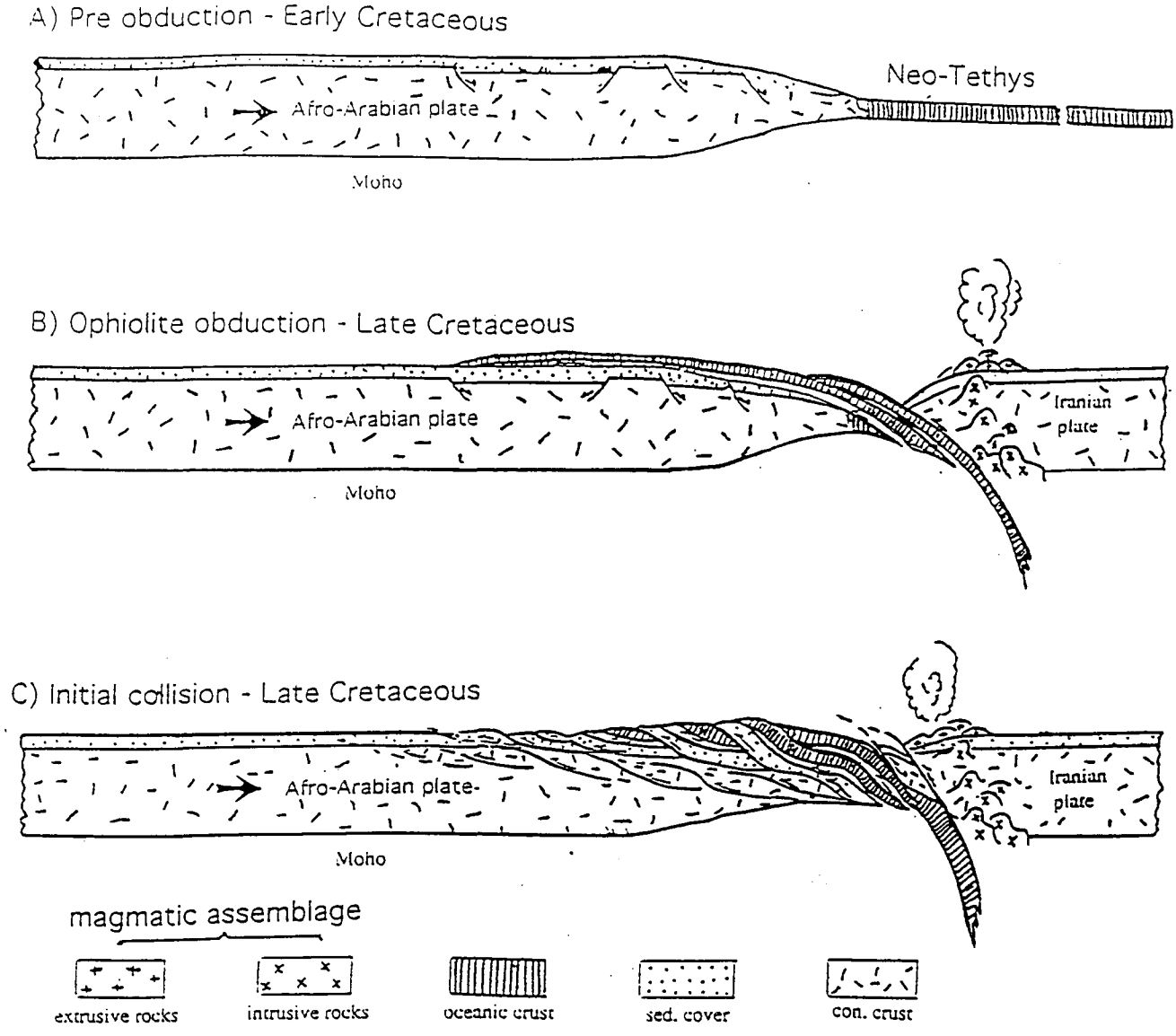


Fig. 1.3. Evolution de la chaîne du Zagros au cours des processus de collision transversales d'après Alavi (1994).

1.2.3. Les secteurs d'étude

Plusieurs massifs ophiolitiques de taille variable jalonnent la chaîne du Zagros depuis le Sud de l'Iran, dans le secteur du Golfe d'Oman jusqu'à la frontière Irano-turque au Nord-Est. Les principaux massifs sont du Nord-Ouest vers le Sud-Est: Khoy, Kermanshah, Neyriz, Esfandagheh et Assemion (Fig. 1.1).

La position géographique des ophiolites d'Esfandagheh les place à la jonction de la chaîne du Zagros avec celle de l'Iran Central et celle des ophiolites d'Assemion souligne la limite du Zagros avec la zone du Makran. La minéralisation en chromite est limitée aux trois dernières massifs dans la ceinture du Zagros (Neyriz, Esfandagheh et Assemion). La minéralisation en chrome et en éléments du groupe du platine a été étudiée dans cette thèse dans deux ces massifs, ceux de Neyrie et d'Assemion. Les ophiolites de Neyriz ont été mise en place sur le flanc Sud-Ouest et celles d'Assemion sur le flanc du Nord-Est du charriage du Zagros.

Chapitre II

Les Ophiolites de Neyriz (secteur d'Abadeh Tashk) et d'Assemion

Introduction

Dans les ophiolites, les minéralisations en chrome et en éléments du groupe du platine (EGP) associées sont situées à l'interface du manteau et de la croûte. L'origine de ces deux ensembles étant radicalement différente : le manteau harzburgitique serait le résidu d'un processus de fusion partielle plus ou moins prononcé (Dickey, 1975; Dick, 1976; 1977; Cassard et al., 1981; Nicolas, 1986), tandis que les cumulats de la croûte, mais aussi de nombreuses roches en filon dans le manteau, proviendraient de la cristallisation d'un magma. L'origine des chromitites qui sont présentes dans le manteau, et/ou dans la croûte doit donc se discuter par rapport à la formation des ensembles hôtes. Dans ce contexte, la signification des dunites, souvent en association étroite avec les chromitites, est fondamentale puisqu'on les trouve dans le manteau sous divers types de gisements, ainsi que dans la croûte où elles tapissent généralement la base de la paléochambre magmatique en alternance avec des cumulats de différentes nature selon la composition du magma parental : cumulats troctolites pour des magmas se rapprochant de la composition des tholéiites médio-océaniques, cumulats wehrlitiques et pyroxénitiques pour des magmas se rapprochant du chimisme des tholéiites d'arc.

Les hypothèses quant à l'origine des dunites permettent de présenter les principaux processus pétrologiques à l'interface manteau-croûte (Moores, 1969; Ross et al., 1980; Prinzhofer, 1981; Johan et al., 1982; Boudier et Nicolas, 1985; Nicola, 1989; Karaj, 1992; Neziraj, 1992) :

(1) Dunites résiduelles

Elles proviendraient d'une fusion partielle extrême conduisant à la fusion de l'orthopyroxène (Boudier et Nicolas, 1972; Dick 1977; Cassard, 1980; Boudier et Coleman, 1981). L'un des critères de reconnaissance est le passage graduel de harzburgites à des dunites riches en orthopyroxène, puis à des dunites pauvres en orthopyroxène. Dans les ophiolites, le manteau harzburgitique constitue un excellent candidat pour donner des magmas saturés en silice en contrepartie du résidu dunitique. Les magmas boninitiques auraient notamment une telle origine.

(2) Dunites métamorphiques

La ségrégation des dunites interviendrait au cours d'un phénomène de dissolution-recristallisation métamorphique ("pressure solution creep") dû à l'application d'une pression perpendiculairement au plan de foliation (Dick et Sinton 1979). Ce procédé conduit à l'obtention d'un massif rubané où alternent dunites, harzburgites plus ou moins appauvries en pyroxène et pyroxénites.

3) Dunites réactionnelles

Les dunites dériveraient de l'interaction d'un magma basaltique montant vers la surface avec une harzburgite. Selon la composition du magma et la pression, il peut y avoir déstabilisation et fusion incongruente de l'orthopyroxène (Hopson et al., 1981; Quick, 1981; Berger et Vannier, 1984; Nicolas, 1986), ce qui provoque l'enrichissement en silice du magma qui percole et la formation des dunites.

4) Dunites magmatiques

Elles proviendraient de l'accumulation des olivines cristallisant au cours du refroidissement du magma (Harkins et al. 1980) dans des conduits (filons) ou des chambres magmatiques temporaires (formation de la croûte), l'olivine étant au liquidus de la plupart des basaltes, notamment des tholéiites de ride et d'arc insulaire.

Dans ce chapitre, on revoit rapidement la situation géologique des massifs, puis on présente la nature et la texture des roches grenues qui contituent les deux massifs étudiés, Neyriz et Assemion, avant de discuter de la composition des minéraux, essentiellement l'olivine et l'orthopyroxène, localement accompagnés de clinopyroxène et spinelle chromifère.

2.1. Localisation des massifs

2.1.1. Neyriz

Les roches ophiolitiques du secteur d'Abadeh Tashk appartenant au massif de Neyriz (entre 53°45' et 53°56' de longitude, et entre 29°47' et 29°55' de latitude) sont situées au Nord du lac de Tashk, dans la province de Fars, à 180 Km de Shiraz. Arsanjan, la ville la plus proche du secteur étudié, se situe à l'Ouest du massif, à une distance de 60 Km.

Les montagnes Dalneshine à l'Ouest et Roushan-Kuh au Nord-Est appartiennent à la chaîne de Zagros. Le plus haut sommet est représenté par la montagne de Roushan-Kuh (3265 m). Les montagnes sont pauvres en végétation, mais les plaines ont un grand potentiel de production de produits agricoles. Le climat est chaud et sec. La pluvisoité est faible au début de l'hiver jusque vers le milieu du printemps. La température peut atteindre jusqu' à 42°C en été et descendre au-dessous de zéro en hiver.

2.1.2. Assemion

Les roches ophiolitiques du secteur d'Assemion sont situées à une distance de 140 Km au Nord-Est de Bandar Abas dans la province d'Hormozgan au Sud de l'Iran. La ville la plus proche, Minab, se situe à une distance de 50 Km vers le Sud-Ouest.

L'assemblage ophiolitique s'étend entre 57° 15' et 57° 30' E de longitude et entre 27° 15' et 27° 30' de latitude.

Les montagnes Kuh-e-Pashang se situent au Nord, et celles de Kuh-e-Moulai à l'Est de la région étudiée. Le plus haut sommet est le Kuh-e-Sorkhband (1150 m), situé au centre du secteur, qui est constitué de roches ultramafiques. Le climat est chaud avec une forte humidité ambiante surtout en été. La pluviosité est faible. La température peut atteindre 48°C en été et descend rarement au-dessous de zéro en hiver.

2.2. Le contexte géologique

2.2.1. Situation générale

Plusieurs massifs ophiolitiques de taille variable jalonnent la chaîne du Zagros depuis le Sud de l'Iran, dans le secteur du Golfe d'Oman, jusqu'à la frontière Irano-Turque au Nord. Les principaux massifs sont du Nord vers le Sud: Khoy, Kermanshah, Neyriz, Esfandagheh et Assemion (Fig. 1.1).

La position géographique des ophiolites d'Esfandagheh (Sabzehei, 1974) les place à la jonction de la chaîne du Zagros avec celle de l'Iran central, et celle des ophiolites d'Assemion souligne la limite du Zagros avec la zone du Makran. Les ophiolites de Neyriz ont été mises en place sur le flanc Sud-Ouest et celles d'Assemion sur le flanc Nord-Est du charriage du Zagros. Ainsi, le massif de Neyriz est limité vers l'Est et le Nord-Est par le charriage principal ou "Main Thrust" du Zagros et vers le Sud et le Sud-Ouest par la plateforme carbonatée Mésozoique et Tertiaire du Zagros (Ricou 1968, Stöckin 1968).

L'assemblage ophiolitique d'Assemion appartient à un des blocs ophiolitiques dispersés, associé au mélanges "colorés", le long de la limite entre la zone de Sanandaj-Sirjan et la zone du Zagros plissée. Ces ophiolites sont situées le long de la faille de Zendan (faille de Minab) qui sépare la dépression de Jazmorian à l'Est des formations sédimentaires du Zagros à l'Ouest. Cette faille dextre se poursuit en Oman.

Les études géochronologiques sur le complexe ophiolitique de Band Ziarat (Hassanipak et al., 1996) à l'Ouest de la dépression de Jazmorian et des autres fragments ophiolitiques de Sud-Est du Zagros (Haynes et Reynolds, 1980) près du secteur d'Assemion indiquent une différence 40 Ma entre la génése et l'emplacement tectonique des ophiolites. Dans ces régions, l'accrétion aurait commencée beaucoup plus tôt que dans les secteurs de Neyriz et du Nord-Ouest de Zagros. D'après des études structurales, les ultramafites avec les corps de chromitites associées se seraient mises en place sur le flanc Sud-Ouest de la dorsale orientée NW-SE.

La minéralisation en chromite est limitée aux trois derniers massifs dans la ceinture du Zagros (Neyriz, Esfandagheh et Assemion). La minéralisation en chromite et en éléments du groupe du platine a été étudiée dans cette thèse dans deux de ces massifs, ceux de Neyriz et d'Assemion.

Pour la descrption des roches nous utiliserons la classification de Strekeisen (1973, 1976).

2.2.2. Les formations sédimentaires et métamorphiques associées aux massifs ophiolitiques

2.2.2. 1. Les formation sédimentaires de Neyriz

Le massif ophiolitique de Neyriz dans le secteur d'Abadeh Tashk chevauche des formations sédimentaires autochtones sans qu'aucune trace de métamorphisme de hautes témperatures n'ait pu être observée au contact. (Fig. 2.1). Ces formations sont rattachées d'une part au groupe de Bangeustan d'âge Albien inférieur à Cénomanien, d'après les rudistes trouvés dans les calcaires massifs, et au groupe de Gourpi d'âge Cénomanien à Maastrichtien.

Le groupe de Bangeustan se subdivise en deux formations : celle de Kajdomi et celle de Sarvak, qui sont principalement constituées de calcaires et de calcaires marneux avec un litage épais ou massif. Le groupe de Gourpi comporte des calcaires marneux, de couleur gris foncé avec un faible litage.

Le massif de Neyriz est lui-même chevauché par un mélange qui affleure au Sud, à l'Est et au Nord-Est de la nappe ophiolitique. Ce mélange comporte des radiolarites, des cherts radiolaritiques verts et des calcaires pélagiques métamorphisés et localement de rares laves en coussins "pillows lavas" (Photo 1, Planche I). Les cherts radiolaritiques sont localement plissés comme au Sud du massif de Cheshmeh Bid. L'axe de plis est de direction Nord-Sud (Photo 2, Planche I). Ces roches sont recouvertes par des turbidites. Le mélange et la série radiolaritique d'âge Crétacé supérieur sont couverts transgressivement au Maastrichtien par les calcaires de Tarbour, qui scellent ainsi la mise en place des nappes ophiolitiques sur la marge continentale. Des calcaires de la formation d'Asmari-Jahrom d'âge Eocène à Oligocène recouvrent les calcaires maastrichtiens.

2.2.2. 2. Les formation sédimentaires et métamorphiques d'Assemion

Dans le secteur d'Assemion, les ophiolites sont également associées à un mélange coloré semblable à celui de Neyriz mais de plus grande extension (Fig. 2.2). Ce dernier est recouvert de sédiments plus récents transgressifs. Par ailleurs un large complexe métamorphique existe à l'Est du massif ophiolitique dont il est également séparé par des contacts tectoniques.

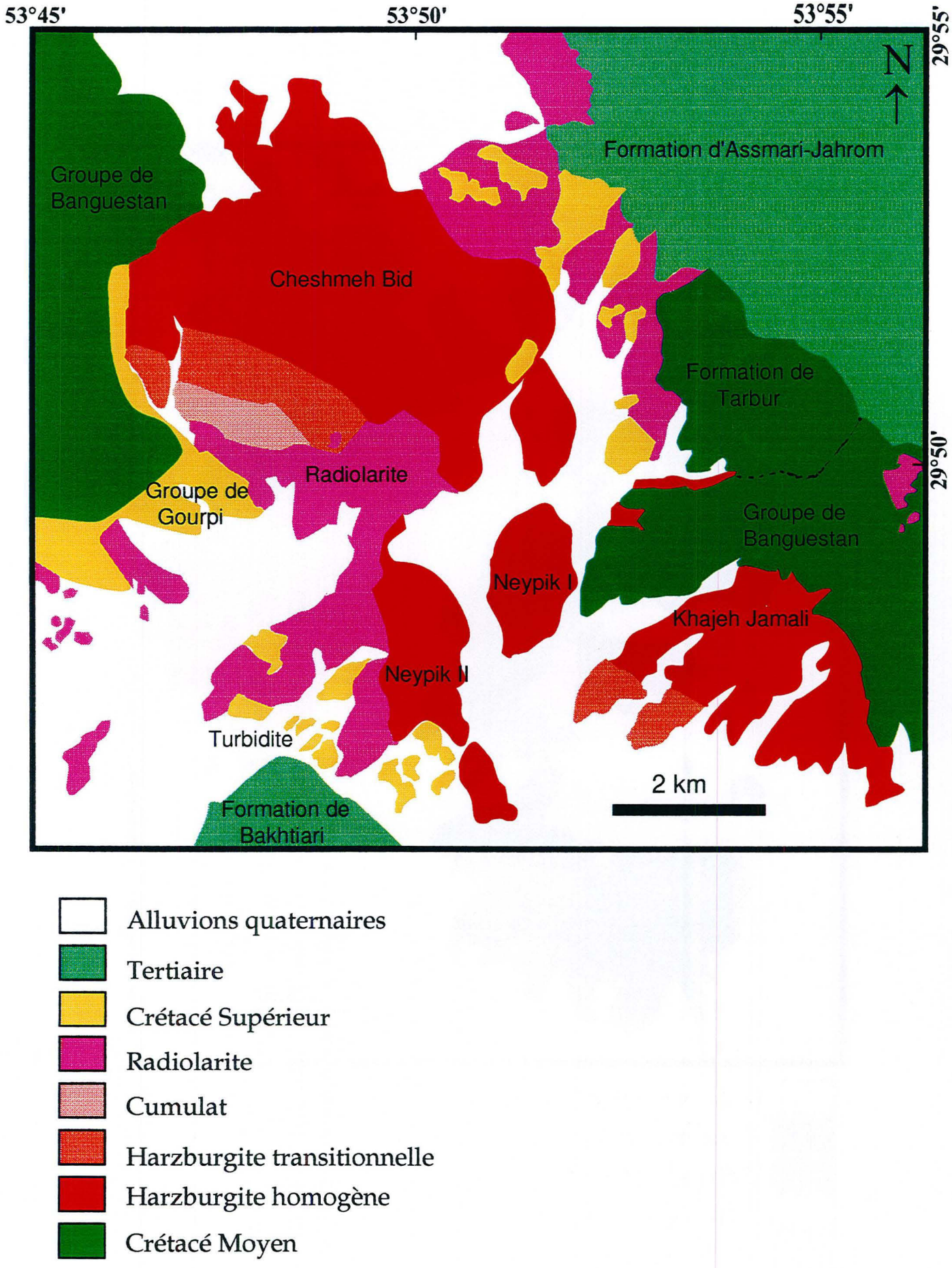


Fig. 2.1. Carte géologique simplifiée de la région de Neyriz (secteur d'Abadeh Tashk)

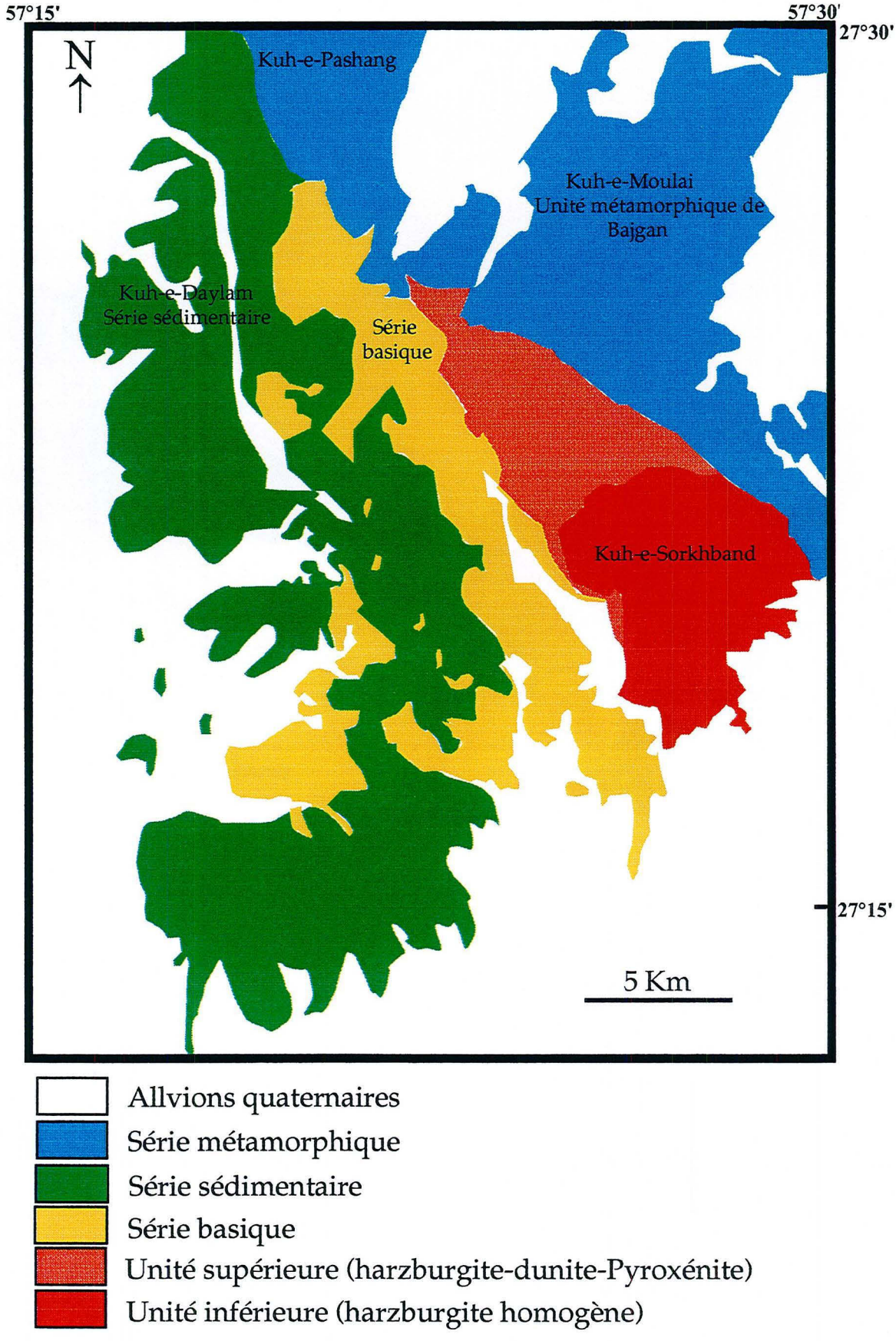


Fig. 2.2. Carte géologique simplifiée de la région d'Assemion.

Le mélange "coloré" affleure largement dans la région. C'est une unité structurale qui est constituée par des roches pélagiques Jurassique à Crétacé avec des blocs exotiques. Sur la carte géologique, le mélange "coloré" est subdivisé en deux formations lithologiques qui n'ont aucun rapport stratigraphique entre eux et qui sont toujours séparés par des contacts tectonqiues: a) la formation sédimentaire et b) la formation volcanosédimentaire, où des roches sédimentaires ou volcaniques basiques dominent respectivement.

La formation sédimentaire est constituée de grès finement stratifiés, de microgrès, de cherts radiolaritiques, de calcaires à Globotruncana, de calcaires recristallisés, de schistes calcaires alternant avec d'autres roches présentes en plus faible proportion, telles les phyllites, conglomérats, basaltes (en coussins et amygdalaires à carbonates) et rhyolites (Photo 3, Planche I).

La formation volcanosédimentaire est constituée de basaltes en coussins, généralement amygdalaires qui sont associés à des carbonates et à cherts radiolaritiques.

Dans les deux formations, on retrouve les mêmes blocs exotiques. Il s'agit de roches sédimentaires associées à des laves en coussin: calcaires à *Globotruncana* du Crétacé supérieur (du Turonian au Maastrichtien), accompagnant des cherts radiolarites, des calcaires pélagiques recristallisés (Pliensbachian au Coniacien), des calcaires récifaux à *Orbitolina*, et *Lithocodium aggregatum* qui sont caractéristiques de l'Aptien et de fragments de roches basiques et ultrabasiques pouvant dériver d'un complexe ophiolitique : serpentinite, dunite, harzburgite, lherzolite, amphibolite et gabbro. Les roches mafiques sont en moins grande abondance que les ultramafites.

Les basaltes ont été altérés dans le faciès zéolite (calcite, argile, hematite, quartz, chlorite, zéolites).

Des formations sédimentaires plus récentes, du Tertiaire, recouvrent ce mélange. Elles sont particulièrement bien exposées à l'ouest du massif ophiolitique mais sont en partie cachetées par des dépôts quaternaires notamment dans les plaines.

Les grès Oligo-Miocène et le conglomérat du Pliocène recouvrent en discordance le mélange "coloré". Le contact entre le mélange "coloré" et les roches sédimentaires du Cénozoïque est néanmoins le plus souvent faillé. La séquence sédimentaire est constituée par la formation de Michan (l'unité de Vaziri) et de formation d'Agha Jari (l'unité de Makran). La formation de Michan est constituée par des marnes grises et des calcaires fossilifères dont l'âge est estimé Miocène inférieur à Miocène moyen. La formation d'Agha Jari est constituée par l'alternance de grès calcaires de couleur brun et gris, de schistes calcaires, de marnes et de grès fins, ces derniers étant très fossilifères. L'âge estimé pour cette formation est Miocène supérieur à Pliocène.

Un puissant massif de roches métamorphiques (le complexe de Bajgan) s'étend au nord et à l'est des ophiolites dont il est séparé par un contact tectonique (Fig. 2.2). Ce complexe est formé par des roches calco-silicatées, des schistes pélitiques et psammitiques, des schistes à quartz-muscovite-chlorite, des calcaires recristallisés et des marbres. L'âge du dernier métamorphisme est estimé Senonien.

2.3. Assemblage ophiolitique de Neyriz

L'assemblage ophiolitique du massif de Neyriz dans le secteur de Tang-e-Hana (Fig.2.3) est tout à fait conforme à la définition des ophiolites donnée à la Conférence de Penrose (1972). L'étude géochimique des roches basiques (Sarkari Nejad, 1985) indique une affinité géochimique de la croûte ophiolitique avec celle formée actuellement dans les rides médio-océaniques.

Par contre, l' assemblage ophiolitique du secteur d' Abadeh Tashk que nous avons étudié est incomplet. Dans ce secteur, les massifs ophiolitiques sont constitués uniquement par des roches ultramafiques: harzburgite, harzburgite serpentinisée, dunite, pyroxenite et wehrlite rattachées au manteau supérieur et à la base de la séquence crustale. On distingue selon la proportion de dunite, l'homogénéité des formations et la structuration, trois unités passant le plus souvent graduellement les une aux autres: : a) des harzburgites homogènes b) des harzburgites transitionnelles et c) des cumulats dunitiques et wehrlitiques.

C'est Abadeh Tashk qui présente le plus fort potentiel métallogénique du massif de Neyriz en ce qui concerne la chromite. La région de Tang-e- Hana ne présente que quelques indices d'extension limitée.

Quatre secteurs ont été définis dans la région d' Abadeh Tashk qui sont séparés les uns des autres par des cherts radiolaritiques, des calcaires pélagiques et/ou des sédiments quaternaires (Fig. 2.1). Il s'agit des secteurs de: Cheshmeh Bid; Neypik 1; Neypik 2; Khajeh Jamali qui renferment les principales mines (de Roni, de Cheshmeh Bid, de Rajoni, de Neypik, de Barandaz, de Khajeh Jamali et d'Hassankhani).

Les roches cumulatives (dunites et wehrlites) sont uniquement présentes dans le secteur de Cheshmeh Bid.

2.3.1. Tectonites mantelliques

La séquence mantellique est constituée de harburgites et de dunites, les lherzolites étant très subordonnées. Une stratigraphie fruste peut être définie dans le manteau (Fig. 2.4). La partie mantellique profonde, visible au nord des massifs, comporte des harzburgites très homogènes dont la puissance peut atteindre environ 3,5 Km avec peu de dunites. La zone transitionnelle, ou zone de transition, plus superficielle et donc plus proche des cumulats, montre des alternances d'harzburgites, qui sont

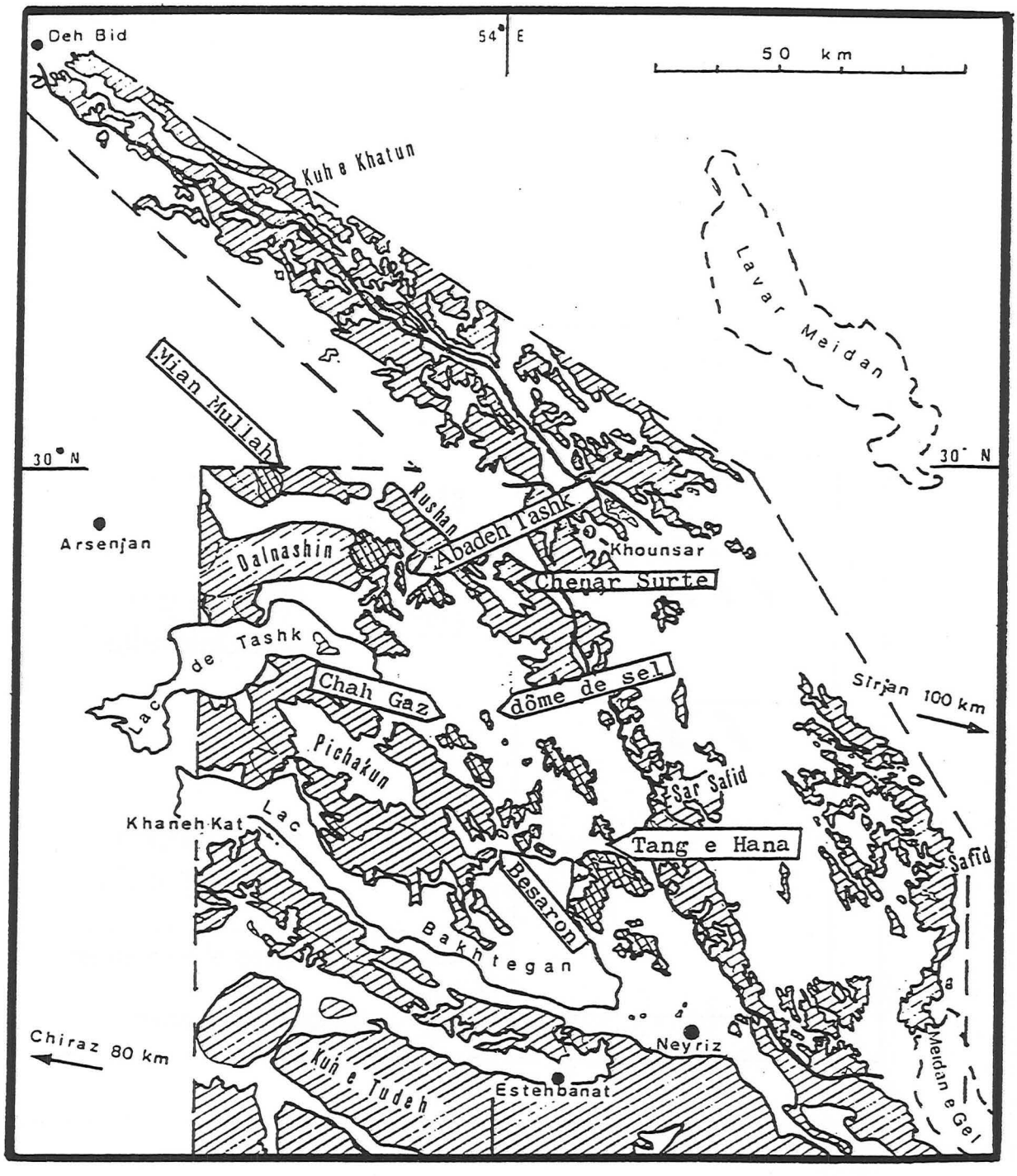


Fig. 2.3. La nappe des péridotites, gabbros et calcaires dans la région de Neyriz. D'après Ricou (1974).

prédominantes, et de dunites. Cette zone qui affleure sur les versants sud des massifs comporte la majorité des gisements de chromite. Les filons pyroxénitiques sont également présents dans cette zone qui passe graduellement vers le bas aux harzburgites homogènes. Le contact entre les differentes zones ont été cartographié au 1/20 000 ème.

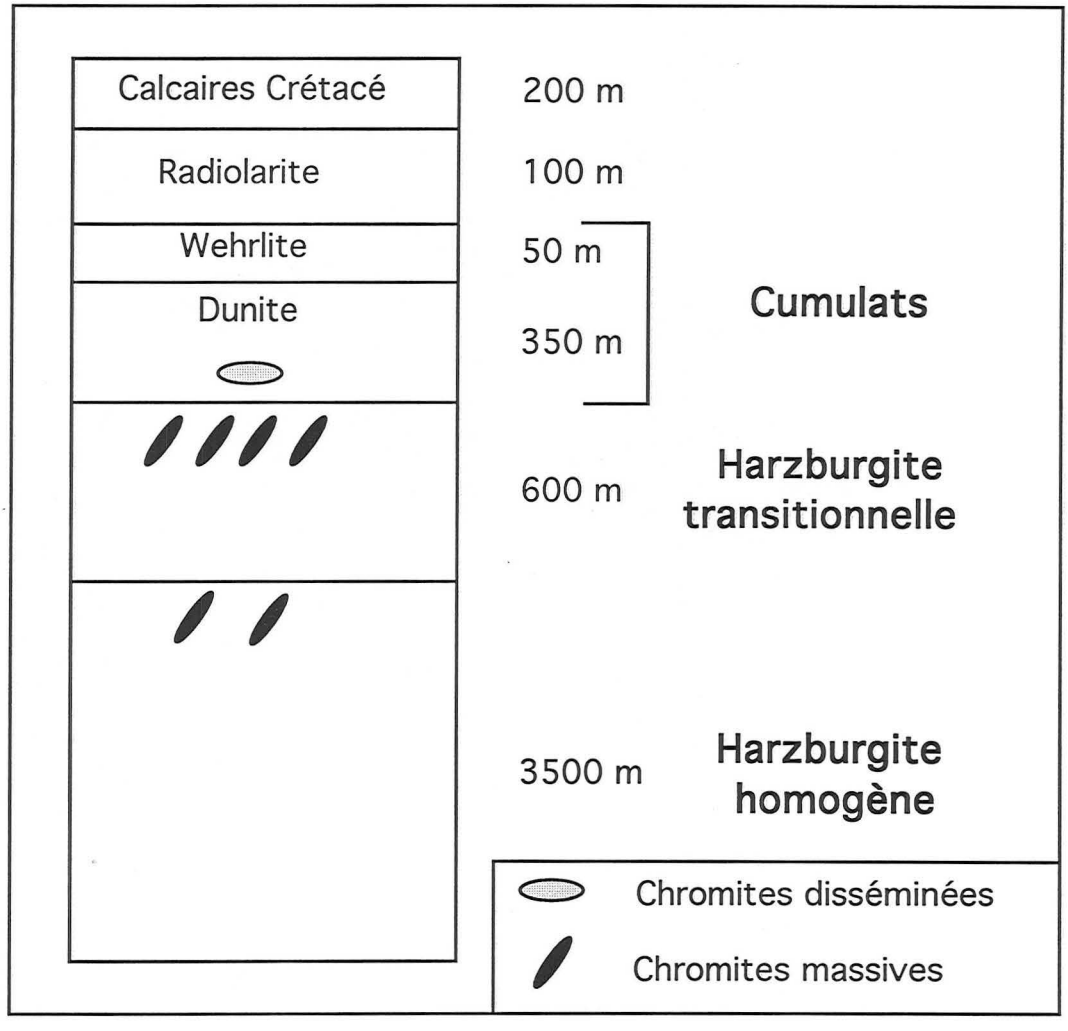


Fig. 2.4. Colonne lithologique de l'ophiolite de Neyriz dans le secteur d'Abadeh Tashk

Les harzburgites présentent une foliation avec un faible plongement (160 NE 35) mais qui fait un angle d'environ 50° par rapport à la discontinuité du paléo-Mohorovicic ainsi que par rapport à l'orientation du litage des roches cumulatives (110 SW 40). La foliation est soulignée par l'aplatissement des orthopyroxènes (Photo 4,

Planche I). La présence d'une structure quasiment uniforme est le témoin d'une phase de déformation unique de ces roches liée à l'écoulement du manteau (Fig. 2.5) . A l'Ouest du massif de Cheshmeh Bid, on peut observer un filon basaltique qui a recoupé la harzburgite. L'épaisseur de ce filon est de 20 m et son orientation est Nord-Sud (Photo 5, Planche I).

La partie basale de l'écaille mantellique est souvent serpentinisée à proximité du contact chevauchant. D'une manière générale, les serpentinites ceinturent les différents massifs ultramafiques. La puissance des serpentinites varie de 10 à 50 m (Photo 6, Planche I). Vers le centre du massif ophiolitique le degré de serpentinisation diminue rapidement.

Les différents secteurs reconnus sont limités par des failles bordières subparallèles à la ceinture ophiolitique du Zagros (160 NE 20 à de 160 SW) ou bien transverses qui compliquent la structure interne de la nappe ophiolitique et qui surtout ont joué un grand rôle dans la tectonisation et le déplacement des gisements de chromite. Ces failles qui localement forment un réseau de fractures conjuguées peuvent être liées à l'emplacement de la nappe ophiolitique vers l'ouest, ainsi qu' à des contraintes tectonqiues postérieures. La serpentinisation des roches ultramafiques dans les zones tectonisées est plus intense, surtout le long des failles où elles sont associées à la formation de magnésite (Photo 7, Planche I). Les serpentinites sont quelquefois schistosées et des orthopyroxènes déformés et bastitisés sont reconnaissables dans une matrice de chrysotile et de lizardite. L'importance des mouvements tardifs est aussi attesté par le démembrement des radiolarites qui sont retrouvées en lambeaux au-dessus des péridotites de la base ou de la partie sommitale (Photo 8, Planche I).

2.3.1.1. Harzburgite homogène

La harzburgite homogène constitue la partie la plus importante de l'assemblage ophiolitique. Cette zone est constituée par des harzburgites et des harzburgites serpentinées. Elle forme plus de 80% de la séquence ophiolitique du secteur d'Abadeh Tashk. Elle est très homogène de la base vers le sommet, étant constituée par 70-75% d'olivine, 25-30%, d'orthopyroxène et 1-3% de spinelle. Le clinopyroxène est localement présent en faible proportion. Il est plus généralement visible sous forme de lamelles d'exsolution dans les orthopyroxènes. Les minéraux ne montrent pas ou peu de variation cryptique: $Fo_{91,2\pm0,4}$ pour les olivines et $En_{90,52\pm0,82}$ pour des orthopyroxènes (Sarkari Nejad, 1985).

2.3.1.2. Zone transitionnelle

Cette zone transitionnelle entre les harzburgites homogènes à la base de la séquence ophiolitique et les cumulats est soulignée par un litage macroscopique dû à

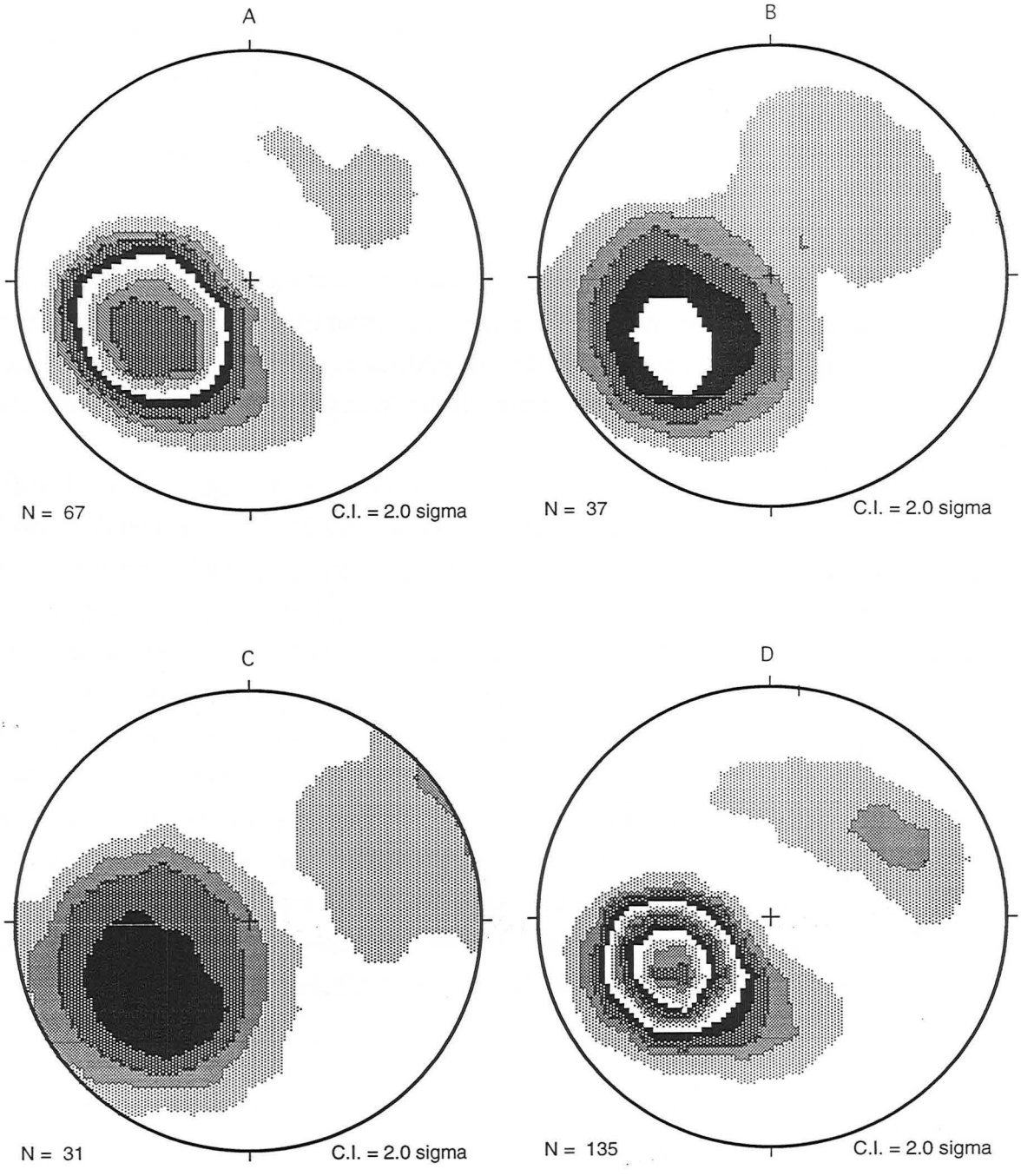


Fig. 2.5. Projection des pôles des plans de foliation. Hémisphère inférieur. A: massif de Cheshmeh Bid (N163,41NE), B: massif de Khajeh Jamali (N155, 37NE), C: massifs de Neypik I et II (N157,39NE), D: le secteur de Neyriz en totalité (N160, 35NE). N: nombre de plans

l'alternance de niveaux harzburgitiques et dunitiques. Ce litage a une orientation Est-Ouest avec un pendage d'environ 40° vers le Sud. L'épaisseur de la zone transitionnelle peut atteindre 600m. Vers le haut de la zone, la foliation disparaît et la proportion de lentilles de dunites et de filons de pyroxenites, en majorité des orthopyroxénites, augmente. La taille des lentilles et des filons varie de quelques centimètres jusqu'à la dizaine de mètres (Photos 1, 2 et 3, Planche II). On peut placer la paléo-discontinuité de Mohorovicic dans cette zone de transition.

Les grands corps de chromitite massive se situent préférentiellement dans la zone des harzburgites transitionnelles. Cependant l'extension des gisements et des indices de chromites podiformes est très variable. Les chromitites, de même que les lentilles de dunites et les filons d'orthopyroxénites sont quasiment parallèles à la foliation des harzburgites, formant ainsi des sortes de "filon-couche". Les contacts entre les différents faciès lithologiques sont nets. Toutefois, le passage des harzburgites aux dunites se fait sur quelques centimètres. Il est marqué par une diminution du pourcentage des orthopyroxènes vers les dunites. Il peut se suivre sur quelques mètres.

2.3.2. Cumulats ultramafiques

Les cumulats dunitiques et wehrlitiques qui ne sont présents qu'à Cheshmeh Bid, se distinguent des péridotites du manteau par leur couleur et par leur structure. A l'opposé des harzburgites à patine rouge, qui présentent des orthopyroxènes en relief, les cumulats ultramafiques sont verdâtres. La teinte évolue d'un vert-jaune, à un vert-olive, voire à un vert très sombre (Photo 4, Planche II).

La séquence cumulative n'est pas très puissante, son épaisseur atteint au maximum 400 m. Elle ne présente aucune trace de foliation, mais est affectée par une phase intense de fracturation tardive.

Les dunites sont situées vers la base de la croûte où elles sont associées à des chromitites disséminées (Photo 5, Planche II). Les chromites sont plus particulièrement concentrées autour de noyaux dunitiques, conférant aux roches une texture anti-nodulaire. Dans la plupart des indices, l'alongement des corps est parallèle au rubanement des cumulats, c.a.d. Est-Ouest. Vers le haut des dunites, la proportion de clinopyroxène augmente et on passe graduellement à des dunites riches en clinopyroxènes, puis à des wehrlites, dont la proportion reste très subordonnée par rapport à celle des dunites.

2.4. Les tectoniques mantelliques d'Assemion

Le massif ophiolitique d'Assemion est moins bien connu que celui de Neyriz d'un point de vue lithologique et structural, en dépit de l'importance des gisements de

chromite, qui peuvent former des couches de grande extension comme les mines de Faryab. Les rapports structuraux entre les différents secteurs porteurs de gisements, notamment l'importance de la fracturation tardives, des écaillages et des redoublements tectoniques ne sont pas bien connu. Les cumulats sont absents du massif d'Assemion, soit qu'ils aient été érodés, soit que l'activité magmatique ait été réduite. On peut souligner la présence d'un mélange coloré bien développé.

Des informations sur l'environnement des mines de chromite ont été collectées pendant l'échantillonnage et confrontées aux données reportées sur la carte géologique à l'échelle 1/100 000 ème.

Les roches ultramafiques forment un horst situé entre deux grandes failles inverses, la faille de Dastgerd à l'Ouest et celle de Rudan à l'Est. Situées à l'Est du mélange "coloré", elles se subdivisent en deux unités principales:

a) l'unité inférieure formée en majorité par des harzburgites, mais néanmoins associées à des dunites et des pyroxénites. Vers la base de cette unité (au sud du massif), les harzburgites sont homogènes, mais vers la partie sommitale elles alternent avec des couches dunitiques et des lentilles pyroxénitiques. Cette unité est comparable avec la zone des harzburgites homogènes de Neyriz.

b) l'unité supérieure des roches ultramafiques est constituée de harzburgite interstratifiée avec des dunite, pyroxenite, wehrlite et chromitite. Les dunites, bien représentées, sont dans le plupart de cas sous forme de lentilles ou de poches dont l'allongement est plus ou moins subconcordant par rapport à la foliation des harzburgites. Les corps de dunite, de taille variable, sont néanmoins situés à différents niveaux.

On constate que les corps dunitiques de petite taille ne contiennent généralement pas de gisement de chromite, mais qu'à l'opposé, les corps de grande extension accompagnent souvent les gisements de chromite. Cette relation a longtemps servi de guide pour la prospection des gisements de chromite dans la région d'Assemion. Les gisements et les indices de chromite sont nombreux et se situent à tous les niveaux de cette unité. Cette unité, de par sa lithologie, est comparable avec la zone de transition des ophiolites d'Abadeh Tashk à Neyriz.

La direction de la foliation dans les deux unités est relativement constante, (N70E-SE30), en dépit des signes évidents de déplacements importants des blocs d'ultramafites lors de la tectonique postérieure à la mise en place de la nappe

ophiolitique. L'intensité de cette tectonique cassante pose un gros problème pour l'exploitation et la prospection des gisements de chromite dans cette région.

2.5. Pétrographie de l'assemblage ophiolitique de Neyriz

L'étude pétrographique a été réalisée à partir de plusieurs coupes, dont celle effectuée dans le massif de Cheshmeh Bid, qui est la plus complète.

2.5.1.1.1. Harzburgite homogène

Les olivines sont généralement plus affectées que les orthopyroxènes par la serpentinsation. En cas d'une serpentinisation intense, voire totale, l'orthopyroxène est bastitisé.

Les grains de spinelles sont distribués de façon hétérogène dans les harzburgites. Ils sont souvent subautomorphes, parfois amiboïdes (Photo 6, Planche II) et généralement de taille sub-millimètrique. Ils sont de couleur noire mais montrent parfois une périphérie rouge-brun.

La texture porphyroclastique est la plus courante (Photos 7 et 8, Planche II). Les porphyroclastes sont constitués d'olivine et d'orthopyroxène et les néoblastes sont constitués d'olivine. Les porphyroclastes montrent des bandes de pliages, des mâcles mécaniques ou "kink bands" et ont une extinction onduleuse (Photo 1, Planche III). Les néoblastes qui parfois constituent plus de 50% de la roche sont le plus souvent millimétriques. Ils s'organisent en amas polygonaux qui deviennent aplatis lorque la déformation cisaillante a été plus intense. Ce type de texture correspondrait à un écoulement asthénosphérique sous condition hypersolidus-solidus à haute température (Boudier et Nicolas 1972, Nicolas 1989).

2.5.1.1.2. Zone transitionelle

Dans les harzburgites de la zone de transition la proportion d'orthopyroxène varie de 30 à 10% (Photo 2, planche III). La texture de ces roches est porphyroclastique, plus rarement protogranulaire. Dans ce dernier cas, les minéraux sont de grande taille. Les olivines forment des agrégats de petits néograins recristallisés (Photo 3, Planche III) autour des porphyroclastes. La texture équante et équigranulaire est présente dans les harzburgites sommitales, notamment lorsque la foliation disparaît (Photo 4, Planche III).

Les dunites sont généralement déformées et fracturées. La texture est porphyroclastique. Les porphyroclastes d'olivine ont une extinction onduleuse et montrent des bandes de pliage ou "kink band" (Photo 5, PlancheIII). Les porphyroclastes d'olivine sont noyés dans une matrice de néoblastes d'olivine.

La proportion de spinelle peut atteindre 5% dans les dunites tandis que les pyroxènes sont rares.

Les pyroxénites sont constituées de grands cristaux automorphes d'orthopyroxène parfois accompagnés de clinopyroxène. La texture originelle rappelle celle d'un adcumulat en dépit des déformations postérieures marquées par la présence de points triples (angles de 120° entre les faces cristallines) et de bandes de pliage. Les pyroxénites sont souvent plus fraîches que les harzburgites et dunites.

2.5.1.2. Cumulats ultramaphiques

Les cumulats peuvent présenter soit une texture granoblastique tabulaire, le plus souvent vers la base de la séquence de cumulats (Photo 6, Planche III), soit une texture d'adcumulat vers le sommet dans les dunites et wehrlites associées. Le degré de déformation diminue de bas en haut alors que le pourcentage de clinopyroxène augmente. Les olivines sont peu déformées, mais très fracturées (Photo 7 et 8, Planche III). Le degré de la serpentinisation des roches varie dans un vaste domaine. Les grains de spinelles forment près de 3% de la roche. Ils sont souvent automorphes et de couleur noire.

2.5.2. Evolution de la composition des silicates et spinelles chromifères

Suite à l'observation microscopique, nous avons procédé à l'analyse chimique des minéraux constitutifs des différents faciès pétrographiques du massif ophiolitique de Cheshmeh Bid au moyen de la microsonde électronique automatisée Camebax SX50 du Service Commun de l'Université de Nancy I. Les conditions analytiques sont les suivantes: tension d'accélération 15 kV, courant échantillon 10 nA, temps de comptage 8 s sur le pic, 4 s sur le bruit de fond, le diamètre du faisceau est de 1 micromètre et l'angle d'émergence 40°. Pour l'analyse des silicates les standards suivants sont utilisés : albite (Al,Na), olivine (Mg), orthoclase (Si, K), wollastonite (Ca), hematite (Fe), $MnTiO_3$ (Mn, Ti), Cr_2O_3 (Cr) NiO (Ni), ZnO (Zn) et V pur (V). Les émissions Ka ont été utilisées pour l'analyse de ces éléments. Les données brutes ont été corrigées par la méthode PAF, qui est un ZAF amélioré, de Pouchou et Pichoir (1984, 1991).

Olivine, orthopyroxène, clinopyroxène et spinelle ont été analysés dans les différents faciès : harzburgites, dunites, orthopyroxénites et wehrlites. Lors de la comparaison des résultats entre les différents facies, c'est la composition du cœur des grains qui a été considérée.

2.5.2.1.1. Olivine

Dans les harzburgites, les olivines sont toujours très magnésiennes et ne présentent pas d'évolution significative des teneurs molaires en forstérite. Fo évolue de 92,95 à 90,95 avec une valeur moyenne de 91,73. Cette évolution ne correspond pas à une variation cryptique de la composition des olivines en fonction de la lithostratigraphie. Ces légères variations de composition reflètent plutôt des différences chimiques locales. En effet, de tels écarts de composition ont été reportés au sein d'un même échantillon (voir le ableau 1.1 en annexe).

Les teneurs en NiO des olivines sont comprises entre 0,25% et 0,62% et la valeur moyenne est de 0,42%. Les teneurs en MnO peuvent atteindre 0,20%. Les variations de MnO et de NiO sont aléatoires. Les teneurs obtenues, surtout pour MnO sont proches du seuil de détection à la microsonde électronique.

Les olivines des dunites en lentille dans les harzburgites sont également très magnésiennes avec des teneurs molaires en forstérite variant de $Fo_{90,81}$ à $Fo_{93,84}$. Le pourcentage moyen de mole de Fo est de 91,84 et se rapproche de la composition moyenne des olivines des harzburgites.

La valeur moyenne de NiO des olivines (0,44%) est semblable à celle des olivines des harzburgites, mais ici la variation de la teneur en Ni est plus limitée. Par ailleurs, les olivines des lentilles dunitiques sont plus pauvres en Mn que celles des harzburgites. En outre, du calcium est présent en faible quantité dans les olivines avec une teneur moyenne 0,07% de CaO.

Les olivines des dunites cumulatives sont légèrement plus riches en magnésium que les autres olivines du massif de Cheshmeh Bid, avec des teneurs en forstérite supérieures à 91. Les olivines sont surtout très magnésiennes à la base de cumulats près de la minéralisation à chromites disséminées. La valeur moyenne de Fo est 92,47 (voir le tableau 1.1 en annexe).

Les teneurs de NiO dans les olivines diminuent de 0,66% à la base de l'unité cumulative à 0,17% vers le sommet. La teneur moyenne de NiO est donc inférieure à celle des olivines des harzburgites en montant dans l'unité. MnO et CaO sont présents en faible quantité dans les olivines, les valeurs moyennes étant respectivement de 0,1% et de 0,07%. A la différence du nickel, la teneur moyenne de Mn est plus élevée dans les olivines des cumulats que dans celle des harzburgites. De plus, des traces de titane, avec un maximum autour de 0,1% de TiO_2, ont été trouvées dans quelques olivines.

La teneur molaire en forstérite des olivines des wehrlites est légèrement inférieure à celle des olivines des dunites, un fait en accord avec la lithostratigraphie. La teneur moyenne en forstérite est de 90,87. Deux analyses obtenues montrent que

Mn et Ca varient de concert. Leur teneur augmente dans l'olivine tandis que NiO diminue. La figure 2.6 indique la distribution des éléments mineurs et traces par rapport à la teneur en molécule de forstérite dans les olivines des différents faciès lithologiques de Neyriz.

Conclusion

En résumé, la composition des olivines des roches harzburgitiques est compatible avec un processus de fusion partielle qui aurait affecté l'ensemble du massif. Cette composition est liée à celle du liquide avec lequel elles ont été en équilibre (Roeder et al. 1970), la constance de la teneur molaire en forstérite reflétant un effet tampon (Augé 1985). Les fortes teneurs en NiO relevées dans les harzburgites comparées à celles des wehrlites, sont en accord avec un processus de concentration du nickel, élément compatible, lors de la fusion. Les péridotites de Neyriz à l'instar de la plupart de celles de Méditerranée orientale ont été très appauvries en éléments les plus fusibles et éléments incompatibles, tels Na, K, Ca et Ti, au cours de la fusion partielle ou des fusions partielles successives (Sarkari Nejad, 1985; 1992).

A l'opposé des harzburgites, la légère diminution de la teneur molaire en forstérite des olivines de la base ($Fo_{94,68}$) vers le sommet des cumulats ($Fo_{90,83}$) peut être reliée à un processus de fractionnement d'un liquide lors de la constitution de la croûte océanique. Cette évolution est an accord avec le comportement des éléments mineurs dans les olivines, marqué par une augmentation de Mn et de Ca aux dépens de Ni.

On peut expliquer la différence entre la teneur en Fo des olivines des harzburgites et des dunites par une température de formation plus élevée pour ces dernières. Sarkari Nejad (1985) a proposé une température de 752 ± 25,5°C pour la rééquilibration de la paire olivine-spinelle dans les harzburgites et de 899 à 1223°C pour celles des dunites.

2.5.2.1.2. Orthopyroxène

Les orthopyroxènes des harzburgites sont des enstatites et des bronzites. La teneur en magnésium des orthopyroxènes ne présente pas d'évolution remarquable dans les tectonites et les faibles variations chimiques observées ne sont pas liées à la position stratigraphique des échantillons dans le manteau. La teneur moyenne en enstatite des orthopyroxènes des harzburgites du massif de Cheshmeh Bid est de 91,60. Comme pour les olivines, de légères variations de composition sont relevées dans un même échantillon. Ces différences de composition peuvent être liées soit à des réactions entre magma et harzburgite résiduelle, soit aux recristallisations lors de la déformation plastique du manteau.

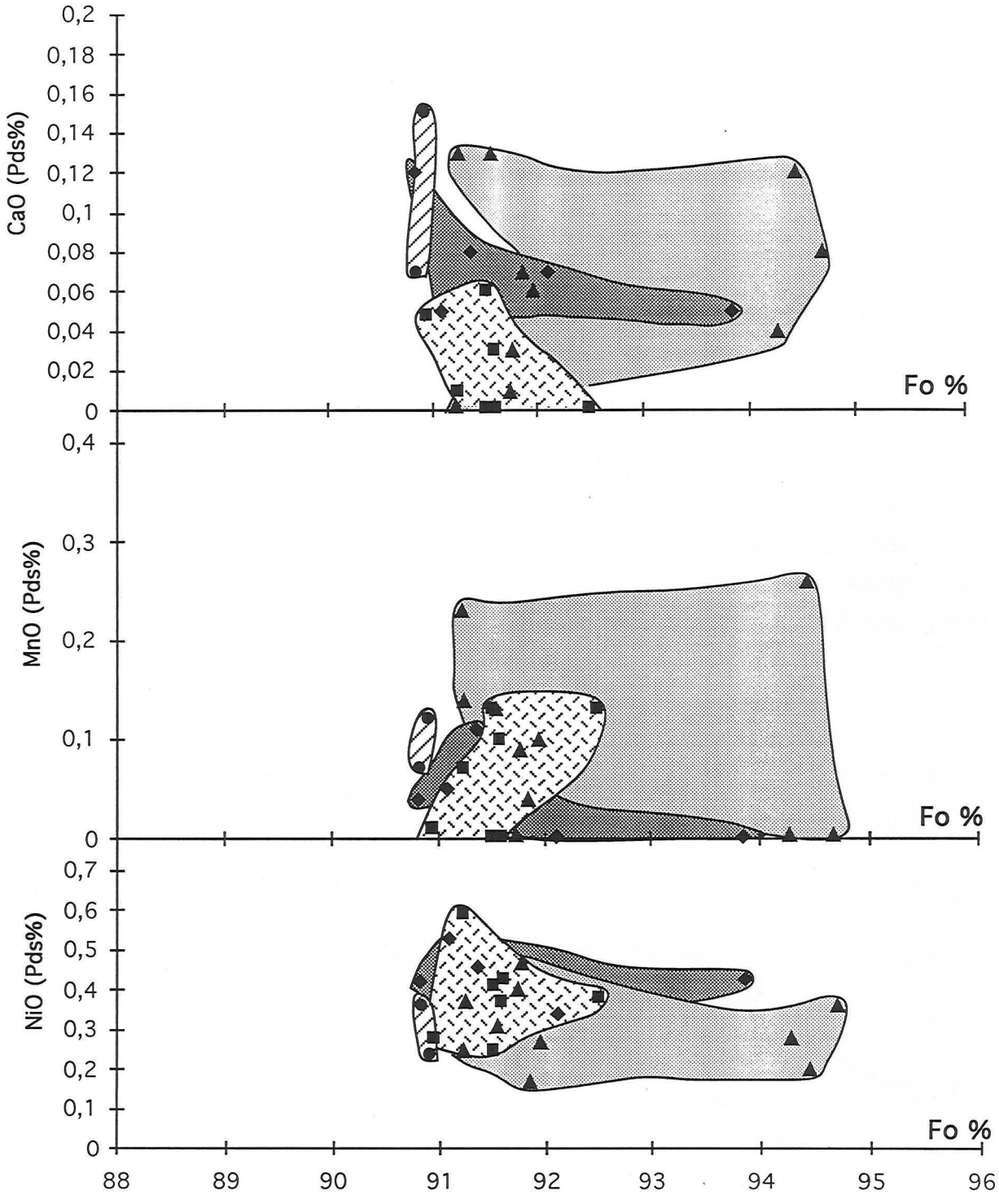


Fig. 2.6- Distribution des éléments mineurs et en traces par rapport à la teneur en molécule de forstérite dans les olivines des différents faciès lithologiques de Neyriz. Carré, Harzburgite; Losange, Lentille dunitique au sein de harzburgite; Triangle, Dunite; Cercle, Wehrlite.

Les teneurs des éléments mineurs varient aléatoirement. Les données des analyses obtenues à la microsonde électronique sont les suivantes :

	Domaine de variation	Moyenne
Cr2O3	0 - 0,60%	0,17%
Al2O3	0 - 1,59%	0,52%
NiO	0 - 0,49%	0,21%
CaO	0 - 0,31%	0,21%
MnO	0 - 0,20%	0,11%

Les teneurs en titane des orthopyroxènes sont inférieures au seuil de détection, confortant en cela le caractère très appauvri du manteau.

Les orthopyroxènes sont présents comme minéraux accessoires dans les dunites au sein de la harzburgite. Le pourcentage moyen de la molécule d'enstatite est de 92,03 (voir le tableau 1.2 en annexe), voisin de celui de harzburgites. Toutefois, les orthopyroxènes des dunites sont plus riches en calcium (0,74%) que ceux des harzburgites. Par ailleurs, une corrélation positive peut être mise en évidence entre les teneurs des éléments trivalents, Cr et Al (Fig. 2.7).

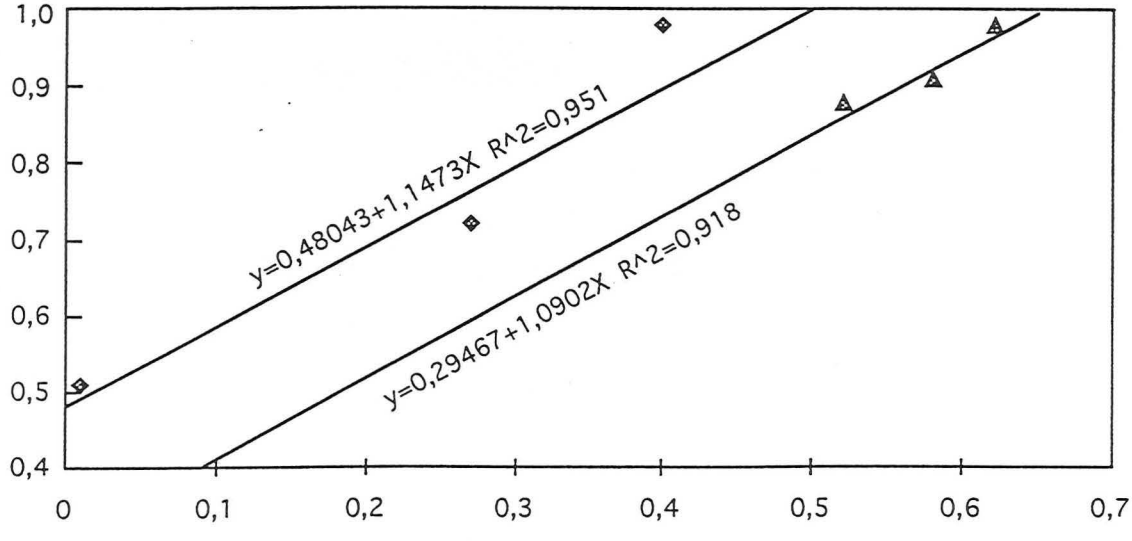


Fig. 2.7. Répartition des teneurs en Al2O3 et Cr2O3 dans les orthopyroxènes des dunites en lentille (losange) et des pyroxénites en filon (triangle) au sein de la harzburgite de la zone de transition à Neyriz. Noter la corréction positive entre Al et Cr.

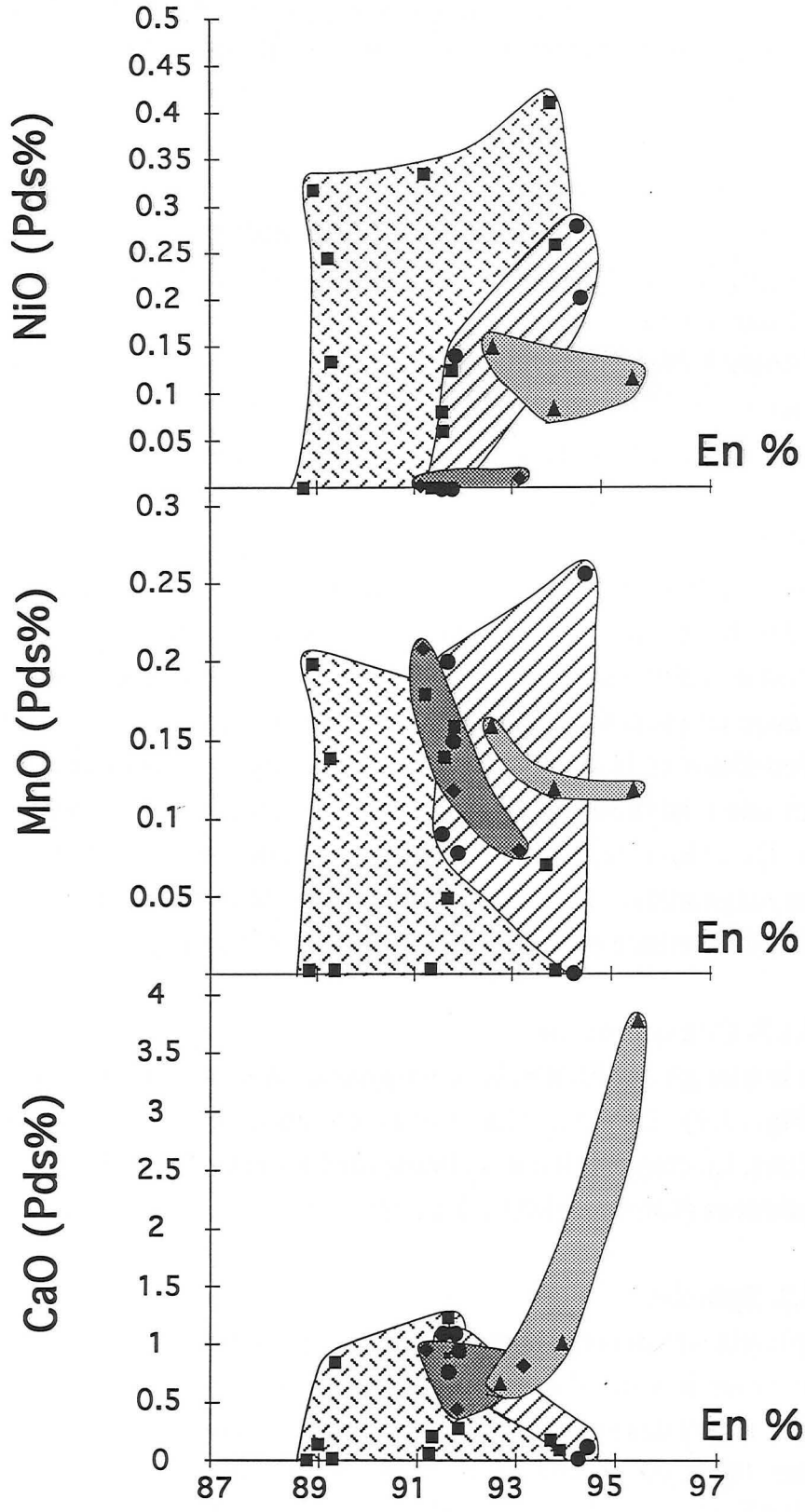


Fig. 2.8. Répartition des oxydes par rapport à la proportion molaire d'enstatite dans les orthopyroxènes des différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz. Carré, harzburgite; Losange, lentille dunitique au sein de la harzburgite; Triangle, filons pyroxénites au sein de la harzburgite; Cercle, cumulat.

Les orthopyroxènes des filons de pyroxénites recoupant les harzburgites ont une valeur moyenne de mélécule d'enstatite supérieure (En 93,96) à celle des harzburgites et dunites associées. De plus, ils sont plus riches en éléments mineurs comparés aux autres orthopyroxènes. Comme pour les dunites une corrélation positive existe entre les teneurs de Cr et Al (Fig. 2.7).

La composition des orthopyroxènes dans les dunites et wehrlites crustale est aussi très magnésienne (En 92,17). La valeur maximum d'enstatite molaire a été relevée dans une dunite associée à une minéralisation de chromite à la base de la croûte. A l'opposé des pyroxènes du manteau, ceux analysés dans les dunites et wehrlites sont pauvres en Cr et en Al. Ceci peut être dû à la cristallisation de la chromite qui a appauvri le magma en Cr, et dans une moindre mesure en Al.

Conclusion

En résumé, la composition magnésienne des orthopyroxènes qui évolue des enstatite à des bronzites, et les légères variations cryptiques mises en évidence rapellent celles de l'olivine. Si la composition des orthopyroxènes des harzburgites est compatible avec un processus de fusion, en revanche, les variations cryptiques de la molécule d'enstatite et le comportement des éléments traces avec la stratigraphie indiqueraient une cristallisation dans une chambre magmatique temporaire au dessus du manteau. De même, les orthopyroxènes des filons orthopyroxénitiques seraient d'une origine magmatique. La figure 2.8 montre les teneurs des éléments mineurs par rapport à la teneur molaire en enstatite dans les différents faciès.

2.5.2.1.3. Clinopyroxène

Dans le triangle En/Fs/Wo, les clinopyroxènes sont bien regroupés près du pôle diopside (Fig. 2.9). Ils sont plus riches en chrome et en aluminium que les orthopyroxènes. La composition des clinopyroxènes est voisine dans le manetau et les roches cumulatives (voir le tableau 1.2 en annexe).

2.5.2.2. Spinelles

Le spinelle est présent comme minéral accessoire dans les harzburgites, les dunites, les wehrlites et plus rarement dans les pyroxénites. Les compositions chimiques des cœurs des spinelles des différents faciès pétrographiques sont projetées dans diverses faces du prisme de Stevens (1944), cf. Haggerty (1976) : Fe_3O_4 - $FeAl_2O_4$ - $FeCr_2O_4$ - $MgFe_2O_4$ - $MgAl_2O_4$ - $MgCr_2O_4$ (Fig 2.10)..Les spinelles des harzburgites sont plus alumineux et plus magnésiens (c.a.d. plus riches en mole de spinelle s.s.) que les spinelles chromifères des roches dunitiques et pyroxénitiques. Les spinelles chromifères des dunites et des filons de pyroxénites sont plus chromifères, tout comme ceux des dunites massives. Les spinelles des wehrlites sont aussi

alumineux que ceux des harzburgites mais ils sont plus riches en fer. Le rapport de $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ plus élevé dans les spinelles de la formation crustale que dans ceux des harzburgites est en accord avec le développment d'un fractionnement magmatique au sein d'une chambre magmatique. Les spinelles des dunites montrent localement des teneurs plus élevées en Fe^{3+}, ce qui soulignerait localement l'existence de fluctuations de la fugacité d'oxygène, notamment en base de croûte.

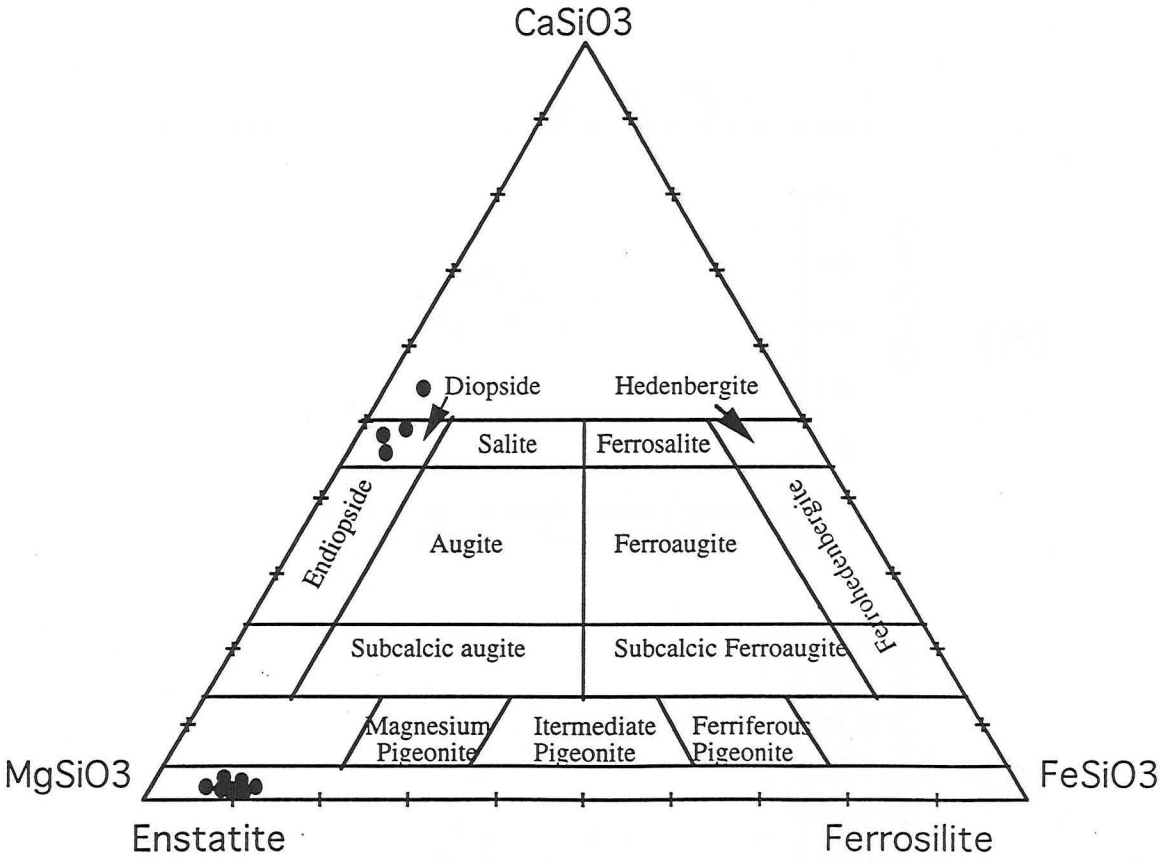


Fig. 2.9. Projection de la composiion des pyroxènes des ultramafites du massif ophiolitique de Neyriz dans le diagramme de Poldervaat et Hess (1951).

Les teneurs en éléments majeurs varient du centre vers la bordure des minéraux. On constate que d'une manière générale les rapports Cr/(Cr+Al) et $Mg(Mg+Fe^{2+})$ diminuent légèrement du centre vers la bordure des cristaux (Fig. 2.11)

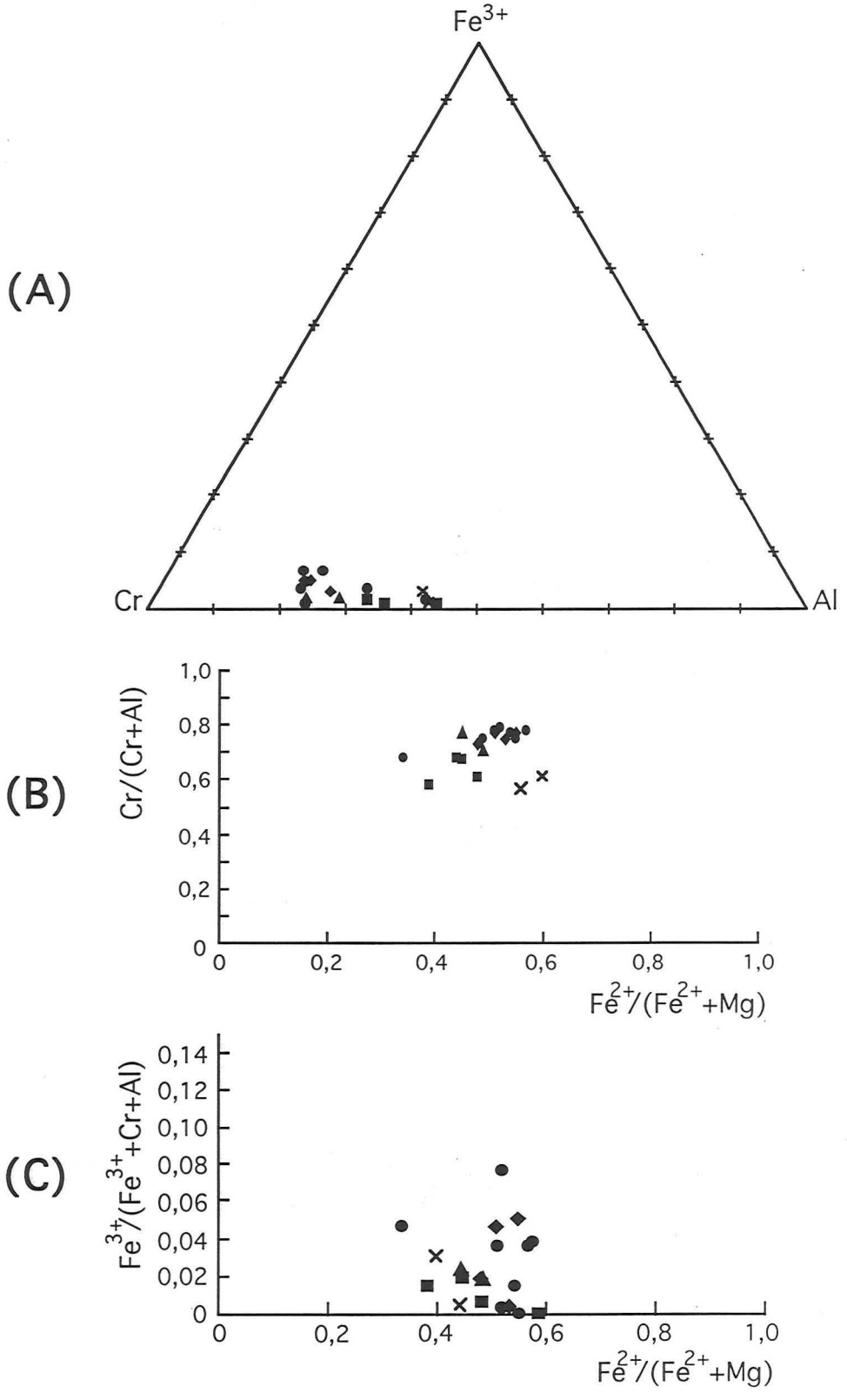


Fig. 2.10- Evolution de la composition des spinelles dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz. A, Evolution des éléments trivalents; B et C, Evolution des rapports remarquables des éléments trivalents Cr/(Cr+Al) et $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)$ en fonction du rapport remarquable des élémens bivalents. Carré, Harzburgite; Losange, Lentille dunitique au sein de la harzburgite; Triangle, Filon pyroxénitique au sein de la harzburgie; Cercle. dunite; Croix, Wherlite.

Les variations de Cr/(Cr+Al) sont bien marquées dans les pyroxénites et certaines dunites. Ces variations pourraient être liées à des réactions entre les spinelles chromifères et un magma percolant soit dans le manteau, suite à la fusion partielle, soit dans les filons ou la croûte en liaison avec la formation de chambres magmatiques.
Le fer total augmente du centre vers la bordure des spinelles, et cette augmentation est plus forte pour les spinelles des dunites massives; ceci pourrait souligner l'augmentation locale de la fugacité en oxygène lors de la formation des dunites, si l'on ne retient pas l'hypothèse de recristallisations à la périphérie des spinelles lors de la serpentinisation (Fig. 2.12).

L'étude des éléments mineurs dans les spinelles des différents faciès pétrographiques permet aussi de séparer les différents faciès lithologiques. Les harzburgites ont des spinelles parmi les plus riches en NiO pour des teneurs en Cr_2O_3 généralement plus faibles que dans la plupart des dunites et pyroxénites. Les teneurs en NiO sont particulièrement faibles dans les wehrlites où les teneurs en Cr_2O_3 sont voisines de celles du manteau, ainsi que dans de nombreuses dunites. Ainsi, la répartition du nickel dans les spinelles chromifères souligne l'origine distincte des spinelles du manteau et des cumulats. Il est aussi significatif que la teneur en NiO diminue du cœur vers la périphérie des spinelles, un fait en accord avec les mécanismes de fractionnement du magma. On peut néanmoins également envisager un processus de reéquilibration subsolidus, le nickel entrant préférentiellment dans l'olivine coexistante (Fig. 2.13).

Les spinelles du manteau sont le plus souvent plus pauvres en TiO_2 que ceux de la croûte, un fait en accord avec le caractère résiduel des péridotites et avec le caractère magmatique des wehrlites, issues d'un processus de cristallisation à partir d'un magma. Toutefois les réactions cœur-bord sont contrastées selon les faciès. Il y a augmentation de TiO_2 du cœur vers le bord dans les harzburgites et la plupart des dunites, ce qui pourraient témoigner d'un processus de réaction entre les spinelles et un magma qui s'enrichit en titane lors du fractionnement. Le comportement opposé du titane dans les wehrlites pourrait souligner l'évolution du titane dans les magmas de type tholéïte d'arc, supposé avoir été en équilibre avec des cumulats dunitiques et wehrlitiques : l'évolution des liquides est caractérisé par un léger enrichissement en titane au début du fractionnement suivi d'une décroissance progressive. Selon la nature des magmas initiaux, l'enrichissement en titane est plus ou moins prononcé (Fig. 2.14).

La teneur de vanadium des spinelles dans les différentes roches du massif est variable. La comparaison des éléments mineurs dans les spinelles des dunites montrent que certaines d'entre elles ont des caractères magmatiques nets (issus d'un processus de fractionnement magmatique) que l'on se base sur la répartition des majeurs ou des

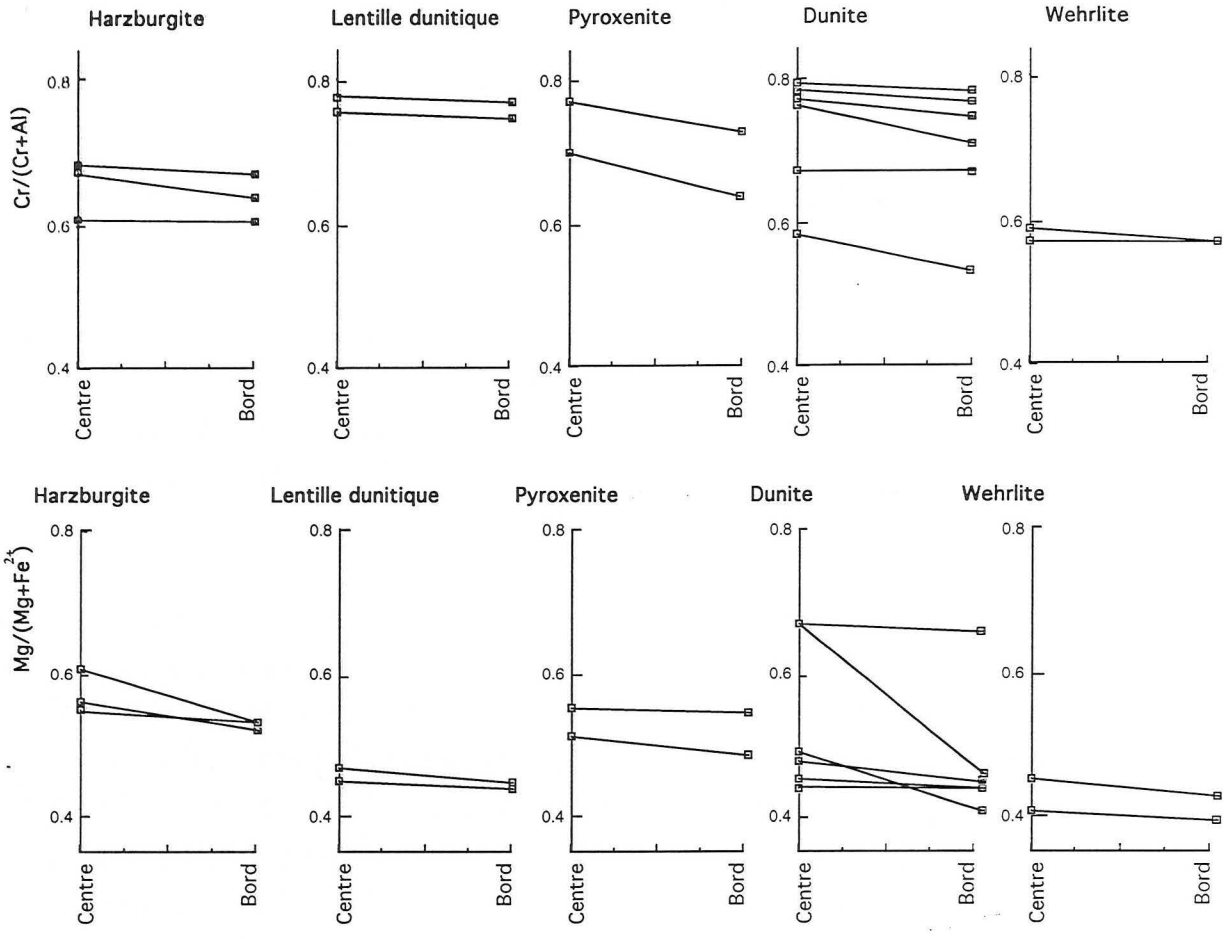


Fig. 2.11. Evolution des rapports remarquables du coeur vers la périphérie des spinelles chromifères dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz.

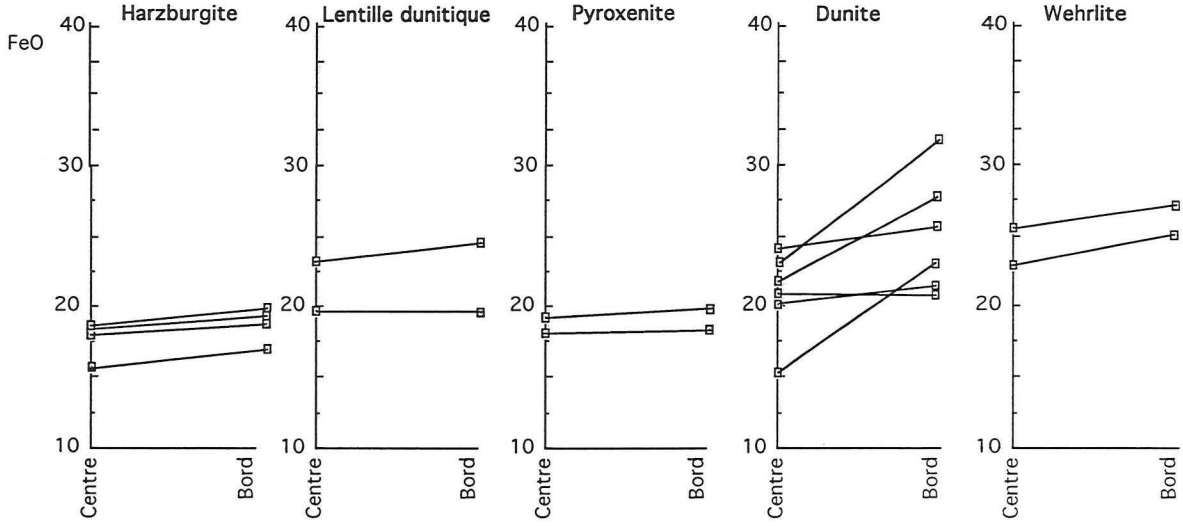


Fig. 2.12. Evolution de la teneur en FeO (total) du coeur vers la périphérie des spinelles chromifères dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz.

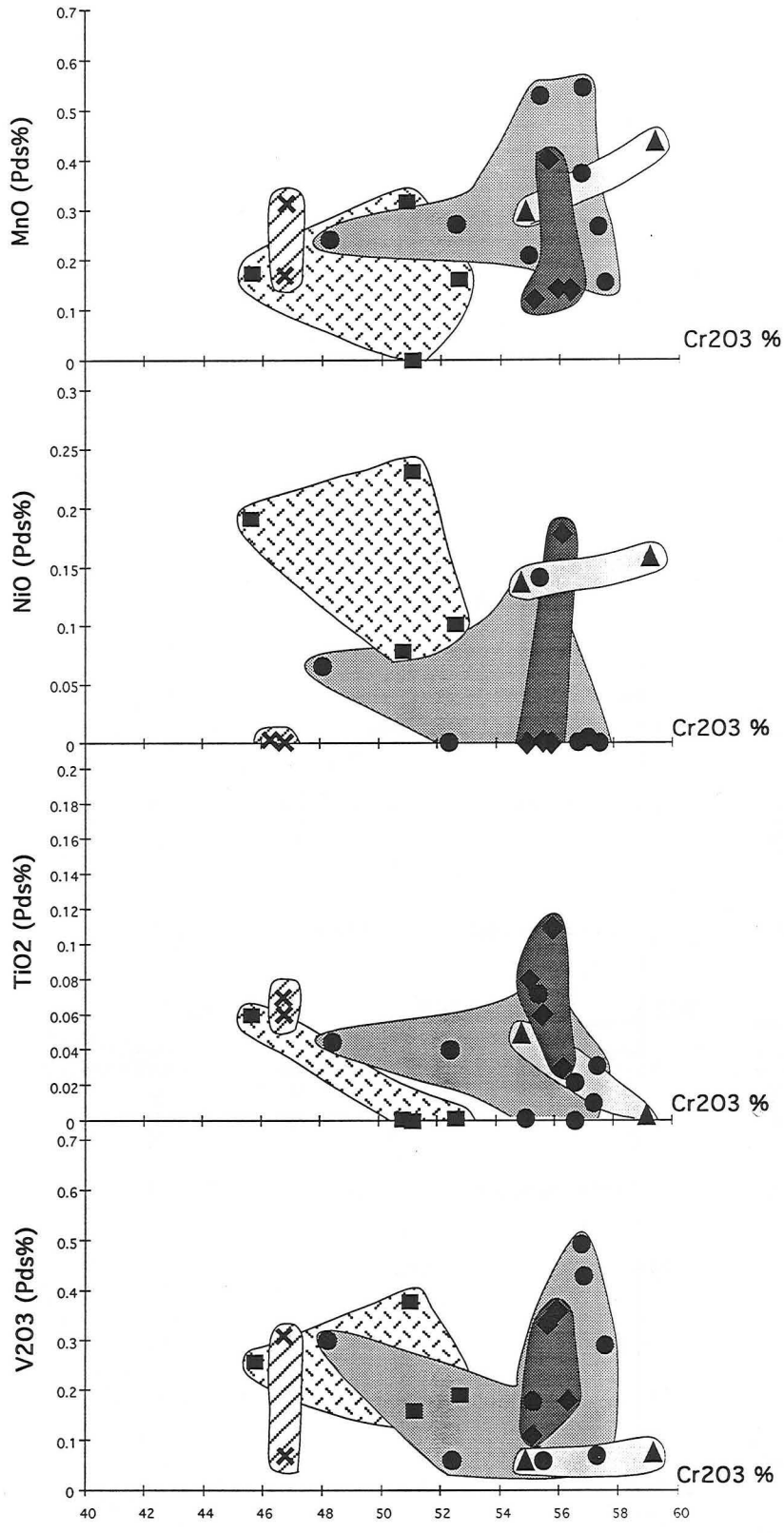


Fig. 2.13. Evolution de la teneur des principaux oxydes en fonction de celle en Cr2O3 dans les spinelles chromifères dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz. Carré, harzburgite; Losange. Lentille dunitique au sien de la harzburgite; Triangle, Filon pyroxénitique au sein de la harzburgite: Cercle, Dunite; Croix, Wehrlite.

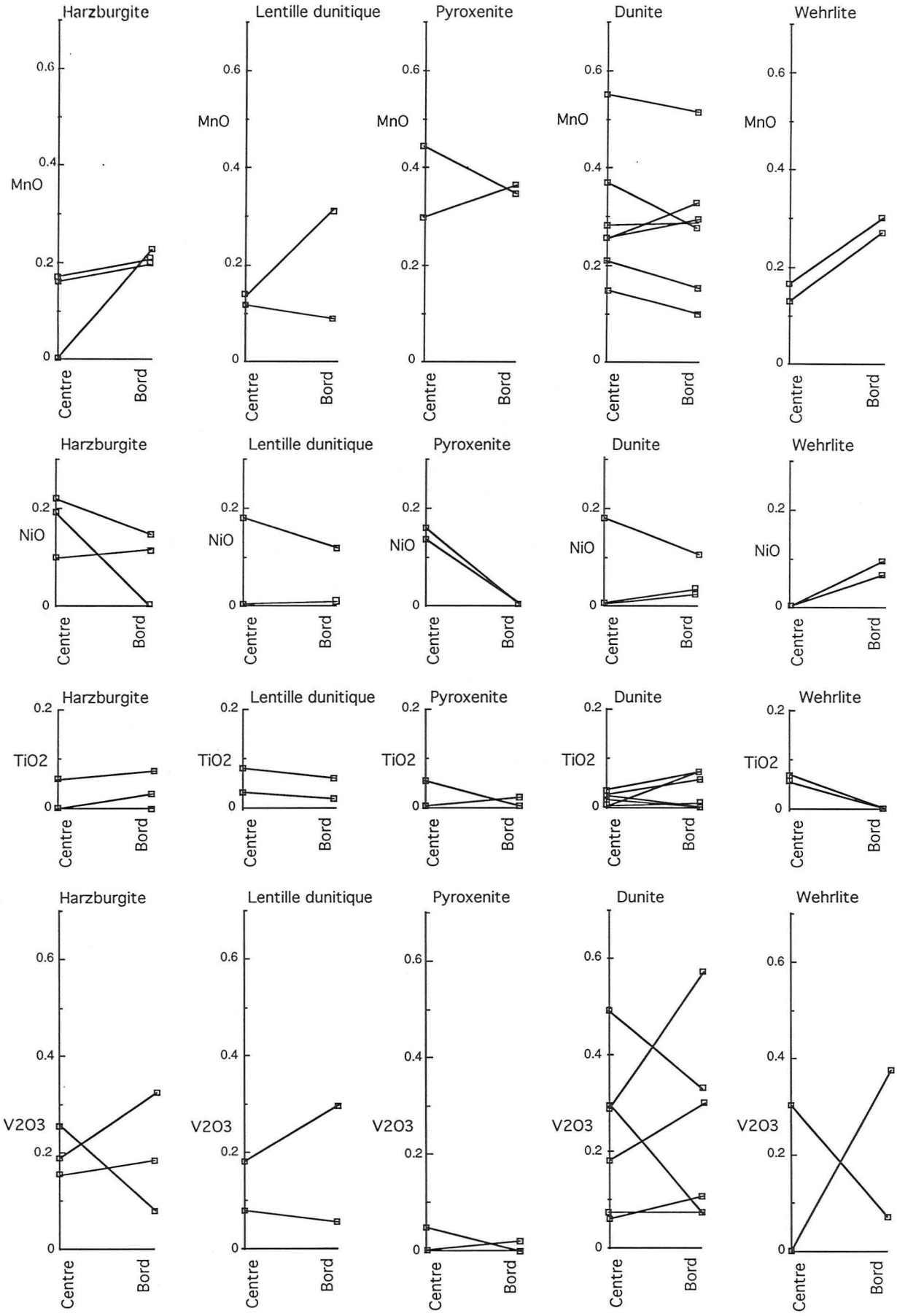


Fig. 2.14. Evolution de la teneur des oxydes du coeur vers la périphérie des spinelles chromifères dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz.

traces, telles la répartition de NiO ou de TiO_2. D'autres montrent des caractères intermédiaires entre les spinelles des harzburgites et ceux de la croûte (wehrlites) qui pourraient indiquer une origine plus complexe : par fusion partielle suivie de rééquilibration avec un magma qui percole dans le manteau pour alimenter les filons et les chambres magmatiques crustales. Enfin l'enrichissement en fer total et notamment en fer trivalent des dunites associées aux chromitites serait lié plus particulièrement au dépôt de la minéralisation chromifère qui s'accompagne de fluctuations de la fugacité en oxygène.

2.6. Conclusions

La structure, la puissance et la composition homogène des massifs de harzburgites au sein des massifs ophiolitiques de Neyriz et d'Assemion constituent autant de critères qui militent en faveur d'une origine résiduelle des péridotites.

Sur le terrain, l'existence de dunites en filons dont les contacts sont francs avec l'encaissant harzburgitique milite en faveur d'une origine magmatique pour ces dunites, de même que pour les filons de pyroxénites. Il est difficile d'imaginer que les filons de dunite aient été créés par fusion partielle ou par transformation des harzburgites préexistantes. En effet, aucune relique de la texture initiale des harzburgites n'y est préservée, contrairement aux dunites résiduelles ou réactionnelles. De plus, dans les secteurs étudiés, les orthopyroxènes des harzburgites encaissantes des filons sont intacts.

Dans les filons de dunite, la composition des spinelles chromifères est proche de celle des spinelles des dunites cumulatives. Les spinelles ne seraient donc pas résiduels mais auraient cristallisé avec l'olivine à partir du magma percolant dans le manteau. Spinelle chromifère et olivine ont un rapport $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ qui évolue de façon semblable, indiquant par là une origine commune (Fig. 2.15).

Ainsi, l'origine des filons de dunite dans la zone de transition s'apparentent-elles à celle des filons de pyroxénites, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à 1 m. Ces filons peuvent recouper la foliation de la péridotite ou bien ils peuvent avoir été rabattus dans le plan de foliation durant la déformation de la péridotite alors que celle-ci était soumise à un processus de fusion partielle (Boudier et Nicolas 1972, Dick 1974, Dick et Sinton 1979), suivi de la migration des magmas vers la croûte océanique.

Il est par ailleurs significatif que les chromitites disséminées à la base des dunites soient discordantes par rapport aux gisements du manteau supérieur. Ceci témoigne de nouvelles conditions de cristallisation en réponse à une diminution des contraintes déviatoriques lors de la formation des dunites à l'interface croûte-manteau. La préservation des figures d'intersection entre filon de dunite et foliation du manteau

va de pair avec la reconnaissance de textures cumulatives. On constate notamment que dans les dunites et chromitites disséminées, les spinelles chromifères sont volontiers automorphes, un fait en accord avec une origine magmatique de la matrice dunitique dont la texture est préservée par suite d'une diminution des contraintes.

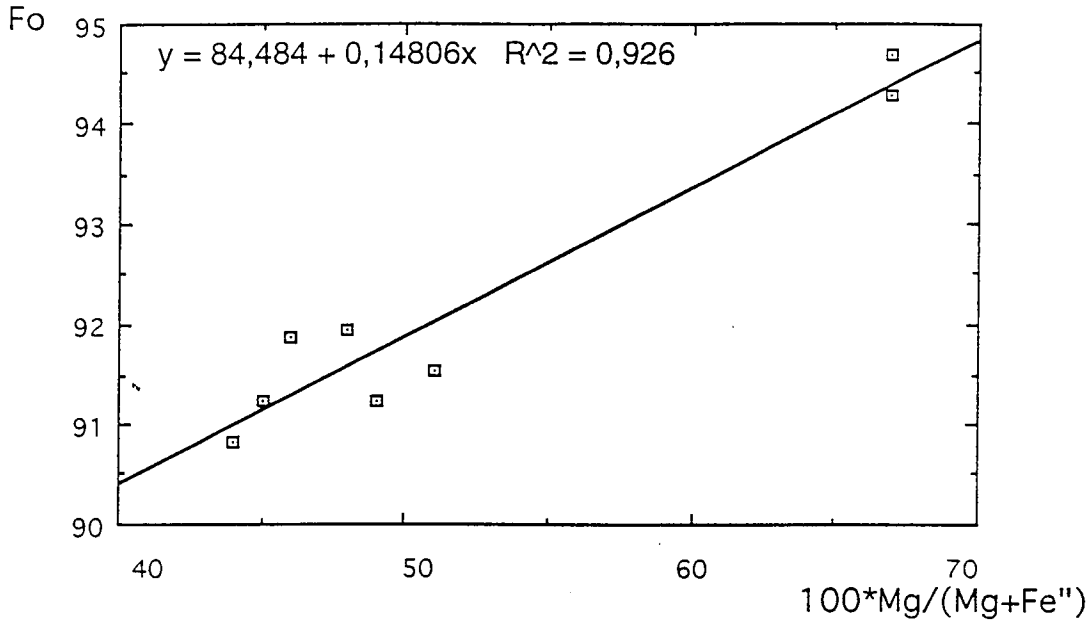


Fig. 2.15. Evolution du rapport 100*Mg/(Mg+Fe2+) dans les olivines et spinelles chromifères des cumulats de Neyriz.

Chapitre III

Les gisements de chromite de Neyriz et d'Assemion

Introduction

Dans les ophiolites, les gisements de chromite sont concentrés à la partie supérieure du manteau harzburgitique. Des concentrations de chromite peuvent également exister à la base de la séquence crustale mais elles sont généralement sub-économiques.

L'origine des gisements de chromite podiforme qui sont préférentiellement situés à l'interface manteau-croûte, à proximité du paléo-Moho, est donc liée à la formation du complexe ophiolitique, et notamment aux processus tectono-magmatiques qui ont affecté le manteau. Les contraintes tectoniques qui ont conduit à la structuration du manteau à l'aplomb de la ride, ont pour une large part contrôlé la distribution et la morphologie des gisements de chromite. Les conditions tectoniques peuvent être extrêmement variables selon la position du manteau par rapport à l'axe d'accrétion: la tectonique diapirique qui est associée à la remontée du manteau à l'aplomb de zones en extension est suivie d'une tectonique qui entraine le fluage du manteau à l'écart de la ride. De plus, la déformation liée à ces tectoniques contemporaines de la formation de l'édifice ophiolitique est souvent cachetée ou obscurcie par des tectoniques postérieures liées à la mise en place de la croûte océanique sur le continent.

La position structurale des gisements, définie par rapport aux plans remarquables de déformation du manteau, permet de préciser leurs conditions de mise en place. L'hypothèse la plus commune retient l'injection de filons de chromite parallèlement à l'axe d'accrétion. Les filons sont ensuite entrainés par la tectonique de flux à l'écart de la ride, et progressivement rabattus dans le plan de cisaillement du manteau. Beaucoup de variantes à ce schéma existent en liaison avec la chronologie d'emplacement des gisements par rapport aux différents stades de déformation du manteau.

Lors de l'étude du manteau et des gisements de chromite, l'un des problèmes majeur sur le terrain est de reconstituer la stratigraphie du manteau au moment de l'injection des filons de chromite. On considère souvent que les gisements les plus proches du Moho, c'est à dire des cumulats, sont les derniers à se former, souvent en liaison étroite avec le début de fonctionnement de la chambre magmatique supra-Moho. Cette hypothèse est confortée par l'évolution cryptique de la composition des gisements en fonction de leur distance par rapport au Moho: les gisements éloignés du Moho, dits profonds, car se rapprochant de la base de l'écaille mantellique sont souvent réfractaires. Ils sont rares et de taille modeste alors que les gisements proches du Moho sont métallurgiques, fréquents et de grande taille. La présence de gisements réfractaires près du Moho n'est cependant pas exclue comme le montre l'évolution cryptique des chromites de la zone de transition, localement caractérisée par une

augmentation des teneurs en Al, et souvent aussi en Mg, des chromites vers le haut, du manteau.

La partie supérieure du manteau se distingue par la présence de dunites en proportion variable, certaines étant stériles, d'autres associées aux gisements de chromite. Leur proportion, qui augmente vers le Moho, permet de déterminer la polarité des écailles de manteau dépourvues de séquences crustales sus-jacentes. L'origine des dunites, associée ou non aux processus minéralisants, est elle-même très discutable (voir Chap. II): purement magmatique (Harkins et al., 1980; Oshin et Crocket, 1982), les dunites représentant un produit soit de fusion partielle, soit de fractionnement magmatique, ou métasomatique. Sur la base de la similitude des minéraux du groupe du platine dans les dunites et les chromitites d'une part, et de l'absence de ces mêmes minéraux dans les harzburgites d'autre part, Augé (1988) a montré que les dunites accompagnant les chromitites avaient une origine distincte des harzburgites hôtes.

Les relations génétiques entre les chromitites et la croûte cumulative ne sont pas facile à mettre en évidence. Il y a tout d'abord des raisons géométriques à cela, puisque les gisements et les cumulats appartiennent à deux ensembles distincts de l'ophiolite formés à des profondeurs et sous des conditions tectoniques distinctes. Cela a conduit à des hypothèses très différentes quant au lieu de formation des chromitites. Selon Dickey (1975), les gisements se formeraient d'abord par ségrégation de la chromite à l'interface manteau-croûte avant de plonger dans le manteau à l'état chaud à cause de la différence de densité entre la chromite et l'environnement silicaté. Pour de nombreux autres auteurs, la formation et l'accumulation de la chromite se fait dans les conduits d'alimentation de la chambre magmatique principale (Lago et al., 1982; Augé, 1985). Ces conduits se formeraient et se développeraient par fracturation hydraulique dans le manteau.

Les relations génétiques entre les chromitites et la croûte cumulative sont également compliquées par le fait que plusieurs séquences magmatiques peuvent exister au-dessus du Moho, l'une d'entre elles pouvant être plus particulièrement liée à la genèse des gisements. L'identification sur le terrain de ces séries est souvent délicate en l'absence de critère de reconnaissance des bordures des chambres magmatiques. Les différentes suites plutoniques issues de magmas distincts peuvent être soit superposées, soit juxtaposées les unes aux autres. Une approche statistique sur la distribution et la nature des gisements par rapport aux caractéristiques pétrologiques de la séquence crustale sus-jacente montre néanmoins que les chromites réfractaires sont généralement associées à des séries de cumulats où le plagioclase apparaît au liquidus après l'olivine, tandis que les chromites métallurgiques sont liées à des séquences où les pyroxènes sont précoces. Les gisements les plus riches en

chrome seraient liés aux magmas boninitiques où l'orthopyroxène est au liquidus après l'olivine.

Le long d'un segment de ride donné où plusieurs suites magmatiques ont été reconnues, les relations d'intersection des suites cumulatives et la stratigraphie des laves génétiquement associées à ces suites plutoniques montrent que la formation de la croûte commence avec l'injection de magmas peu appauvris donnant naissance à une séquence de cumulats plagifères, et se poursuit par la venue de magmas de plus en plus appauvris, qui donne en cristallisant des séquences de cumulats pyroxénitiques. Le magmatisme s'achève par la mise en place de boninites. Dans ce contexte, les premiers gisements de chromite devraient être réfractaires, puis les suivants de plus en plus riches en chrome.

Le schéma sur la chronologie de mise en place des magmas se complique par le fait que la nature des premières séquences cumulatives supra-Moho peut varier le long d'une paléo-ride. En l'absence de séquences plagifères, ce sont les séquences pyroxénitiques qui peuvent se former directement au-dessus du Moho. Dans ce cas, les gisements réfractaires sont absents et les premiers gisements sont déjà métallurgiques. Ce dispositif est courant dans la plupart des ceintures ophiolitiques, eu égard à la rareté des gisements réfractaires et des séquences de cumulats plagioclasiques.

L'évolution d'une chaîne ophiolitique, et celle des gisements associés, peut également se compliquer par la présence d'une double ceinture ophiolitique. Celle-ci est composée de deux rameaux ophiolitiques aux caractéristiques pétrologiques contrastées, l'une des branches étant moins bien développée que l'autre bien que leur formation soit souvent quasi contemporaine. Un exemple est celui de la double ceinture ophiolitique qui va de la Yougoslavie à la Grèce. La séquence crustale de la branche occidentale est plagifère et repose sur un manteau peu appauvri, lherzolitique à harzburgitique, associé à des laves riches en éléments incompatibles, dont le titane. A l'opposé, la branche orientale comporte une séquence crustale pyroxénitique située entre un manteau très résiduel, harzburgitique, et des laves pauvres en éléments incompatibles. Les gisements métallurgiques sont associés à cette dernière ceinture tandis que les quelques gisements réfractaires sont préférentiellement localisés dans la branche occidentale. Cette répartition des gisements liée à deux ceintures magmatiques pourrait expliquer la présence de gisements réfractaires et métallurgiques au sein d'un manteau écaillé, suffisamment démembré par la tectonique pour ne plus observer le disposif initial.

La genèse des chromitites pourrait aussi résulter de l'action d'un fluide sur la péridotite environnante. Le chrome libéré des orthopyroxènes serait à l'origine des

gisements de chromitites et des dunites associées (Johan et Le Bel, 1978; Johan et Ohnenstetter, 1989). On rejoint là l'hypothèse de formation métasomatique des dunites associées à la libération d'un fluide riche en silice.

Le rôle des fluides est notamment invoqué pour expliquer l'origine des inclusions dans les chromites. Ces inclusions présentent un assemblage minéralogique extrêmement varié qui contraste avec la monotonie des paragenèses du manteau et des gisements où trois minéraux dominent: l'olivine, l'orthopyroxène et le spinelle chromifère. En effet, les inclusions peuvent comporter outre ces minéraux, d'ailleurs souvent extrêmement magnésiens, des clinopyroxènes plus ou moins riches en sodium, du plagioclase parfois très calcique, parfois sodique, du feldspath potassique, des minéraux hydroxylés, dont l'amphibole et le mica qui a la particularité d'être localement sodique. Ces minéraux dériveraient d'un magma riche en volatils, alcalins et éléments incompatibles qui pourrait être lié au système minéralisant à l'origine des gisements de chromite et des minéraux du groupe du platine (MGP) présents dans les inclusions. La composition apparente d'un tel magma contraste avec celle des magmas parentaux à l'origine des ophiolites qui sont pauvres en éléments incompatibles et alcalins. Il pourrait néanmoins dériver, sous certaines conditions, des magmas parentaux à l'origine de la croûte ophiolitique. L'origine de la source du fluide est débattu. Whittaker et Watkinson (1984) ont suggéré que le fluide proviendrait de la circulation de l'eau de mer dans les harzburgites. McElduff et Stumpfl (1991) suggèrent que c'est la lithosphère océanique subductée qui serait la source de ce fluide.

Il se pose également quant aux inclusions, le problème de leur formation par rapport aux chromites hôtes. Les minéraux des inclusions ont pu cristallisé avant la chromite et être piégés mécaniquement dans cette dernière lors de sa cristallisation. Les minéraux ont pu cristallisé en même temps que la chromite suite au piégeage d'inclusions magmatiques pendant la croissance de cette dernière (McDonald, 1965; Johan et LeBel, 1978; Augé, 1983; Panayiotou et al., 1986).

Dans ce chapitre, on se propose de présenter la position stratigraphique des gisements par rapport au paléo-Moho comme c'est le cas à Neyriz où une séquence de cumulats existent localement. A Assemion, en l'absence de cumulats, les caractéristiques pétrologiques du manteau hôte des minéralisations chromifères sont étudiées pour en définir la polarité. Les caractéristiques structurales et pétrographiques des gisements sont ensuite revues, notamment leurs relations vis à vis de la structure du manteau et leur texture, avant de présenter les résultats d'analyses des chromites obtenues à la microsonde électronique.

Les analyses ponctuelles à la microsonde électronique ont été effectuées pour mettre en évidence des variations de la composition des chromites selon la position

des gisements par rapport à la stratigraphie du massif ophiolitique, la texture du minerai, et la position du point d'analyse par rapport au cœur et/ou à la bordure des grains de chromite. Les évolutions cryptiques contrastées mises en évidence à partir des chromites selon le paramètre considéré ont permis de mieux discuter de la nature et de l'évolution du système minéralisant à l'origine des minéralisations chromifères.

Enfin, on s'est attaché à analyser la composition des chromites à proximité immédiate des inclusions mono à pluriphasées dont certaines renferment des minéraux du groupe du platine, afin de préciser les conditions de mise en place de la minéralisation en EGP par rapport à celle de la minéralisation chromifère.

3.1. Distribution et structure de gisements

3.1.1. Répartition stratigraphique des gisements

A Neyriz, les gisements et les indices de chromite sont répartis dans quatre massifs ultramafiques du secteur d'Abadeh Tashk. Malgré le démembrement des ophiolites et le déplacement des blocs le long des failles, on peut constater que les gisements de chromite ne sont pas distribués de façon aléatoire. Il en va de même à Assemion, en dépit de la faible extension du massif de péridotite qui renferme tous les gisements (environ 100 km^2).

Les plus grands gisements se situent dans la zone de transition, à la partie supérieure du manteau, comme c'est le cas pour la plupart des massifs ophiolitiques (Moutte, 1982; Ohnenstetter, 1984; Augé, 1985; Karaj, 1992; Neziraj, 1992). La zone de transition de Neyriz se situe entre l'unité inférieure des harzburgites homogènes et l'unité des cumulats au sommet. A Assemion, l'absence de cumulat n'empêche pas de reconnaître la polarité de la pile d'ultramafites mantelliques puisque une zone de transition à harzburgite et dunite riche en gisements a été distinguée d'un manteau d'harzburgite homogène, pauvre en gisements.

La zone minéralisée en chromite déborde de la zone de transition, car des gisements sont présents dans les harzburgites homogènes des deux massifs, et dans les cumulats de Neyriz (Fig. 3.1). Ceci permet de proposer que les limites de la zone minéralisée en chromite sont situées au sommet des harzburgites homogènes et à la base des cumulats ultramafiques, la concentration maximale des gisements se situant dans la zone de transition.

Les gisements sont accompagnés d'une enveloppe dunitique d'épaisseur variable qui présentent la même orientation que les corps de chromite. Le contact entre les chromitites et l'enveloppe dunitique et/ou la harzburgite hôte est franc. Les relations chromitite - dunite font que les dunites sont utilisées comme guide pour prospecter la chromite, bien qu'il existe de nombreuses masses de dunites stériles..

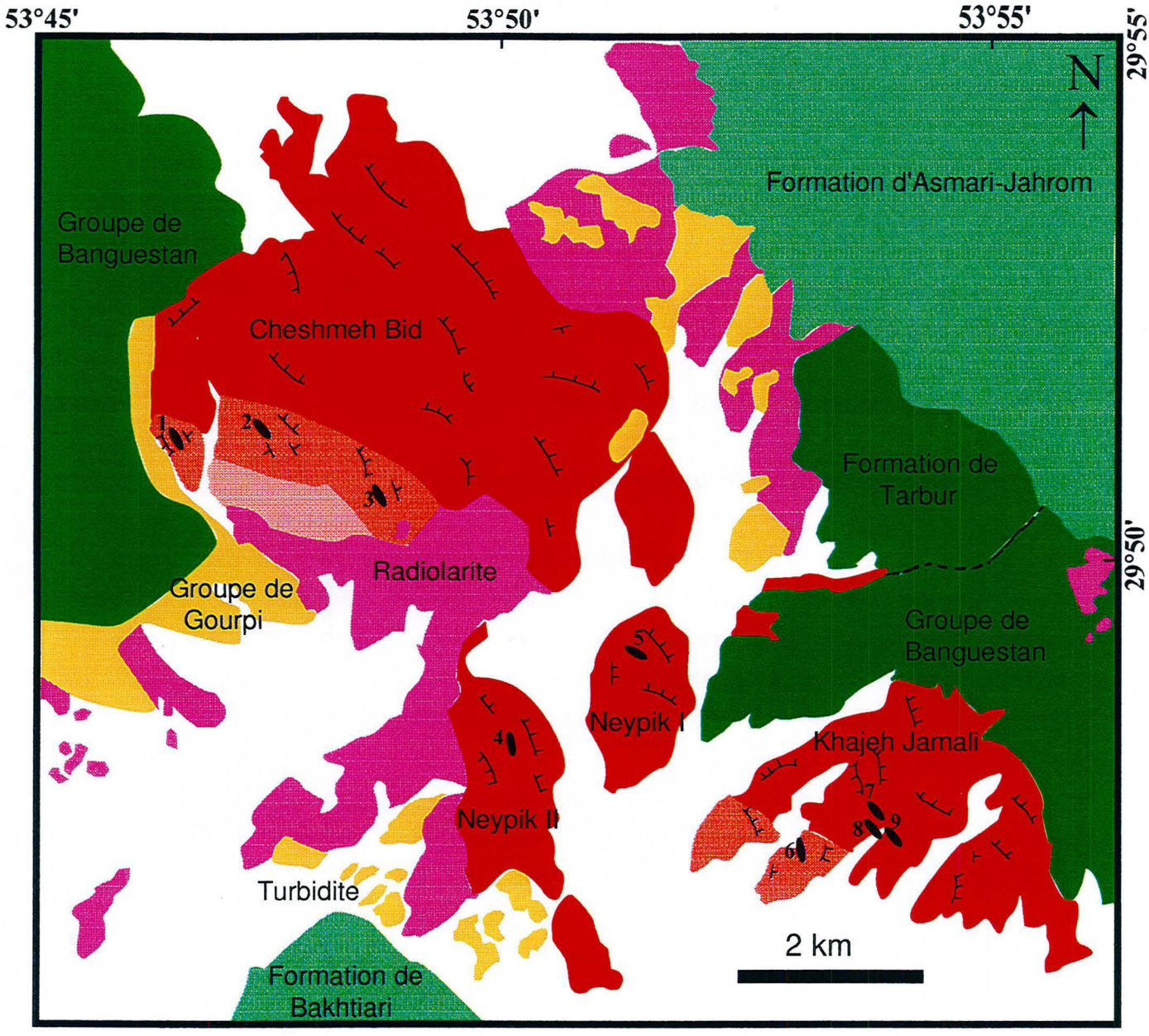


Fig. 3.1. Répartition des gisements de chromite dans la région de Neyriz. Noter à l'orientation des gisements par rapport à la foliation des roches encaissantes. Legende identique à celle de la figure 2.1

Mine de chromite:
1- Roni, 2- Cheshmeh Bid, 3- Rajoni, 4- Neypik, 5- Barandaz, 6- Khajeh Jamali 7- Hassankhani, 8- Hassankhani-anjirak, 9- Anjirak

Dans chaque région, les gisements diffèrent les uns des autres par leur position stratigraphique, leur taille et leur texture. Trois niveaux majeurs de chromitites peuvent être distingués dans la pile ophiolitique, qui sont de bas en haut:

1) le niveau profond, inférieur, situé au sommet des harzburgites homogènes, qui comporte des chromitites massives;

2) le niveau de chromitite intermédiaire, situé dans la zone de transition où sont concentrés la plupart des grands gisements; on peut le subdiviser en un niveau basal et un niveau sommital bien que la limite entre les deux soit souvent graduelle;

3) le niveau supérieur, situé à la base des cumulats, et présent qu'à Neyriz. Il comporte des chromitites le plus souvent disséminées.

Les principales caractéristiques des gisements de Neyriz sont présentées dans le tableau 3.1. Leur évolution avec la stratigraphie peut être bien suivie à Neyriz qui possède des gisements situés dans les trois niveaux majeurs:

(1) Les gisements de chromite d'Hassankhani, d'Anjirak, et l'indice d'Hassankhani-Anjirak du massif de Khajeh Jamali, et ceux de Barandaz et de Neypik du massif de Neypik appartiennent au niveau profond (tableau 3.1). Ils sont de taille petite à moyenne, le tonnage variant de 500 à 5 000 tonnes. Le caractère remarquable de ces gisements est leur monotonie avec la présence de concentrations massives de chromite, localement associées à des chromitites disséminées, situées le plus souvent au pourtour des gisements. Cette dernière texture correspond à la texture "piquée" définie par Routhier (1963) et Cassard (1980).

(2) Les gisements de la zone de transition sont les plus nombreux. Ils sont soit de petite taille (Roni), soit de taille moyenne (Rajoni), soit de grande taille (Cheshmeh Bid, Khajeh Jamali). Cheshmeh Bid est le plus grand district minier du secteur d'Abadeh Tashk et comporte plusieurs gisements situés à des profondeurs différentes. Les textures massives et disséminées prédominent tandis que les textures nodulaires et rubanées sont subalternes. On peut distinguer, d'après leur position vis à vis du manteau d'harzburgite homogène et des cumulats, des gisements situés vers la base de la zone de transition: Roni, Rajoni et Cheshmed-Bid Tunnel 2 (massif de Cheshmed-Bid) et Khajeh Jamali (massif de Khajeh Jamali) et des gisements situés vers la partie supérieure (les autres gisements de Cheshmed-Bid). Dans le district de Cheshmed-Bid, la taille des gisements augmente de la base vers le sommet, l'épaisseur des couches étant de l'ordre de 2m dans le tunnel 2, et de 8 m dans le tunnel 8, ainsi que la teneur moyenne en chrome des gisements.

(3) Les concentrations de chromite à la base de la série cumulative forment de petits indices qui ont le plus souvent une texture disséminée, avec une teneur modale de chromite variant de 20 à 40 pour cent. A cause de leur petite taille et de leur faible concentration, les concentrations de chromite n'ont pas de valeur économique. Les

chromites dessinent le plus souvent des chapelets de grains dans une matrice silicatée, riche en olivine. L'allongement des concentrations de chromite est parallèle au litage des des cumulats.

Niveau		Localisation	Tonnage (t)	Texture
Supérieur (Base de la croûte)		Cheshmeh Bid	Subéconomique	D
Intermédiaire (Zone de transition)	Sommital	Cheshmeh Bid	120 000	M-D
	Basal	Roni	2 000	M-D-N
		Rajoni	10 000	M-D
		Khajeh Jamali	120 000	M-D-N-R
Profond, inférieur (Harzburgite homogène)		Neypik	5 000	M-D
		Barandaz	2 000	M-D
		Hassankhani	5 000	M-D
		HassankhaniAnjirak	500	M-D
		Anjirak	2 000	M-D

Table. 3.1. Les principales caractéristiques des gisements de Neyriz.
Textures: M, massive; D, disséminée; N, nodulaire; R, rubanée.

Les caractéristiques des gisements d'Assemion sont moins bien connues que celle de Neyriz. Néanmoins, on peut constater, qu'en dépit d'une taille réduite, le massif d'ultramafites d'Assemion renferme de nombreux corps minéralisés qui sont souvent beaucoup plus grands que ceux de l'ophiolite de Neyriz, notamment dans la zone de transition (Fig. 3.2). De nombreux gisements à Assemion peuvent atteindre quelques centaines de milliers de tonnes, voire plus d'un million de tonnes (Nematte, Amir, Chahine), alors que le plus gros gisement de Neyriz, situé dans la zone de transition, atteint 120 000 t (Table. 3.2). Les réserves d'Assemion sont estimées à dix millions de tonnes environ.

Il existe des gisements profonds dans les harzburgites homogènes au sud du massif et des gisements intermédiaires dans la zone de transition au Nord. Comme à Neyriz, la zone de transition est subdivisée en une partie basale et une partie sommitale. Dans les gisements de la partie sommitale, les textures rubanée et nodulaire deviennent plus fréquentes, bien que les textures massives prédominent toujours au cœur des gisements, et les textures disséminées, vers la bordure.

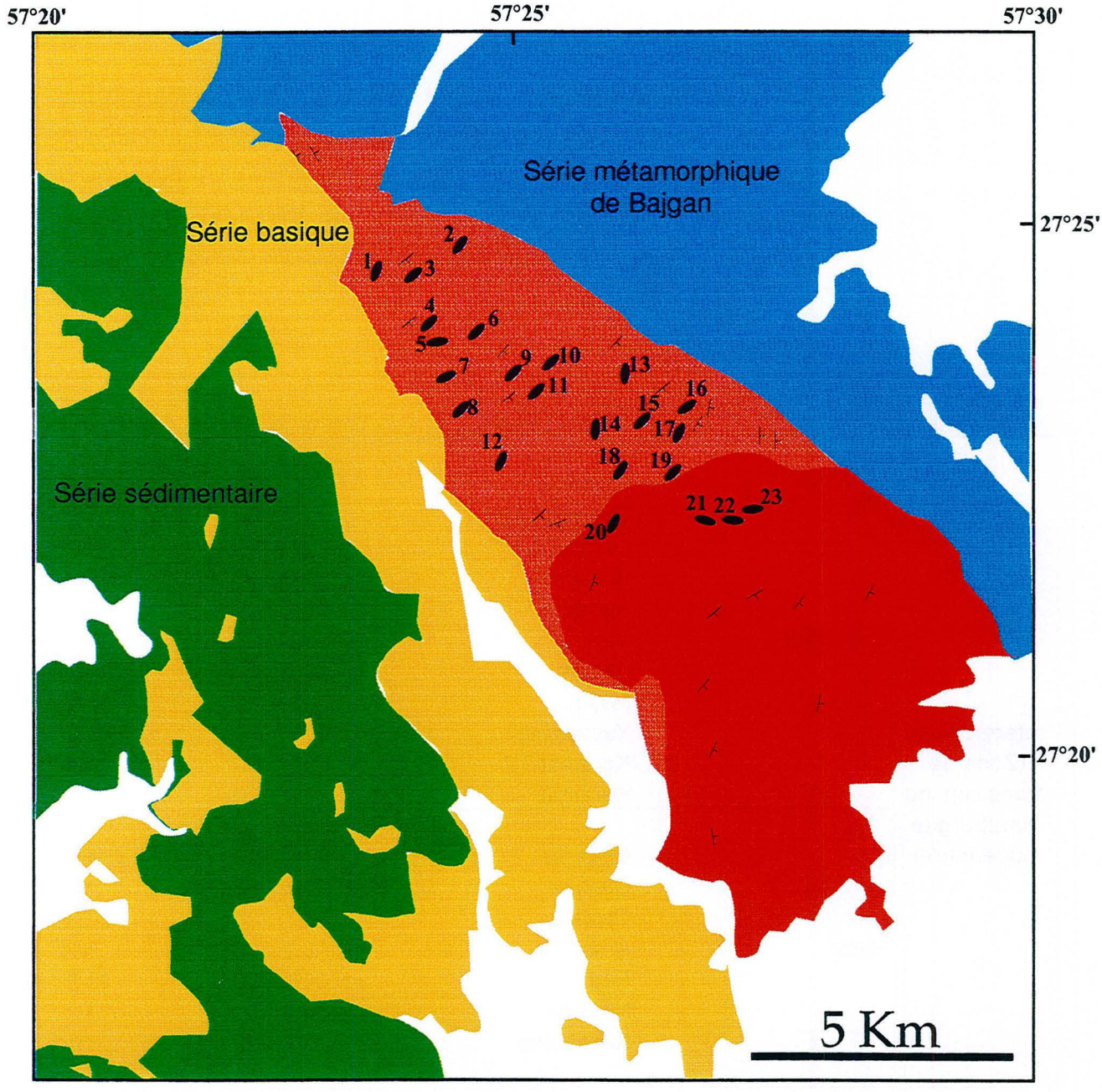


Fig. 3.2. Répartition des gisements de chromite dans la région d'Assemion. Noter l'orientation des gisements par rapport à la foliation des roches encaissantes. Legende identique à celle de la figure 2.2.

Mine de chromite:
1- Doveisse, 2- Lotfabade, 3- Bahrsangue, 4- Ardechir, 5- Bahram, 6- Vali, 7- Sohrab, 8- Majid, 9- Yassamine, 10- Keramat-Tz, 11- Keramat, 12- Chahriar, 13- Chahine, 14- Chojaie, 15- Amir, 16- Fétr, 17- Nematte, 18- Nazafarine, 19- Abcarballa, 20- Ismaeil, 21-Reza Balla, 22- Reza Vassat, 23- Reza Paeine

L'extension des chromitites disséminées peut être importante dans quelques gisements: Reza Balla, Reza Vassate, Reza Paeine (gisements profonds) et Nazafarine (base de la zone de transition).

Le pourcentage de chromite peut être supérieur à 95% dans les chromitites massives et descendre jusqu'à 30% dans les chromitites disséminées. La teneur en Cr_2O_3 des roches totales varie de 45 à 53% dans les chromitites massives. La production annuelle de chromite dans cette région est d'environ 150 000 tonnes par an. On exploite les gisements en galerie et dans une moindre mesure en tranchée.

Niveau		Localisation	Tonnage (t)	Texture
Intermédiaire (Zone de transition ou harzburgite supérieure)	Sommital	Doveisse	600 000	M-D-R
		Bahrsangue	50 000	M-D
		Lotfabade	50 000	M
		Ardechir	100 000	D-R-N
		Bahram	300 000	M
		Vali	100 000	M
		Sohrab	100 000	M
		Majid	100 000	D-R-N
		Yassamine	500 000	D-R
		Keramat-TZ	50 000	D-R
		Keramat	300 000	D-R-N
	Basal	Chahriar	500 000	M-D
		Chahine	>>1 000 000	M
		Chojaie	500 000	M-D-R
		Amir	>1 000 000	M
		Fétr	<1 000 000	M-D
		Nemate	>>1 000 000	M
		Nazafarine	200 000	D
Profond, inférieur (Harzburgite homogène)		Ismaeil	300 000	M-D
		Reza Balla	200 000	M-D
		Reza Vassate	300 000	D
		Reza Paeine	100 000	M-D

Table. 3.2. Les principales caractéristiques des gisements d'Assemion.
Textures: M, massive; D, disséminée; N, nodulaire; R, rubanée.

3.1.2. Morphologie et structure des gisements de chromite

3.1.2.1. Orientation des gisements

La plupart des gisements et notamment ceux de la zone de transition se présentent sous forme de grande couche, sorte de "filon-couche" et de lentilles tabulaires. A Neyriz comme à Assemion, l'orientation des chromitites massives est quasiment parallèle à la direction de la foliation des roches hôtes (N 160°, 35° NE à Neyriz; N 50° à N 70°, 30° à 50° vers le SE à Assemion). Le pendage des gisements est néanmoins souvent plus fort que celui du plan de foliation: de 70° à 80° vers le SW à Neyriz (Fig. 3.3) et de 60° à 80° vers le SE à Assemion, alors que le plongement du plan de foliation dépasse rarement 30°, notamment à Assemion. Les gisements sont donc subconcordants. Cette disposition structurale, notamment l'allongement des gisements, subparallèle à la direction de la foliation des harzburgites, est utilisé comme un guide d'exploration et d'exploitation.

Dans la région de Neyriz, les indices de chromite disséminée se situant à la base des cumulats ultramafiques sont concordants par rapport au litage des dunites. La direction du grand axe des corps minéralisés est orientée N 110-40 SW. La direction des cumulats fait ainsi un certain angle avec celle de la foliation du manteau.

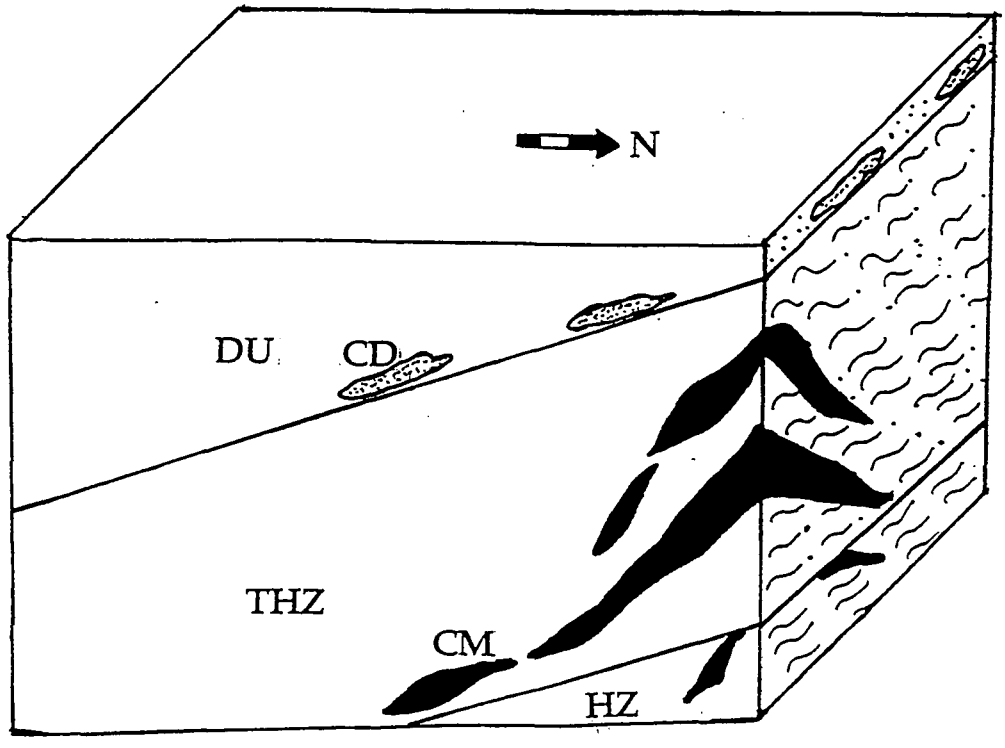


Fig. 3.3. Schéma des corps minéralisés dans la région de Neyriz. HZ, harzburgite homogène; THZ, harzburgite transitionnelle; DU, dunite; CM, gisement de chromite massive; CD, indice de chromite disséminée.

3.1.2.2. Importance du boudinage

Les couches de chromite sont affectées de renflements et d'amincissements dus au boudinage. L'amincissement des couches a conduit localement à leur rupture et au déplacement relatif des blocs le long des failles. Cette tectonique explique la présence de lentilles et de boudins discontinus de chromite (Fig.3.4).

La puissance des gisements est assez constante, de l'ordre de 2 à 3 mètres à Neyriz et de 6 à 12 mètres à Assemion. Elle peut néanmoins varier d'une dizaine de centimètres jusqu' à 8 mètres dans la région d'Abadeh Tashk, et jusqu'à 30 mètres dans le secteur d'Assemion. La puissance des couches de chromite augmente aussi vers les charnières anticlinales et les charnières synclinales des plis qui affectent les gisements et le manteau hôte.

Le minerai de chromite est plus ou moins déformé. On reconnaît des structures en "pull apart" liées à la fracturation en distension, une structure souvent observée dans les gisements de chromite. Elle serait le témoin de la déformation plastique du manteau qui se superpose dans les chromites aux structures magmatiques (Leblanc et Nicolas, 1992). La structure en pull-apart est soulignée à l'échelle du grain, par les minéraux de la gangue silicatée qui remplissent les fractures millimétriques (Fig.3.5), et à l'échelle du gisement, par des filons de dunite perpendiculaires au grand axe des corps de chromitite (Photo 1, Planche IV). De même, la déformation plastique des chromites nodulaires est soulignée par l'aplatissement des nodules dans le plan de foliation (Photo 2, Planche IV).

La tectonique de boudinage résulterait de la déformation plastique qui a affecté le manteau lors de la formation du bassin (Brown, 1980; Cassard et al., 1981; Panayiatou et al., 1986; Leblanc et Nicolas, 1992). La déformation plastique aurait pu se poursuivre lors des écaillages intra-océaniques mais aussi lors du charriage de la croûte océanique sur le continent.

3.1.2.3. Tectonique cassante

Une déformation cassante prend en relai la déformation plastique. Elle est liée à la tectonique tangentielle et aussi à la dilacération de la ceinture ophiolitique lors des mouvements décrochants.

Les gisements d'Assemion sont particulièrement affectés par la tectonique cassante. Le démembrement et le déplacement des gisements et des roches encaissantes par un système complexe de failles y sont des phénomènes courants. Les concentrations initiales de chromite ont été découpées en plusieurs blocs séparés les uns des autres par des rejets de portée variable. Les décrochements dans les gisements ont créé de gros problèmes en exploration et en exploitation.

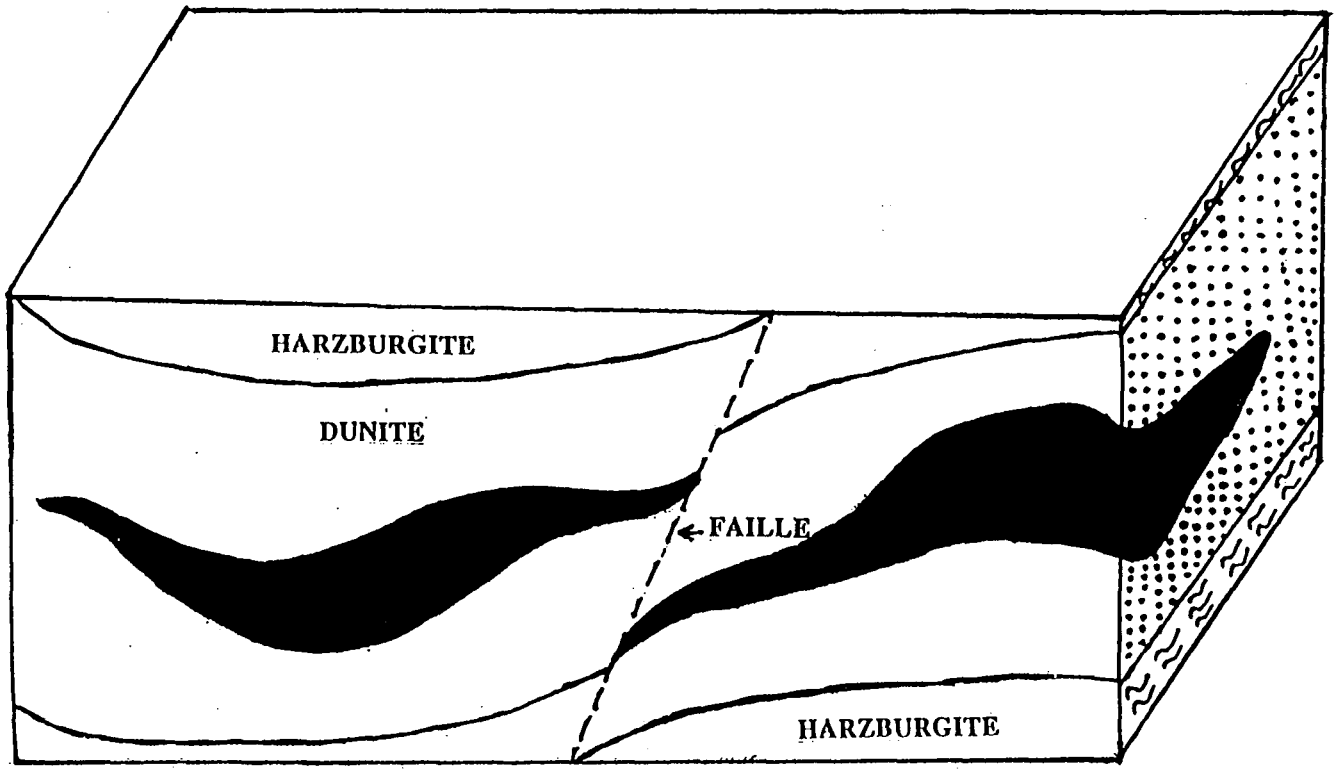


Fig. 3.4. Schéma d'un corps de chromitite. Le déplacement dans un endroit d'amincissement de gisement.

Les chromitites sont fracturées surtout au contact avec les roches silicatées. L'enveloppe dunitique est alors intensement serpentinisée.

Fig. 3.5. Minrai de chromite à texture massive. Les fractures sont remplies de serpentine. Elles correspondent à des figures d'extension en "pull apart".

3.2. Texture des chromitites

Les chomitites présentent quatre textures différentes : massive, disséminée, nodulaire et rubanée. Les deux premières sont les plus fréquentes mais seul un type de texture prédomine dans les gisements. Deux types de textures peuvent être présents en proportion voisine dans certains gisements, notamment lorsque des chomitites à texture disséminée ou à texture nodulaire ceinturent les chromitites à texture massive. Le passage d'un type de minerai à un autre y est le plus souvent abrupt, bien que dans quelques cas, on puisse observer le passage d'une texture à l'autre au sein d'un même échantillon.

La texture des chromitites est considérée comme d'origine magmatique. Les chromites y sont le plus souvent subautomorphes à automorphes. Les chromites à contours arrondis dont l'origine est toujours discutée (cristallisation rapide, corrosion) sont plus fréquentes dans les chromitites à gros grains (Photo 3, Planche IV).

3.2.1. Le minerai massif

Dans la texture massive, la chromite constitue plus de 90% du minerai et la gangue interstitielle est réduite (Photos 4 et 5, Planche IV). Dans le minerai massif de

type compact, le pourcentage de gangue interstitielle diminue, atteignant souvent moins de 5% du volume de la roche.

Le minerai massif est le plus fréquent. La majorité des grains montre une texture en " pull-apart " avec des fissures remplies de silicates, qui témoignent de l'importance de la déformation plastique à hautes températures surimposée aux textures magmatiques (Leblanc et Nicolas, 1992). Les silicates sont intensément serpentinisés et les serpentines sont souvent cryptocristallines. Lorsque des reliques de silicates primaires sont conservées, ils montrent, comme les chromites, des traces de déformation plastique de hautes températures (Photo 6, Planche IV).

La forme des grains est encore visible dans les minerais massifs en dépit de leur densité. Les grains sont le plus souvent subautomorphes à automorphes et rarement xénomorphes, ce qui est compatible avec une origine magmatique.

Les chromites des gisements du niveau profond de Neyriz sont à gros grain (3-7 mm). Leur taille moyenne est de 4 mm, alors que dans les gisements du niveau intermédiaire, la taille moyenne des chromites diminue pour atteindre 1,5mm. La taille des grains y varie de 0,5 à 5 mm. La variation de la taille des grains avec la profondeur n'a pas été observée à Assemion. Il semble que la variation de la taille des grains (taille comprise entre 0,3 et 5 mm, avec une taille moyenne de 1,2 mm) n'obéit à aucune règle. .

Les contours arrondis et les arêtes émoussées sont observés dans les grains de chromites qui montrent une forte corrosion des faces cristallines.

La texture cataclastique est localement présente, surtout dans la zone de contact entre les corps de chromite et l'enveloppe dunitique (Photo 7, Planche IV). D'une manière générale, la texture cataclastique est plus développée lorsque la proportion de silicates augmente. Les fragments de minéraux peuvent être orientés dans la chromitite cataclasée ou au sein de la zone cataclasée (Photo 8, Planche IV).

La composition des chromites change à proximité des grandes fractures et dans les zones cataclasées. On observe une augmentation de la teneur en fer total, qui se traduit par une augmentation de la molécule de magnétite, avec le remplacement de Mg^{2+} par Fe^{2+} et celui de Al par Fe^{3+}. L'augmentation de la mole de magnétite est visible à la bordure de nombreux grains de chromite. La bordure à ferrichromite a un pouvoir réflecteur plus fort que celui de la chromite primaire. Le contact entre les deux zones est net.

Le changement de composition des spinelles chromifères aux ferrichomites peut être lié à des phénomènes de diffusion entre le spinelle et l'olivine (Obradovic, 1986), ou à la serpentinisation (Peters et Kramers, 1974; Panayiotou, 1978). Une étude plus précise au MEB sur la distribution des zones riches en fer a montré que l'altération est préférentiellement développée le long des fissures associées

à la serpentinisation du massif. Il est à souligner que les fissures tardives sont indemnes de ferrichromite (Photos 1 et 2, Planche V).

3.2.2. Le minerai disséminé

Le minerai disséminé se rencontre dans tous les gisements et indices de chromite mais avec une extension variable d'un gisement à l'autre. La texture " piquée " (Routhier, 1963; Cassard, 1980) est donc fréquente dans ces gisements (Photo 3, Planche V). Les grains de chromites sont subautomorphes à automorphes. Leur dimension varie d'une taille inférieure au millimètre, jusqu'à 5 à 7 mm (Photo 4, Planche V).

A Assemion, la distribution du minerai disséminé dans la pile ultramafique semble n'obéir à aucune règle, alors qu' à Neyriz, le minerai disséminé est plutôt caractéristique des gisements supérieurs. En effet, les indices de chromite à la base des cumulats ne sont constitués que de ce type de minerai.

Le minerai disséminé ne montre pas de texture de pull-apart qui caractérise la déformation de hautes températures des chromitites. Ceci pourrait être lié à la plus grande proportion d'olivine (jusqu'à 70%) qui encaisserait préférentiellement la déformation. On peut aussi souligner qu'à Neyriz, et plus généralement dans les massifs ophiolitiques, l'intensité de la déformation de hautes températures diminue vers la croûte, ce qui expliquerait aussi l'état de plus faible déformation relevé dans les chromitites disséminées.

Les minerais disséminés montrent la même déformation cassante que les minerais massifs. La serpentinisation des silicates associés y est également intense.

3.2.3. Le minerai nodulaire

Le minerai nodulaire est caractéristique des gisements de chromite ophiolitiques (Thayer, 1964; Greenbaum, 1977; Cassard, 1980; Ahmed, 1984; Karaj, 1992), mais il existe en faible proportion dans les gisements étudiés à Neyriz et Assemion, comparés aux minerais massifs et disséminés. Le diamètre des nodules est souvent variable dans un même échantillon. La longeur des nodules varie de 0,7 à 3 cm et leur largeur de 0,2 à 1,5 cm.

Dans les minerais nodulaires, la déformation plastique est soulignée par l'aplatissement des nodules dans le plan de foliation. Les nodules sont souvent fracturés et les fractures remplies de silicates. Les nodules se situent dans une matrice d'olivine intensément serpentinisée. Cette matrice peut être très pauvre en spinelle ou comporter des spinelles de taille très fine (Photos 5, Planche V).

La genèse des nodules a toujours été très discutée. De nombreux modèles portent sur la formation des nodules par "avalanche": les nodules seraient roulés dans un courant magmatique turbulent (Pavolov et al., 1977; Panayiotou, 1980; Rahgoshay et Juteau, 1980; Lago et al., 1982). La croissance des nodules aurait lieu à partir d'un premier minéral, actuellement au centre du nodule. Les primocristaux sont entraînés sur le plancher de la chambre et aussi dans les conduits où ils servent de germe pour la nucléation des chromites. Au cours de leur croissance, les nodules peuvent inclure des silicates.

3.2.4. Le minerai rubané

Le minerai rubané est rare dans les gisements. Il n'est présent que dans quelques zones minéralisées. Les rubans sont constitués par une alternance de chromitite massive ou disséminée et de dunite, ou de dunite à spinelle, les grains de spinelle étant de petite taille (Photo 6, Planche V). L'épaisseur des rubans de chromitite est voisin du centimètre. Les minerais rubanés se trouvent en général au voisinage des minerais disséminés. Ils peuvent exister ensemble dans un même échantillon (photo 7, Planche V).

3.3. Composition chimique des chromites des gisements

Les spinelles chromifères ont une formule générale de type $(Mg, Fe^{2+})(Cr, Al, Fe^{3+})_2O_4$ avec comme principaux éléments traces : Mn, Ti, V, Zn. Les variations de la composition des spinelles chromifères sont marquées par les substitutions majeures entre Mg et Fe^{2+} d'une part et Cr, Al et Fe^{3+} d'autre part. La projection de la composition des spinelles peut s'inscrire dans un polyèdre dont les six sommets correspondent à des constituants moléculaires purs: magnétite, magnésio-ferrite, chromite, magnésio-chromite, spinelle et hercynite. Le pourcentage de molécule d'ulvospinelle est souvent très faible dans les spinelles chromifères des ophiolites rapportées au type de Méditerranée orientale. Ceci peut être mis en parallèle avec les teneurs peu élevées en TiO_2 des magmas (0,3 % <TiO_2< 1,8 %) qui sont en moyenne inférieures à celles des dorsales médio-océaniques.

On considère l'évolution de la composition chimique des spinelles à différentes échelles: (1) à grande échelle, en considérant la position stratigraphique des gisements; (2) à une échelle intermédiaire, en étudiant les variations de composition selon la position des chromitites dans le gisement, et ceci à Neyriz où la texture des minerais change du cœur vers la périphérie; (3) à petite échelle, en considérant les variations de composition du cœur vers la périphérie des grains, et dans quelques cas,

en comparant ces compositions à celles situées près des inclusions de minéraux du groupe du platine (MGP), en général localisées vers la périphérie des grains de chromite. En fonction des évolutions mises en evidence à différentes échelles, on projette de déterminer les principaux facteurs du système minéralisant qui ont contrôlé la composition des chromites.

La comparaison de la composition type des gisements est basée sur des analyses obtenues au cœur des grains de chromite afin d'éliminer les variations liées aux réactions subsolidus et à la serpentinisation.

Les analyses ponctuelles ont été effectuées à la microsonde électronique CAMEBAX SX 50. Les conditions analytiques sont les mêmes que pour les analyses des roches silicatées décrites dans la chapitre II.

3.3.1 Composition des spinelles chromifères

La composition des spinelles chromifères tombe dans le domaine des chromites de type alpin, en raison de leurs faibles teneurs de Fe^{3+} et des teneurs élevées de Cr_2O_3. Le pourcentage de molécule de magnétite ne dépasse jamais 5% (0<% mole magnétite<5) dans le manteau. Le domaine de composition des spinelles chromifères d'Assemion est beaucoup plus restreint que celui de Neyriz. Les chromites d'Assemion sont plus riches en chrome que celles de Neyriz pour des teneurs en Fe^{2+} et Mg voisines. Le rapport XCr* [XCr*=Cr/(Cr+Al)] est compris entre 76 et 82 à Assemion pour un rapport XFe* [XFe*=Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)] compris entre 28 et 42, tandis qu'à Neyriz XCr* varie dans le manteau de 59 à 83 pour une variation de XFe* comprise entre 28 et 42.

Le diagramme de variation de XCr* en fonction de XFe* montre que les chromites de la séquence crustale de Neyriz sont beaucoup plus riches en fer pour des rapports XCr* comparables à ceux du manteau. L'écart des valeurs de XFe* est très important entre le manteau et les cumulats. Ces derniers se projettent sur une surface à l'intersection des domaines des chromites stratiforme et podiforme. On peut déduire de cette distribution, que l'origine des roches ultramafiques dans les ophiolites dont les structures primaires sont en partie oblitérées, peut donc être approchée par l'utilisation du rapport XFe*.

Les chromites de la croûte sont également plus riches en Fe^{3+}, le rapport YFe^{3+} [YFe*=Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al+Cr)] étant compris entre 3,9 et 5,6. La teneur en TiO_2 des spinelles chromifères des cumulats (0,17 ± 0,07) est aussi sensiblement plus élevée que celle des chromites du manteau (0,06 ± 0,05), ce qui pourrait traduire une cristallisation des chromites à partir d'un magma plus riche en éléments incompatibles.

3.3.2. Distribution des éléments mineurs et traces

Les teneurs en Ni, Mn, V, Ti et Zn dans les chromites sont souvent très faibles et proches du seuil de détection de la microsonde électronique. Rarement la somme des oxydes formés à partir de ces éléments peut atteindre 1% pondéral (Table. 3.3). A Assemion, il n'y a aucune corrélation entre NiO, MnO, TiO_2, V_2O_3 d'une part et MgO, Cr_2O_3 d'autre part (Fig. 3.6) si on considère l'ensemble des analyses. A Neyriz, les teneurs en MnO et TiO_2 sont plus élevées et celles de NiO plus faibles dans les cumulats que dans le manteau. Toutefois les teneurs de TiO_2 dans les cumulats se rapprochent de celles des gisements inférieurs (base de la zone de transition et manteau profond).

Massif	NiO%	MnO%	TiO2%	V2O3
Neyriz	0,10 ± 0,09	0,19 ± 0,08	0,07 ± 0,06	0,12 ± 0,09
Assemion	0,08 ± 0,07	0,18 ± 0,06	0,12 ± 0,05	0,11 ± 0,09

Table. 3.3. Teneurs moyennes des chromites en éléments mineurs.

Si l'on considère les gisements selon leur position stratigraphique des corrélations entre éléments mineurs et MgO ou Cr_2O_3 peuvent être localement observées. A Neyriz, au sein des différents niveaux, TiO2 tend à augmenter alors que Cr2O3 décroit.

a) Dans les gisements profonds d'Assemion, NiO diminue avec Cr_2O_3 et MgO alors que TiO2 et V_2O_3 augmentent légèrement. Il y a donc augmentation globale de NiO avec la mole de magnésio-chromite.

b) Dans les gisements à la base de la zone de transition, les teneurs en éléments traces fluctuent pour de faibles variations de Cr2O3 à Neyriz. TiO2 augmente avec la diminution de MgO.

c) Dans les gisements au sommet de la zone de transition d'Assemion, TiO_2, NiOet V_2O_3 diminuent avec MgO. Un comportement inverse s'observe pour TiO_2 et V_2O_3 dans les gisements de Neyriz qui occupent une même position stratigraphique.

d) Dans les gisements de la croûte, TiO2 et MnO augmentent avec la diminution de MgO, alors que les teneurs en NiO sont très faibles.

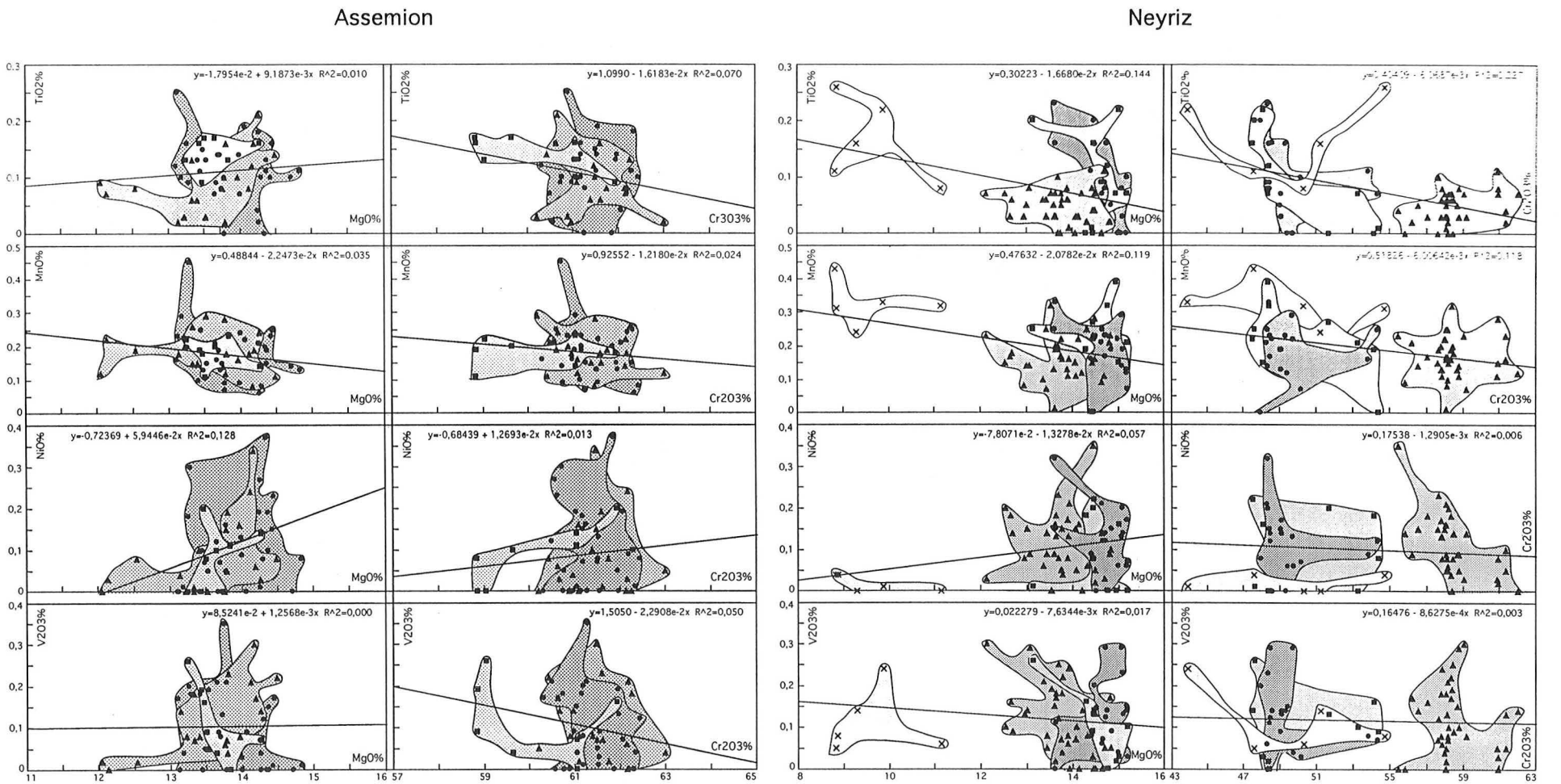


Fig. 3.6. Distribution des éléments mineurs en fonction de MgO et de Cr2O3 dans les chromites de gisements des massifs d'Assemion et de Neyriz. Carrés, gisements profonds; Cercles, gisements à la base de la zone de transition; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition; Croix, indices dans les cumulats de Neyriz.

3.3.3. Variation de la composition chimique des chromites avec la stratigraphie

Composition des gisements

Un examen détaillé du diagramme XCr* en fonction de XFe*, où sont indexés les différents gisements, permet de suivre l'évolution de la composition des spinelles de bas en haut de la pile d'ultramafites mantelliques, au sein des différentes zones minéralisées, et également au sein des gisements (Figs. 3.7 et 3.8).

Les gisements situés dans les harzburgites profondes sont généralement plus alumineux que ceux situés dans la zone de transition. Il en est ainsi à Assemion. A Neyriz, les gisements situés à la base de la zone de transition (Khajeh Jamali du massif du même nom, Rajoni, Roni, et Cheshmeh Bid-tunnel 2 du massif de Cheshmeh-Bid) sont aussi riches en alumine que ceux du manteau profond. Ceux qui sont situés à la partie supérieure de la zone de transition, et qui sont les plus volumineux (secteur de Cheshmeh-Bid), sont plus riches en Cr_2O_3 que les gisements du manteau profond. A l'opposé, les gisements d'Assemion qui appartiennent au sommet de la zone de transition sont en moyenne légèrement plus riches en alumine que ceux de la base de cette zone.

Ainsi, la variation de la composition des spinelles chromifères avec la stratigraphie montre que la teneur en chrome des gisements augmente généralement depuis le manteau profond (harzburgites homogènes) jusqu'à la zone de transition. Cette évolution n'est cependant pas systématique comme le montre l'existence (1) des gisements du manteau supérieur d'Assemion, plus alumineux que les gros gisements situés au-dessous, et (2) des gisements à la base de la zone de transition à Neyriz, qui sont aussi, voire plus alumineux, que les gisements du manteau profond.

On souligne par ailleurs que les plus gros gisements d'Assemion, situés à la base de la zone de transition, sont riches en chrome (minerai métallurgique). Les plus forts tonnages à Neyriz proviennent d'un gisement riche en alumine (Khajeh Jamali) à la base de la zone de transition et d'un groupe de gisements riches en chrome (Cheshmeh-Bid) à la partie sommitale de la zone de transition. Il faut noter que Khajeh Jamali et Cheshmed-Bid sont éloignés l'un de l'autre par une distance de 10km, car ils appartiennent à deux massifs distincts du secteur d'Abadeh Tashk. L'évolution pétrologique du manteau pourrait avoir été différente dans les deux massifs observés pour expliquer les différences observées sur la nature (Al/Cr) et la position des gisements (inférieur à supérieur dans la zone de transition).

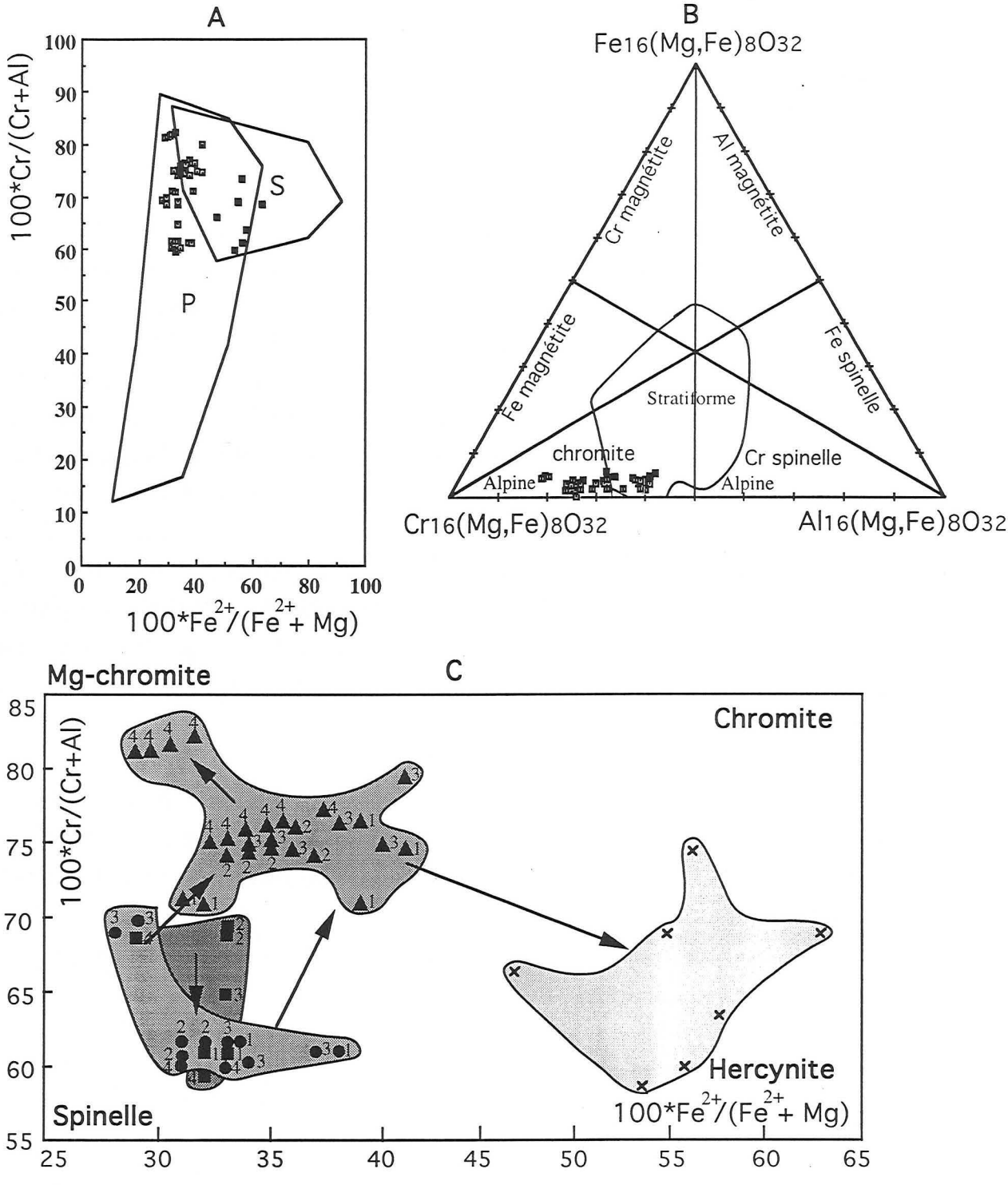


Fig. 3.7. Composition des chromites des gisements de Neyriz situés à des niveaux différents de la séquence ophiolitique. Comparer avec celles des gisements d'Assemion. A, P et S domaines de composition respectifs des chromites podiformes et sratiformes d'après Irvine (1967). B, Diagrammes triangulaire de composition des chromites alpines et sratiformesd'après Stevens (1944). C, Détail de la fig. A. indiquant la localisation des chromites de Neyriz. Carrés, gisements profonds. 1-Anjirak, 2-Hassankhani, 3-Hassankhani-Anjirak, 4-Neypik; Cercles, gisements à la base de la zone de transition, 1-Khajeh Jamali, 2-Rajoni, 3-Roni, 4-Cheshmeh Bid Tunnel2; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition,1-Cheshmeh Bid Tunnel 5, 2-Cheshmeh Bid Tunnel 6, 3-Cheshmeh Bid Tunnel 7, 4-Cheshmeh Bid Tunnel 8; Croix, chromites disséminées à la base des cumulats. Voir aussi la carte géologique (Fig. 3.1).

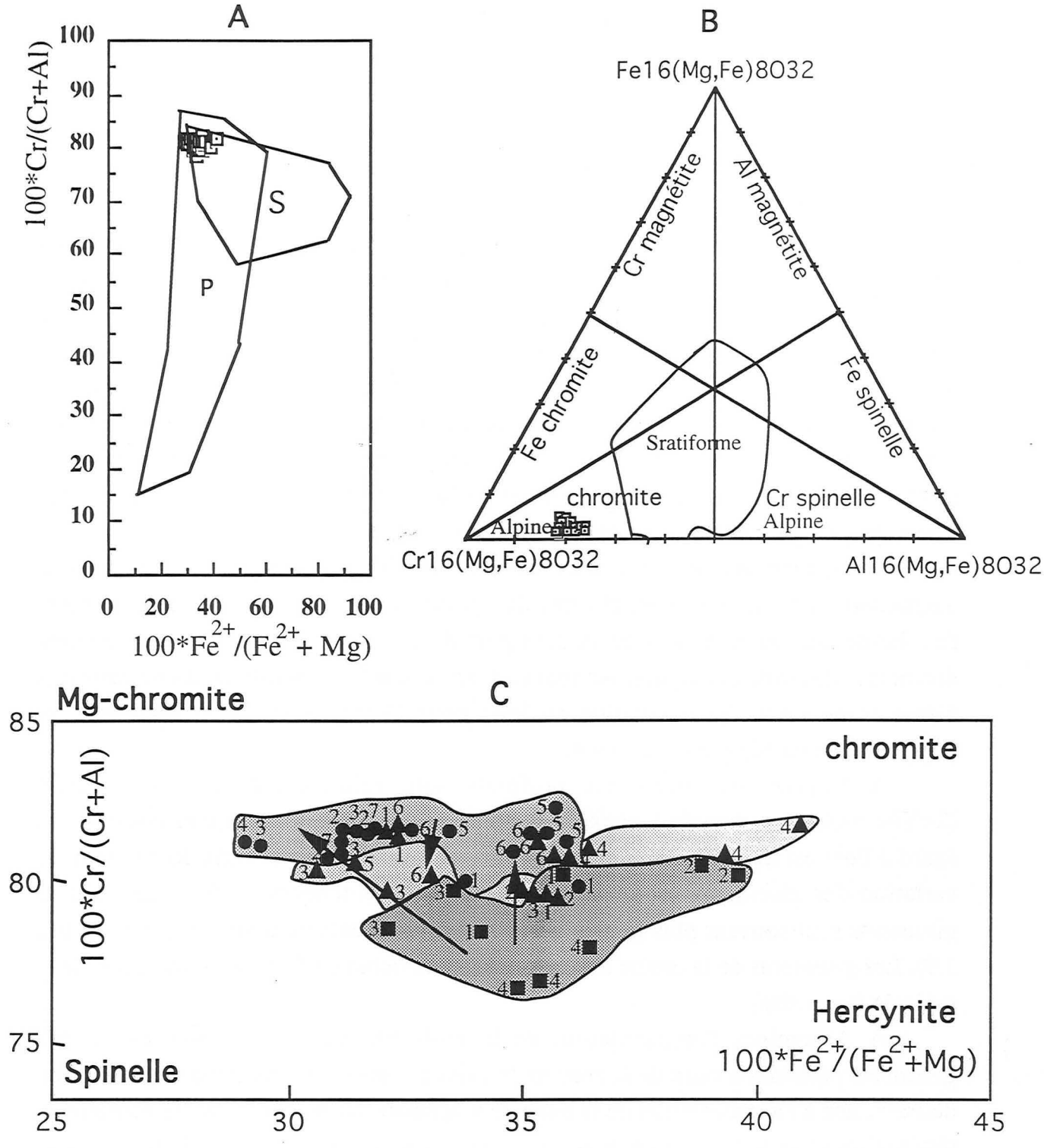


Fig. 3.8. Composition des chromites des gisements d'Assemion situés à des niveaux différents dans le manteau. Noter le peu de variation de composition des chromites. A, P et S, domaines de composition respectifs des chromites podiformes et stratiformes d'après Irvine (1967). B, Diagrammes triangulaire avec la projection des chromites alpines et stratiformes d'après Stevens (1944). C, Détail de la fig. A, indiquant la localisation des chromites d'Assemion. Carrés, gisements profonds, 1-Reza Paeine, 2-Reza Vassate, 3-Reza Balla, 4-Ismaeil; Cercles, gisements à la base de la zone de transition, 1-Nazafarine, 2-Nematte, 3-Fétr, 4-Amir, 5-Chojaie, 6-Chahine, 7-Chahriar; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, 1-Yassamine, 2-Vali, 3-Bahram, 4-Ardechir, 5-Bahrsangue, 6-Doveisse. Voir aussi la carte géologique (Fig.3.2).

Evolution inter-gisement

A Neyriz, le passage des gisements profonds aux gisements de la partie sommitale de la zone de transition se fait par l'augmentation conjointe de XFe* et XCr* (comme le souligne le vecteur de la Fig. 3.7), ce qui correspond à une augmentation de la molécule de chromite. De la même façon, pour passer des gisements du manteau profonds à ceux, plus alumineux, de la base de la zone de transition, il faut une augmentation de Fe^{2+} et d'Al, ce qui correspond à une augmentation de la molécule d'hercynite.

A Assemion, c'est la molécule de magnésio-chromite ou celles de magnésio-chromite et de chromite, qui contrôle le passage des gisements du manteau profond aux gros gisements à la base de la zone de transition. Le passage de ces derniers à ceux du sommet de la zone de transition se fait par augmentation de la molécule d'hercynite ou par celle des moles d'hercynite et de spinelle (Fig. 3.8).

Ainsi, bien que dans les deux massifs, Neyriz et Assemion, on observe une augmentation de la teneur en chrome des gisements en s'approchant de la croûte, l'évolution des gisements avec la stratigraphie est contrôlée par deux molécules distinctes: chromite et magnésio-chromite. Ceci reflète le comportement contrasté des éléments divalents: augmentation en Fe^{2+} pour Neyriz avec la stratigraphie, et augmentation en Mg pour Assemion.

A Neyriz, les gisements profonds sont relativement riches en Fe^{3+} ($2<YFe^{3+}<4,4$), comparés à ceux de la zone de transition dont la composition, eu égard à Fe^{3+} est très variable. Le domaine de variation de Fe^{3+} encadre le domaine de variation des gisements profonds, ce qui fait que les teneurs en Fe^{3+} de certains gisements sont souvent plus faibles que dans les gisements du manteau profond (Fig 3.9). Les gisements de la croûte sont parmi les plus riches en Fe^{3+} (augmentation de la mole de magnétite).

A Assemion, l'augmentation de la molécule de magnésio-chromite des gisements profonds à ceux de la zone de transition, s'accompagne d'une augmentation de Fe^{3+}, liée à l'augmentation de la mole de magnésio-ferrite. De la même manière, la diminution globale de la mole de magnésio-chromite des gisements de la base à ceux du sommet de la zone supérieure, s'accompagne d'une diminution du pourcentage de la mole de magnésio-ferrite (Fig. 3.9).

3.3.4. Variation de la composition chimique des chromites au sein des gisements

L'évolution de la composition des gisements est déterminée d'après la composition des chromite obtenues au cœur des minéraux à partir de plusieurs échantillons représentatifs. Dans quelques gisements, il a été possible de comparer les

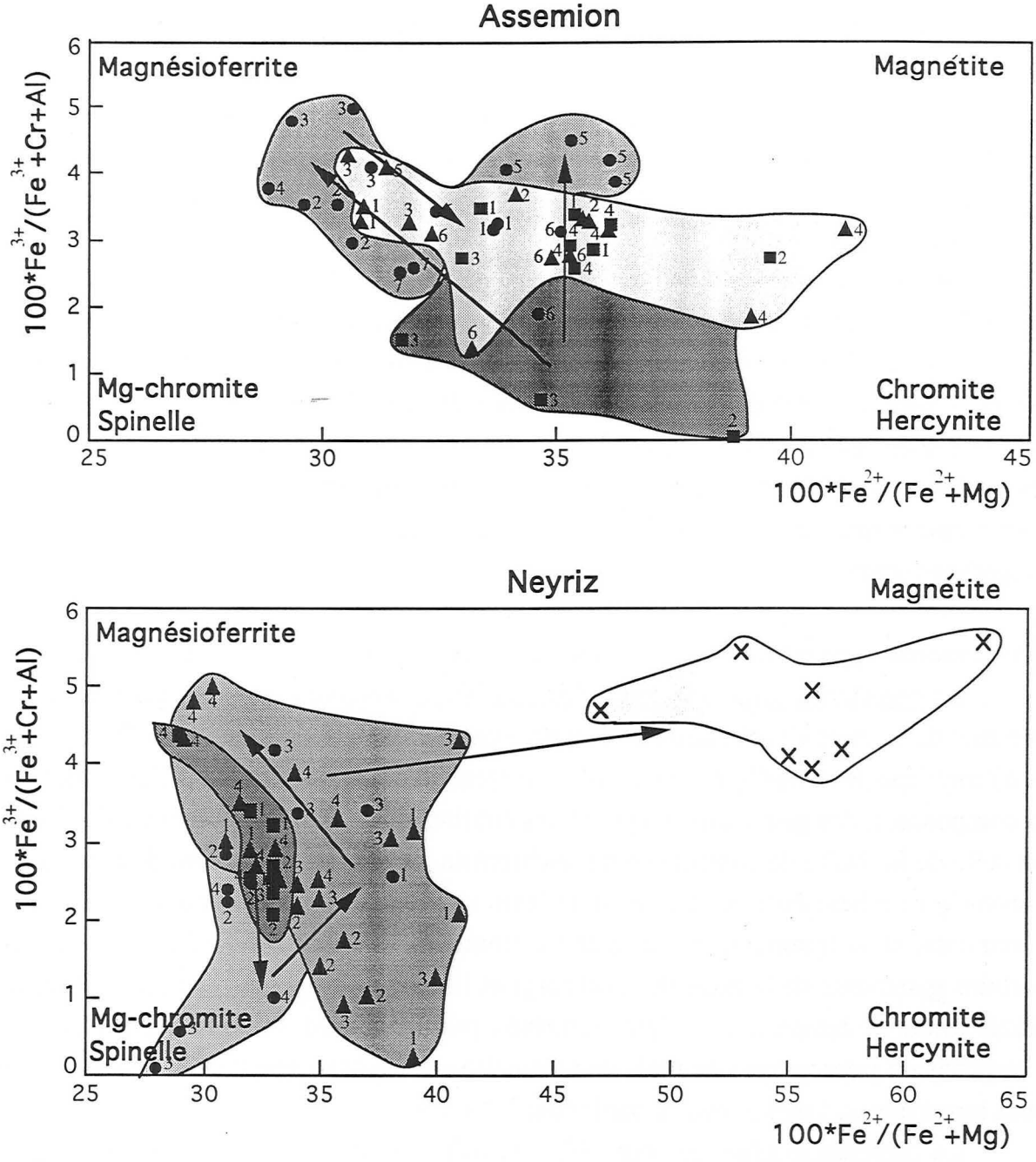


Fig. 3.9. Evolution du rapport $100*Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Cr+Al)$ en fonction du rapport $100*Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ dans les différents gisements des massifs d'Assemion et de Neyriz. Les références des gisements de Neyriz sont les mêmes que pour la figure 3.7 et celles des gisements d'Assemion sont les mêmes que pour la figure 3.8.

échantillons prélevés au cœur et à la périphérie des gisements.

Deux types d'évolution majeure de la composition des chromites sont distingués:

(1) Le premier type implique de fortes variations de XFe* pour de faibles variations de XCr*. Ceci indique que les effets des moles de chromite et hercynite d'une part ou de spinelle et de magnésio-chromite d'autre part se sont additionnés pour faire varier fortement le rapport XFe* sans modifier notablement XCr*.

Ce type d'évolution caractérise les gisements à la base de la zone de transition de Neyriz, et ceux de la zone de transition d'Assemion. L'évolution conjointe de Fe^{3+} en fonction de XFe* est différent à Neyriz et à Assemion: l'enveloppe des gisements à Neyriz souligne le rôle de la molécule de magnétite dont la proportion varie fortement (0%<mole de magnétite<5%). Dans les gisements de la zone de transition à Assemion, les variations de YFe^{3+} sont plus faibles, et l'enveloppe des gisements souligne une corrélation négative entre YFe^{3+} et XFe* liée aux variations de la moécule de magnésio-ferrite.

(2) Le second type d'évolution implique des variations conjointes de XFe* et XCr*.

La corrélation positive entre XFe* et XCr* observée dans les gisements du sommet de la zone de transition de Neyriz (gisements de Cheshmeh Bid Tunnel 5, 7 et 8) implique le contrôle des molécules de spinelle ou de chromite sur l'évolution de la composition des gisements. La pente des courbes pour chaque gisement qui s'écarte de celle de la droite de contrôle spinelle-chromite montre que les moles de magnésio-chromite et d'hercynite jouent aussi un rôle sur l'évolution de la composition des gisements, et notamment, sur le grand étalement des valeurs de XFe*. De même, certains gisements de la zone des harzburgites homogènes d'Assemion (Reza Paeine, Reza Balla et Ismaeil) semblent contrôlés par le couple spinelle-chromite. Les variations du pourcentage de mole de magnétite qui accompagnent celles de chromite sont importantes, jusqu'à 5%, en particulier à Neyriz.

La corrélation négative entre XCr* et XFe* qui implique le jeu des molécules de magnésio-chromite et d'hercynite est moins fréquemment observée au sein des gisements qu'entre les gisements. Ces molécules semblent contrôler la distribution des gisements du manteau profond de Neyriz et en particulier, celle du gisement de Neypik. A Neypik, les variations du pourcentage de moles de magnésio-chromite sont comparables à celles des moles de magnésio-ferrite.

Le sens d'évolution de la composition des gisements au cours de leur formation peut être indiqué en considérant l'évolution de la composition des chromites du cœur vers la périphérie des gisements, dans l'hypothèse selon laquelle les minerais à la bordure sont postérieurs à ceux situés au cœur (cristallisation centrifuge).

A Neyriz, l'évolution cœur-bordure du gisement d'Hassankani indique une augmentation de la mole de spinelle vers la bordure des gisements aux dépens de celle de chromite. Cette évolution est orthogonale à celle dessinée par l'enveloppe des gisements du manteau profond. De même, les gisements de Cheshmed-Bid au sommet de la zone de transition montrent un enrichissement variable en mole de spinelle vers leur périphérie, aux dépens de la molécule de chromite, une évolution qui est parallèle à celle observée dans les gisements de la zone de transition supérieure. Cette évolution s'accompagne d'une diminution de Fe^{3+} comme à Cheshmeh-Bid (Fig. 3.9).

Le gisement de Roni à la base de la zone de transition montre une augmentation de la mole d'hercynite en bordure du gisement (Fig. 3.10). Ceci contraste avec les faibles variations du rapport XCr* observées dans les gisements les plus profonds de la zone de transition.

L'évolution des gisements montre, à Neyriz et à Assemion, une augmentation de la teneur en alumine pour des évolutions du rapport XFe* qui peuvent être opposées. Cette augmentation en alumine du cœur à la périphérie des gisements, contraste avec l'augmentation en chrome des gisements de la base au sommet du manteau.

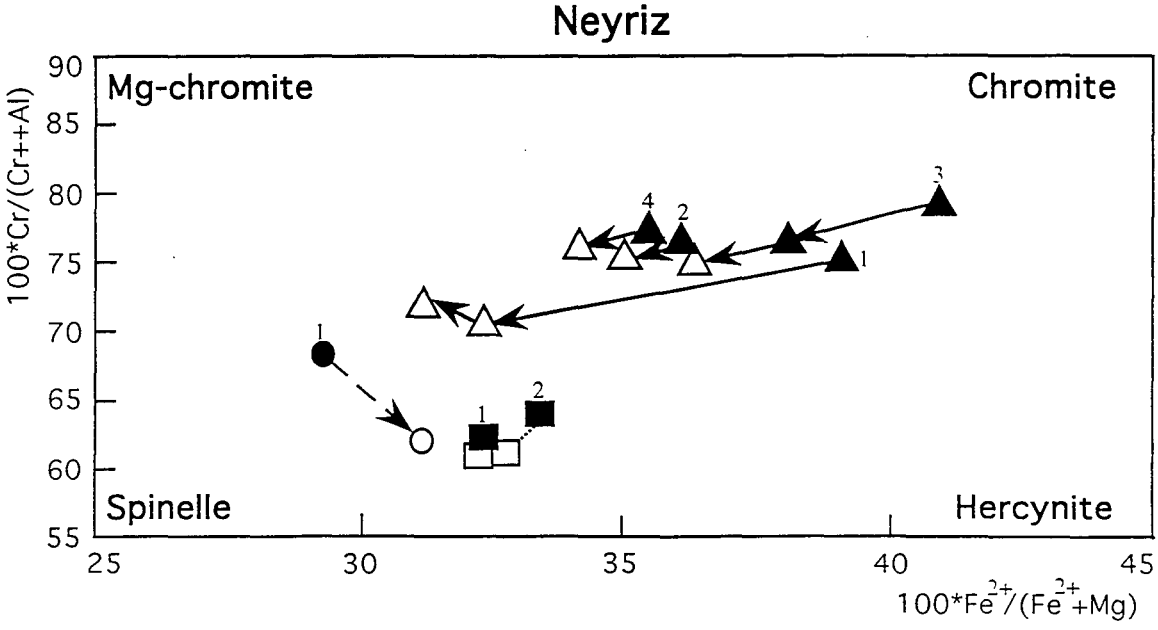


Fig. 3.10. Variation de la composition des chromites du coeur (symboles pleins) à la périphérie (symboles vides) des gisements de Neyriz. Carrés, gisements profonds, 1-Anjirak, 2-Hassankhani; Cercles, gisement à la base de la zone de transition 1-Roni; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, 1-Cheshmeh Bid Tunnel 5, 2-Cheshmeh Bid Tunnel 6, 3-Cheshmeh Bid Tunnel 7, 4-Cheshmeh Bid Tunnel 8.

3.3.5. Variation de la composition des spinelles chromifères à l'échelle du grain

Celle-ci diffère selon les grains, les gisements et les massifs, mais on retrouve des variations similaires à celles qui ont été relevées au sein des gisements et entre les gisements.

(1) Des évolutions cœur-bord montrent une variation de XFe* d'ampleur variable, pour de très faibles variations de XCr* (Figs. 3.11 et 3.12).

C'est le cas pour la plupart des gisements de la zone de transition à Neyriz. Ceux de la partie sommitale montrent généralement une augmentation en fer vers la périphérie des grains tandis que dans ceux de la partie inférieure, XFe* peut diminuer (Tunnel 2 de Cheshmed-Bid) ou augmenter vers la bordure (Roni). L'amplitude des variations de XFe* est plus grande dans les gisements inférieurs que supérieurs sauf pour le gisement du tunnel 5 à Cheshmed-Bid. Des variations de XFe* peuvent aussi s'observer dans les gisements du manteau profond que ce soit à Neyriz ou à Assemion (Ismaeil).

A Assemion, des variations de grande ampleur du rapport XFe* de sens contraire, pour de faibles variations de XCr*, caractérisent les gisements du sommet de la zone de transition et quelques gisements à la base de cette zone. Le nombre de grains qui montrent une augmentation de XFe* du cœur à la périphérie avoisine celui qui en montre la diminution.

Les évolutions du rapport YFe* peuvent être de grande amplitude comme pour XFe*. Le plus souvent, on constate une diminution de la molécule de magnésio-ferrite vers la bordure des grains, ce qui est en accord avec la corrélation négative observée sur le diagramme XFe*-YFe* pour de nombreux grains de chromite. L'augmentation de la molécule de magnésio-ferrite est nette dans quelques gisements profonds de la zone de transition de Neyriz.

(2) Les substitutions couplées où Fe^{2+}, Mg, Cr et Al varient du cœur à la bordure des grains sont d'ampleur variable, et le sens d'évolution peut être très contrasté. A l'inverse des évolutions enregistrées au sein des gisements qui soulignent la prédominance du jeu des molécules "spinelle-chromite" sur celles des molécules "magnésio-chromite - hercynite", les évolutions où prédominent ces dernières moles sont plus fréquentes. Le jeu des moles de magnésio-chromite et hercynite rappelle l'évolution de composition observée des gisements du manteau profond à ceux de la zone de transition.

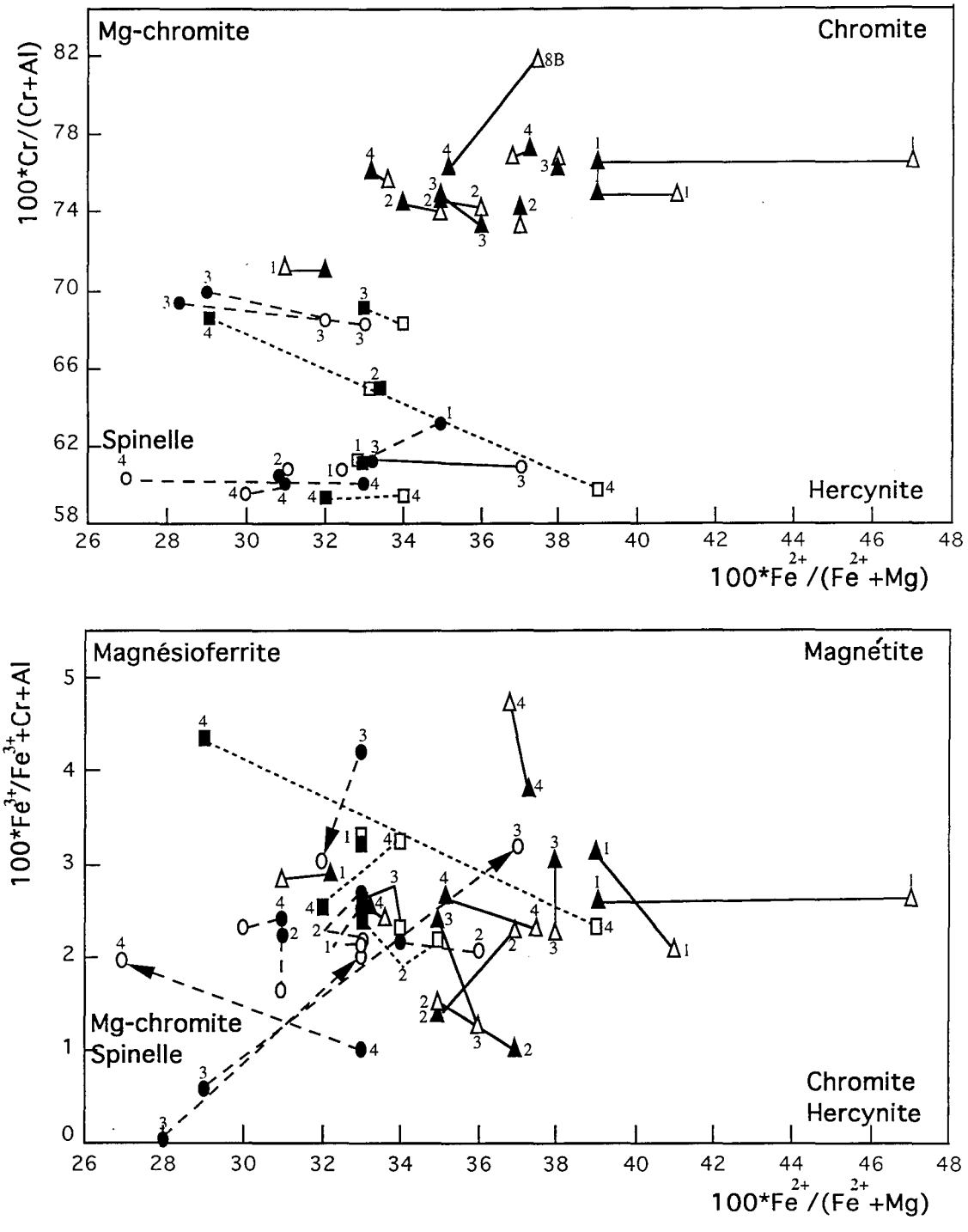


Fig. 3.11. Evolution de la composition des chromites du coeur à la bordure des grains, dans les gisements du manteau à Neyriz. Les analyses ont été effectuées au coeur (symboles pleins) et en bordure (symboles vides) des grains. Carrés, gisements profonds, 1-Anjirak, 2-Hassankhani-Anjirak, 3-Hassankhani, 4-Neypik; Cercles, gisements à la base de la zone de transition, 1-Khajeh Jamali, 2-Rajoni, 3-Roni, 4-Cheshmeh Bid Tunnel 2; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, 1-Cheshmeh Bid Tunnel 5, 2-Cheshmeh Bid Tunnel 6, 3-Cheshmeh bid Tunnel 7, 4-Cheshmeh bid Tunnel 8.

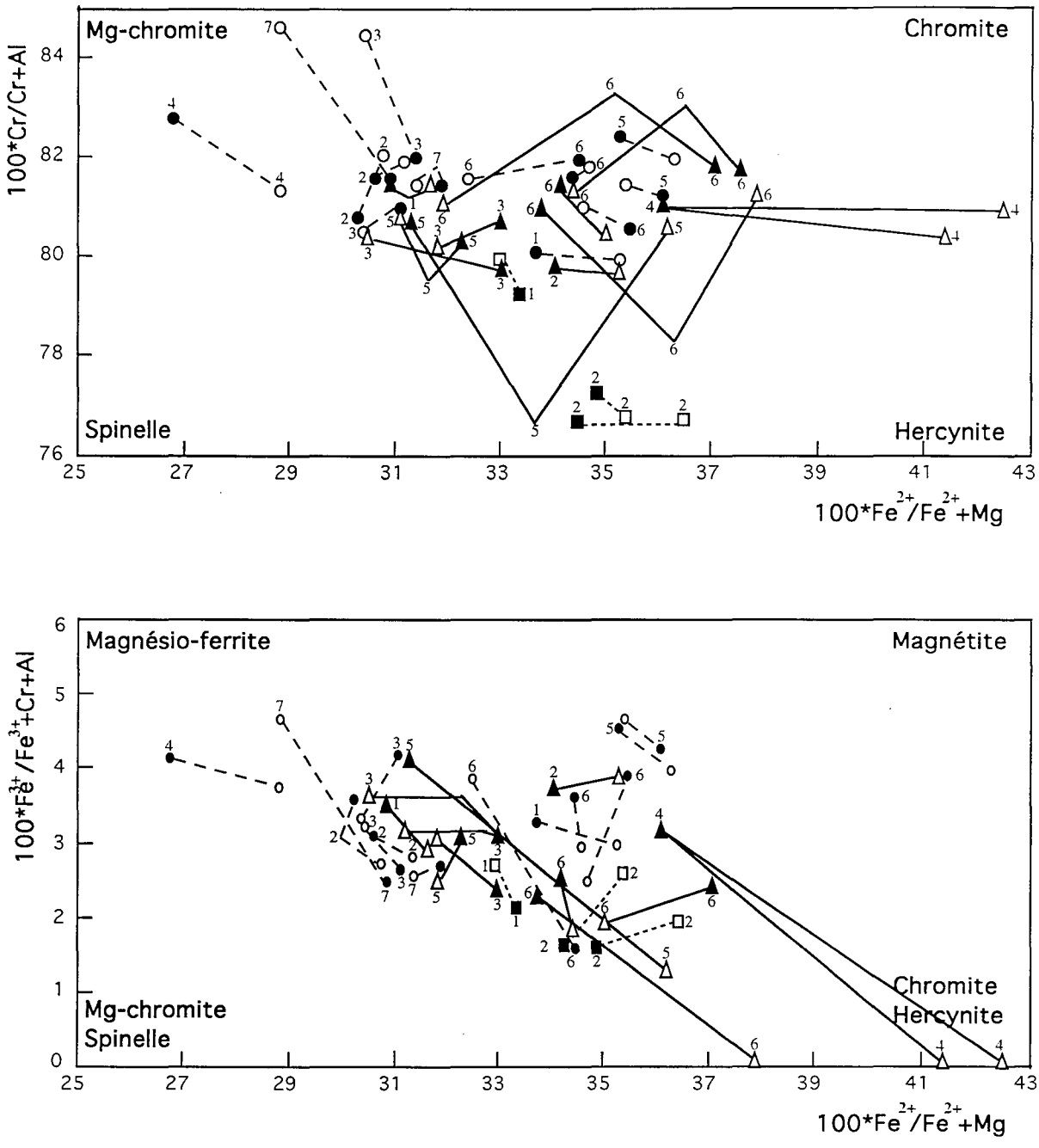


Fig. 3.12. Evolution de la composition des chromites du coeur à la bordure des grains, dans les gisements d'Assemion. Les analyses ont été effectuées au coeur (symboles pleins) et en bordure (symboles vides) des grains. Carrés, gisements profonds. 1-Reza Balla, 2-Ismaeil; Cercles, gisements à la base de la zone de transition, 1-Nazafarine, 2-Nematte, 3-Fétr, 4-Amir, 5-Chojaei, 6-Chahine, 7-Chahriar; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, 1-Yassamine, 2-Vali, 3-Bahram, 4-Ardechir, 5-Bahrsangue, 6-Doveisse.

L'augmentation de la mole de spinelle aux dépens de celle de chromite a été observée dans deux gisements à la base de la zone de transition de Neyriz (Khajeh-Jamali, Rajoni) et dans deux gisements de la zone de transition d'Assemion (Fetr, Bahram). Une augmentation de la molécule de chromite vers la périphérie d'un grain a été relevée dans le gisement supérieur de Neyriz (tunnel 8 de Cheshmed-Bid) et dans un gisement d'Assemion (Nematte), à la base de la zone de transition. Dans ce dernier cas, l'augmentation très nette de XCr* par rapport à XFe*, traduit aussi le rôle de la mole de magnésiochromite en plus de la mole de chromite lors de la croissance du grain de chromite.

Les variations du pourcentage de molécule de chromite sont accompagnées par celles des molécules de magnétite.

L'augmentation de la mole d'hercynite du cœur au bord des grains est caractéristique de quelques gisements profonds de Neyriz (Hassankhani, Neypik) et du gisement de Roni à la base de la zone de transition, l'amplitude des variations pouvant être importante (Neypik, Roni). Le gisement d'Ismaeil dans le manteau profond d'Assemion présente aussi cette évolution vers un enrichissement de la mole d'hercynite en bordure des grains. Ces variations sont accompagnées le plus souvent d'une diminution de la molécule de magnésio-ferrite.

A Assemion, les substitutions de grande amplitude observées dans les gisements à la base de la zone de transition, soulignent l'augmentation de la molécule de magnésio-chromite (Fétr, Chahriar), et plus rarement sa diminution au profit de la molécule d'hercynite (Amir). Les variations les plus grandes du pourcentage de la molécule de magnésio-chromite n'ont été observées que dans les gisements du niveau inférieur de la zone de transition d'Assemion, notamment dans ceux ayant le plus gros tonnage (> 1 000 000 t).

3.3.6. Variation de la composition des chromites au voisinage des inclusions à MGP.

La composition de la chromite à proximité des inclusions porteuses de platinoïdes a été reportée par rapport à celle du cœur et de la bordure des grains à Neyriz et à Assemion (Figs. 3.13 et 3.14). Le comportement diffère dans les deux massifs.

A Neyriz, la composition des grains de chromite à proximité des platinoïdes diffère de celles du cœur et de la bordure (Fig. 3.13). Elle est plus riche en Fe^{3+} que les compositions de chromite proche du cœur ou de la bordure des grains. On note dans de nombreux cas, une diminution brutale de Fe^{3+} de la chromite proche de l'inclusion à la bordure du grain pour de faibles variations de XFe*. Dans les

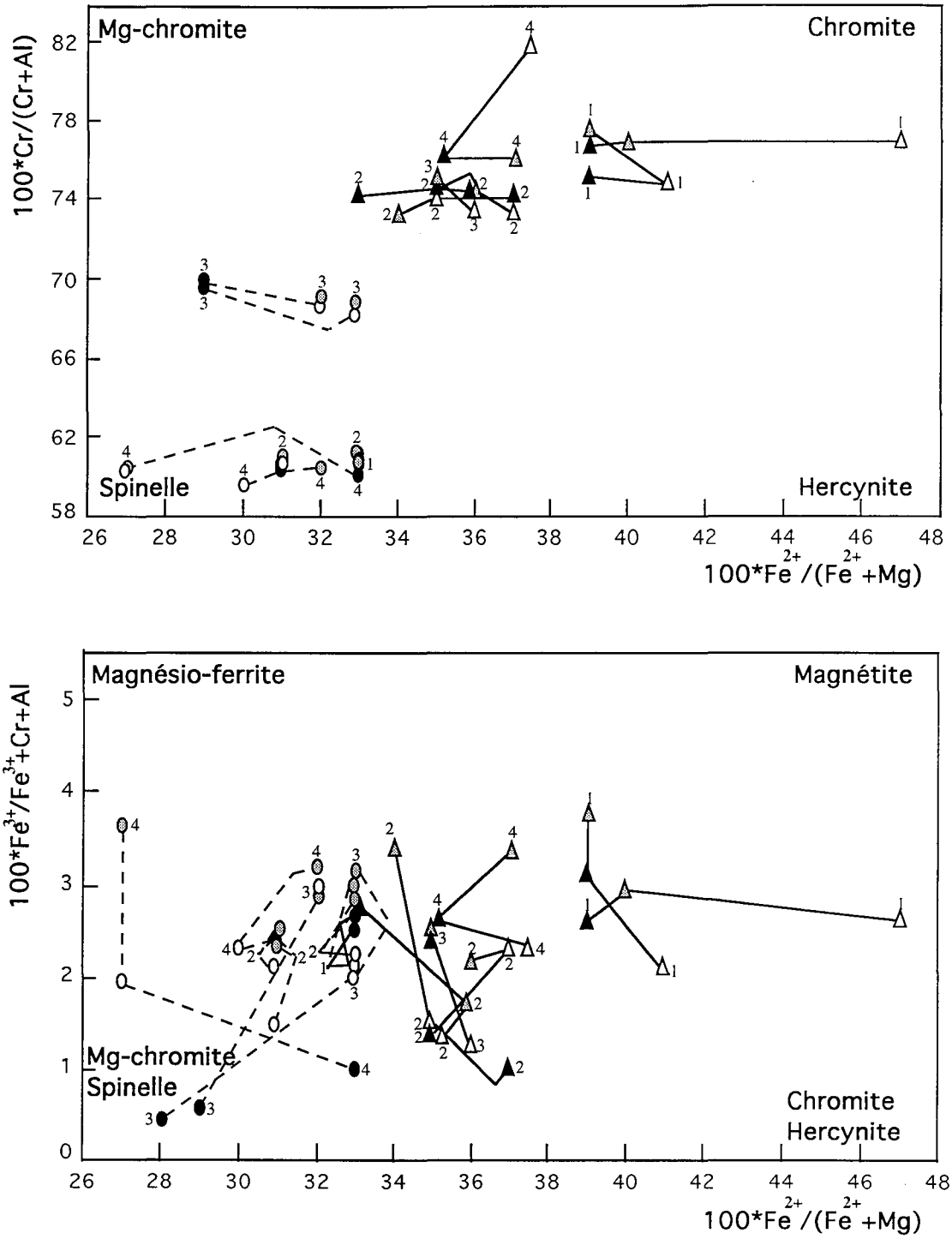


Fig. 3.13. Evolution de la composition des chromites dans les différents gisements à Neyriz. Les analyses ont été effectuées au coeur (symboles pleins) et en bordure (symboles vides) des grains de chromite en passant par un point intermédiaire près des platinoïdes (symboles gris) généralement situés à la périphérie des grains. Cercles, gisements à la base de la zone de transition, 1-Khajeh Jamali, 2-Rajoni, 3-Roni, 4-Cheshmeh Bid Tunnel 2; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, 1-Cheshmeh Bid Tunnel 5, 2-Cheshmeh Bid Tunnel 6, 3-Cheshmeh bid Tunnel 7, 4-Cheshmeh bid Tunnel 8.

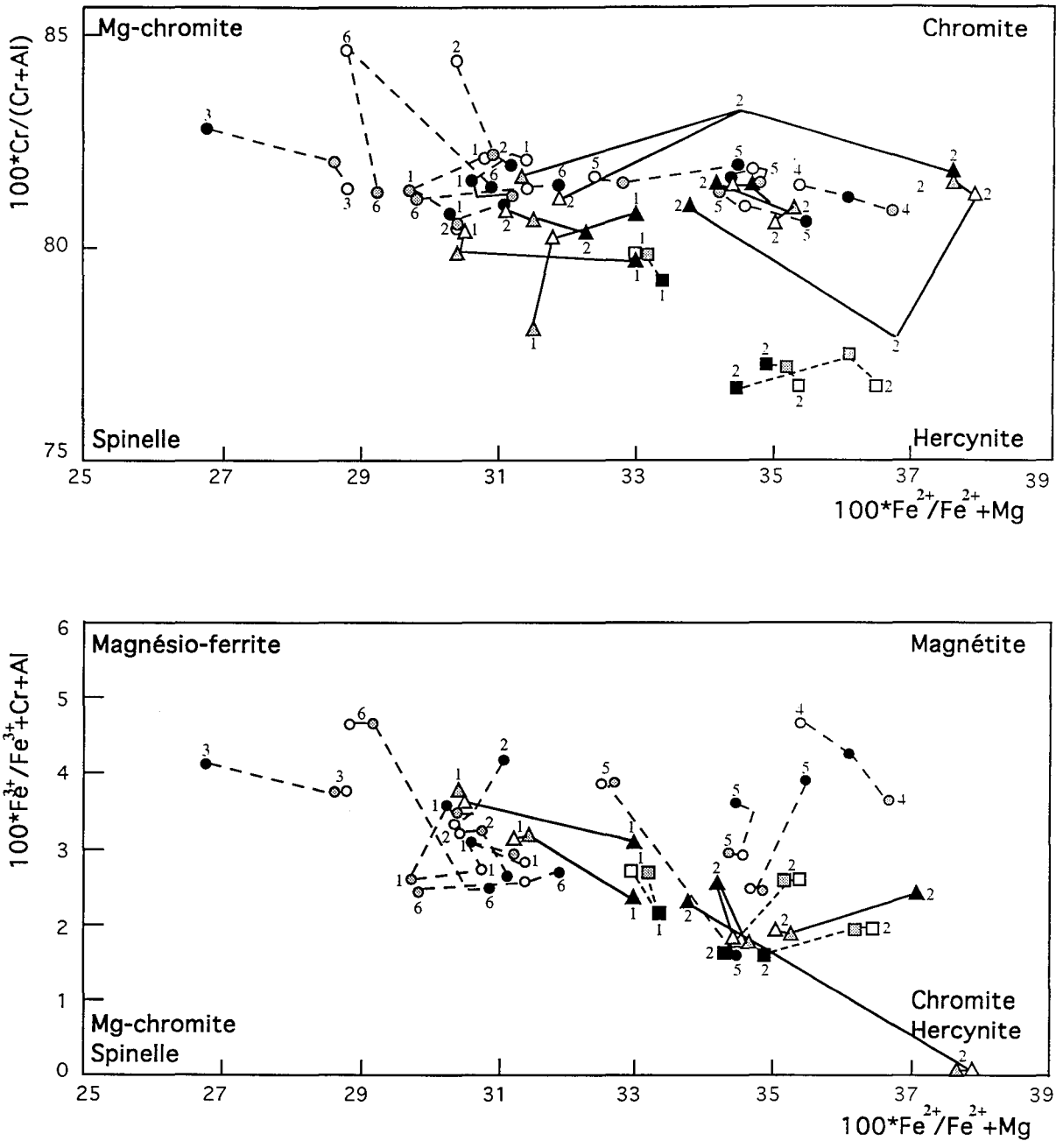


Fig. 3.14. Evolution de la composition des chromites dans les différents gisements à Assemion. Les analyses ont été effectuées au coeur (symboles pleins) et en bordure (symboles vides) des grains de chromite en passant par un point intermédiaire près des playinoïdes (symboles gris) généralement situés à la périphérie des grains. Carrés, gisements profonds, 1-Reza Balla, 2-Ismaeil; Cercles, gisements à la base de la zone de transition, 1-Nematte, 2-Fétr, 3-Amir, 4-Chojaei, 5-Chahine, 6-Chahriar; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, 1-Bahram, 2-Doveisse.

chromites où le rapport XFe* est élevé, la diminution de Fe^{3+} s'accompagne cependant d'une augmentation sensible de XFe*.

L'augmentation de Fe^{3+} du cœur du grain à la zone proche de l'inclusion peut suivre un enrichissement en mole de magnésio-ferrite (Cheshmed-Bid Tunnel 2) ou de magnétite (Roni, Cheshmed-Bid Tunnel 8) qui est parallèle aux variations de moles mises en évidence dans ces différents gisements. Les variations enregistrées sont indépendantes de la taille des chromites (Fig. 3.15 et 3.16).

A Assemion, on constate que la composition des chromites proches des inclusions se rapproche généralement de celle de la bordure du grain, un fait en accord avec la position des inclusions le plus souvent situées en bordure (Fig. 3.16). La teneur en Fe^{3+} des chromites analysées à proximité des inclusions est très variable. Elle suit les évolutions cœur-bordure des grains enregistrées dans les différents gisements. Les platinoïdes appartiennent le plus souvent à des grains montrant une augmentation couplée des moles de magnésioferrite et magnésiochromite, ou à des grains montrant une augmentation en XFe* couplée avec de faibles variations du pourcentage de spinelle s.s ou de chromite.

De légères différences de composition ont été néanmoins relevées entre la composition des chromites proches des platinoïdes et celle située en bordure. A Chojaei, la composition de la chromite proche du platinoïde est moins riche en Cr et Fe^{3+} que celle du cœur ou de la bordure (diminution des moles de magnésio-chromite et magnésioferrite). Dans deux autres cas, la composition de la chromite à côté des platinoïdes s'écarte de celle du grain pour atteindre des compositions plus magnésiennes (Nematte, Chahriar).

En dernière étape, l'amplitude des variations des rapports remarquables a été considérée par rapport à la taille des grains de chromite. A Neyriz, les variations des rapports XFe^{2+}* et YFe^{3+}* dans les chromites de petite taille sont souvent de plus grande amplitude que celle des chromites de grande taille. Les variations du rapport XCr sont faibles quelque soit la taille des grains. En revanche, à Assemion, il existe une grande variation du rapport XCr*, notamment dans les petites grains de chromite (Fig. 3.17). Les variations de XFe* et YFe* peuvent être importantes quelque soit la taille des grains.

3.4 Composition des minéraux interstitiels

A côté des spinelles chromifères et des olivines qui constituent la quasi-totalité des chromitites et dunites associées avec leurs produits de transformation secondaire issus de la serpentinisation, il existe des minéraux de nature plus variée inclus dans la

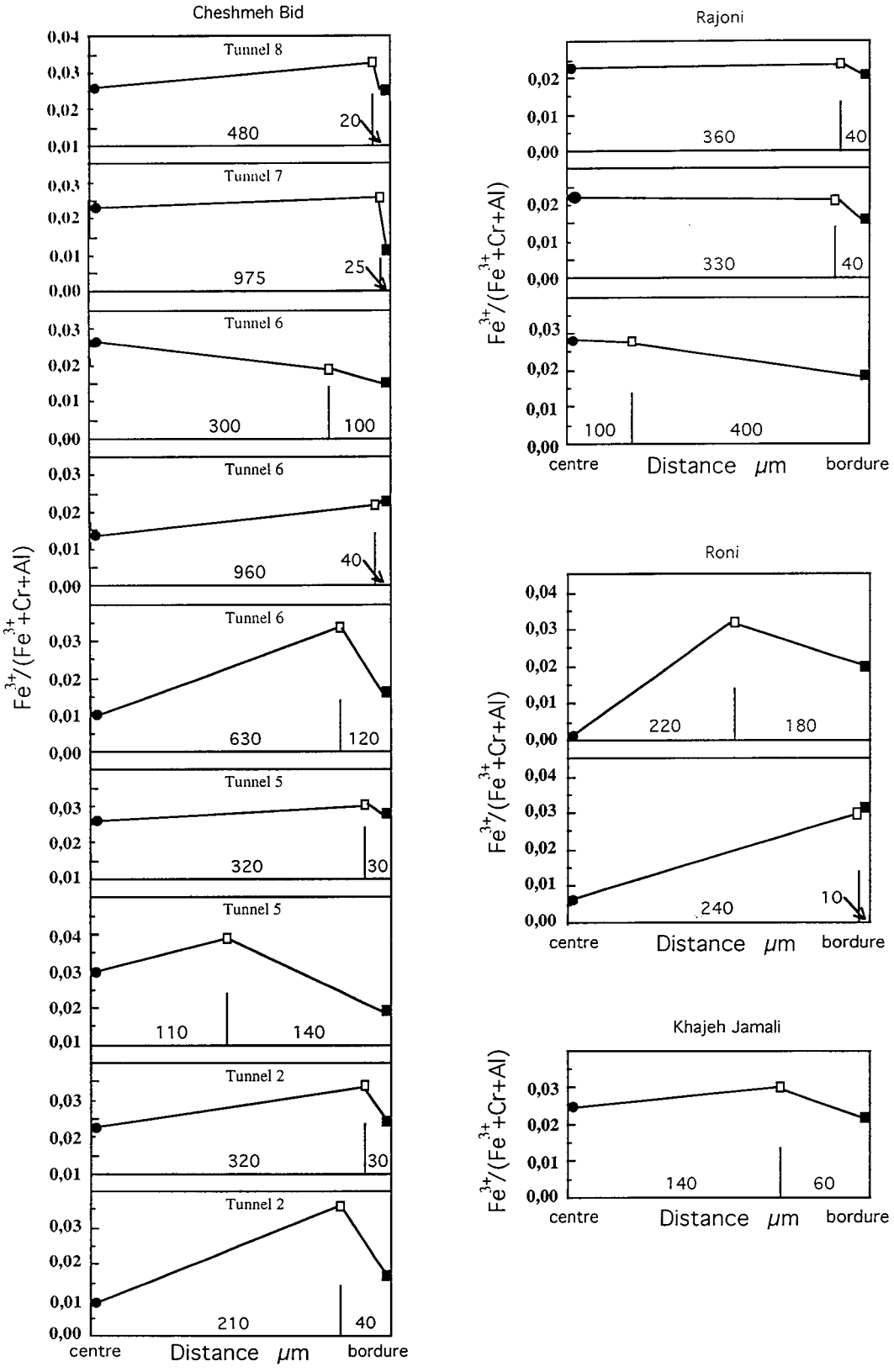


Fig. 3.15. Evolution du rapport $100*Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Cr+Al)$ du centre (cercles) au bord (carrés pleins) des grains de chromite en passant par un point intermédiaire situé près des platinoïdes (carrés vides) dans les chromites des différents gisements du massif de Neyriz. Distance en micromètre.

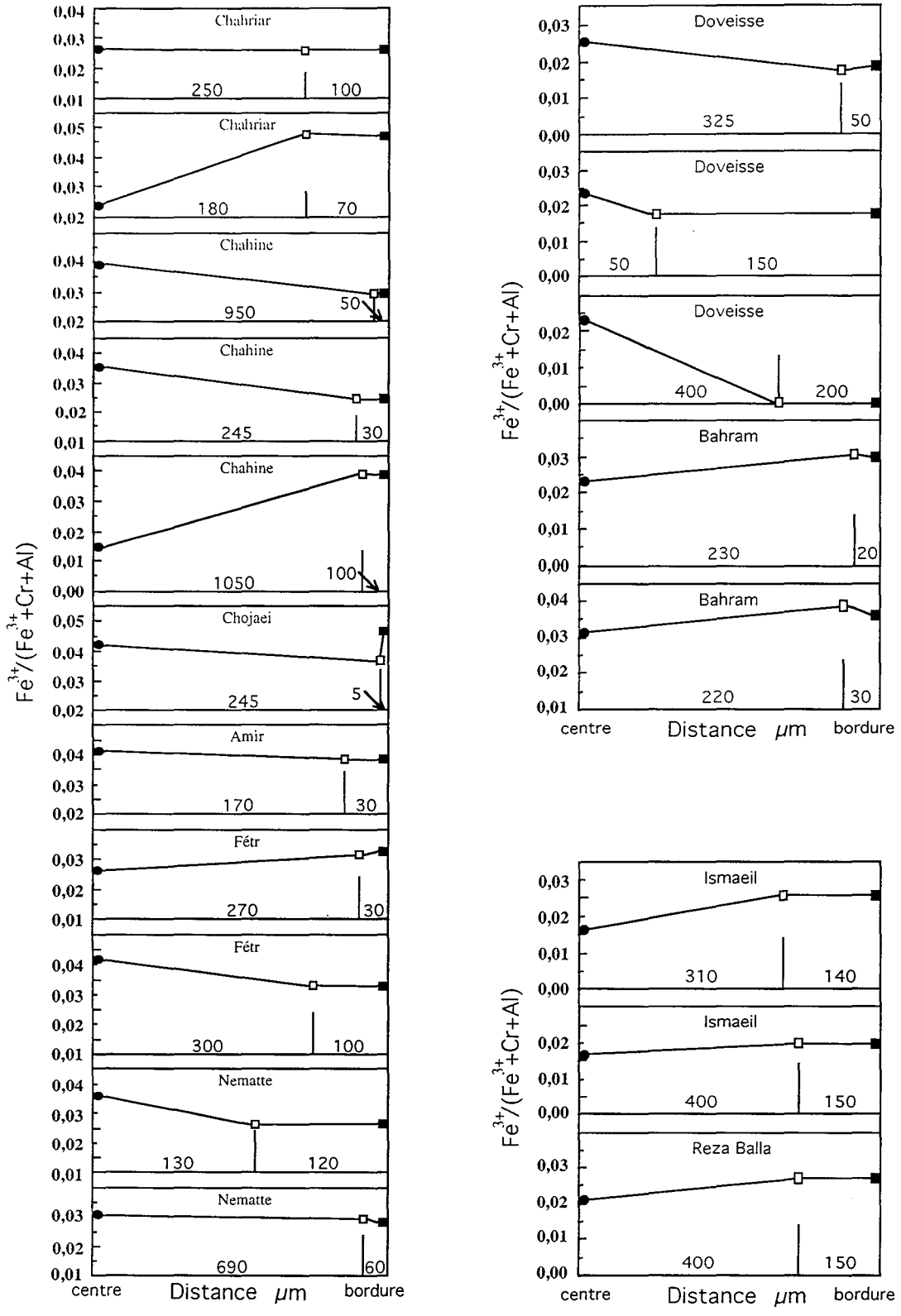


Fig. 3.16. Evolution du rapport $100*Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Cr+Al)$ du centre (cercles) au bord (carrés pleins) des grains de chromite en passant par un point intermédiaire situé près des platinoïdes (carrés vides) dans les chromites des différents gisements du massif d'Assemion. Distance en micromètre.

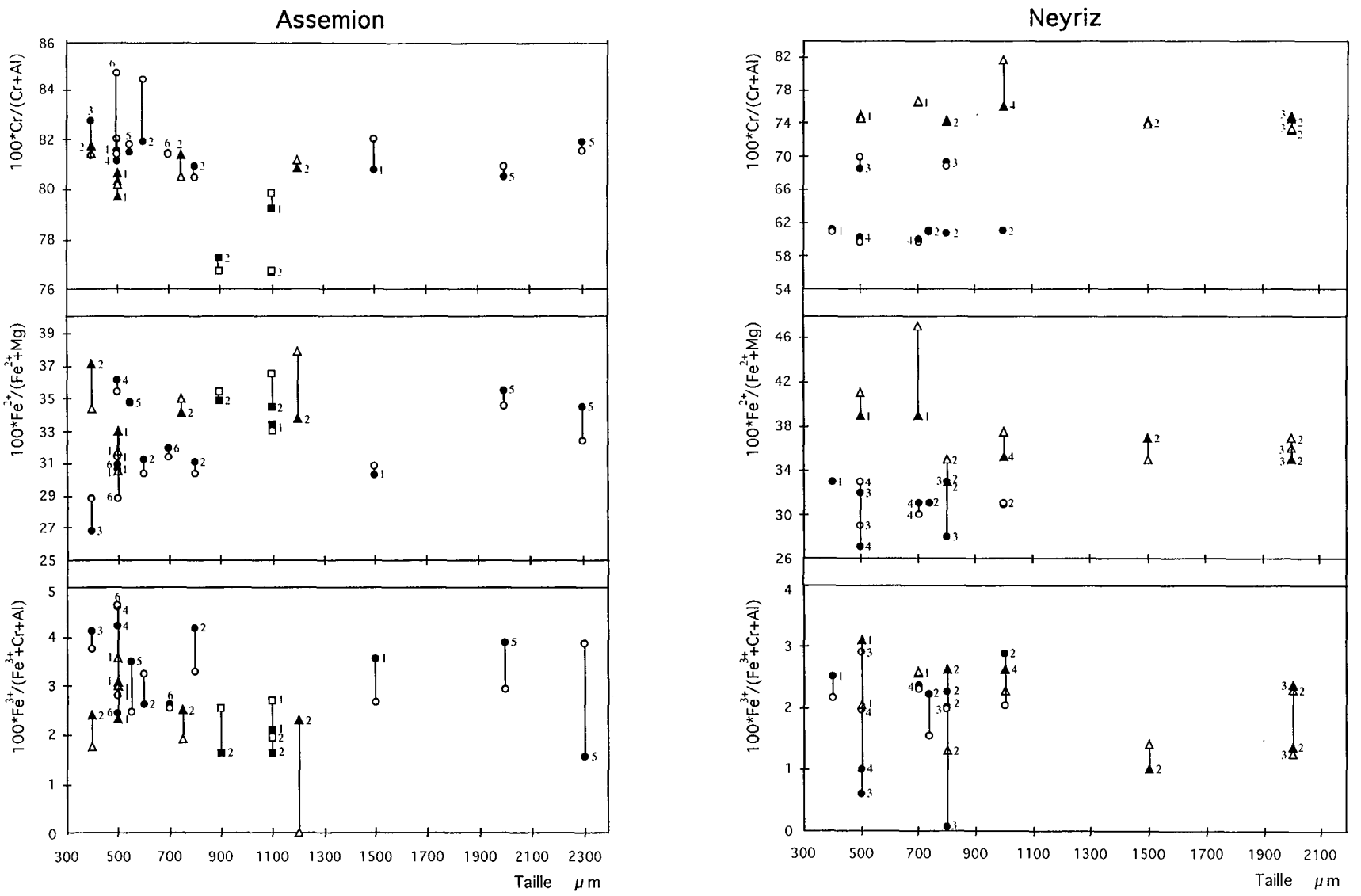


Fig. 3.17. Evolution de la composition du coeur à la bordure des chromites en fonction de la taille des grains. Les symboles pleins concernent aux compositions obtenues du coeur des grains et les symboles vides indiquent les compositions obtenues de la bordure des chromites. Carrés, gisements profonds, Assemion: 1-Reza Balla, 2-Ismaeil; Cercles, gisements à la base de la zone de transition, Assemion: 1-Nematte, 2-Fétr, 3-Amir, 4-Chojaie, 5-Chahine, 6-Chahriar, Neyriz: 1-Khajeh Jamali, 2-Rajoni, 3-Roni, 4-Cheshmeh Bid Tunnel 2; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, Assemion: 1-Bahram, 2-Doveisse, Neyriz: 1-Cheshmeh Bid Tunnel 5, 2-Cheshmeh Bid Tunnel 6, 3-Cheshmeh Bid Tunnel 7, 4-Cheshmeh bid Tunnel 8.

chromite. Ces minéraux peuvent être en inclusions dans la chromite ou en position interstitielle. Nous présentons la nature des inclusions en détail dans le chapitre suivant. Les minéraux interstitiels entre les chromites comprennent des silicates et plus rarement des sulfures, des alliages, des arséniures et des sulfoarséniures de métaux de base (voir les tableaux en annexe).

3.4.1. Les silicates

La plupart des silicates interstitiels entre les chromites sont serpentinisés. La texture des serpentines est cryptocristalline. Les silicates primaires sont principalement des olivines très magnésiennes (Tableau 3.4). Les teneurs en Fo des olivines dans le secteur de Neyriz varient entre 94,23 et 95,27, avec une valeur moyenne 94,79, et celles du secteur d'Assemion, qui varient plus que celles de Neyriz, sont comprises entre 93,80 et 96,87 avec une valeur moyenne 95,54 (Voir les tableaux en annexe).

Dans le secteur de Neyriz, les olivines des gisements profonds et des niveaux intermédiaires ont des compositions voisines alors que dans le secteur d'Assemion, la teneur minimale en Fo dans les olivines est observée dans un gisement du manteau profond et la valeur maximale appartient à une olivine d'un gisement de la zone de transition.

On constate à Assemion, que plus un gisement est riche en chromite métallurgique, plus l'olivine est forstéritique. Autrement dit la variation des teneurs en Mg des olivines évolue dans le même sens que celle du Cr des chromites, ce qui indiquerait que les chromites et les olivines sont en équilibre (Irvine 1967, McElduff et Stumpfl 1991, Orberger et al. 1995). L'augmentation de la mole de magnésio-chromite dans les chromites se fait en parallèle à celle de forstérite dans les olivines. Les faibles variations des teneurs de forstérite dans les olivines de Neyriz correspondent aux faibles variations de XFe* des chromites.

Massif	N. d'analyses*	Fo	CaO%	NiO%	MnO%
Neyriz	6	94,79 ± 0,42	0,04 ± 0,03	0,46 ± 0,03	0,10 ± 0,06
Assemion	8	95,54 ± 0,89	0,06 ± 0,05	0,44 ± 0,25	0,03 ± 0,03

Table. 3.4. Composition moyenne des olivines interstitielles à Neyriz et à Assemion. * Nombre d'analyses.

Le comportement des éléments mineurs dans les olivines des deux régions apparaît assez différent, en dépit du faibles nombres de données (Fig. 3.18). La teneur en nickel des olivines d'Assemion est assez variable, alors que celle des olivines de Neyriz est relativement constante. Le comportement de NiO suit celui de la mole de forstérite. Aux faibles variations fr Fo à Neyriz correspond de faibles variations des teneurs de NiO (moyenne 0,43 ± 0,06). Une corrélation positive peut être mise en évidence entre NiO et le pourcentage de Fo à Assemion. Elle souligne que les gisements à la base de la zone de transition qui montrent les teneurs les plus fortes en mole de magnésio-chromite dans les spinelles chromifères comportent des olivines magnésiennes riches en nickel (jusqu'à 0.8 %). A l'inverse, la teneur en CaO décroit avec l'augmentation de la mole de Fo dans les olivines.

Les teneurs de MnO peuvent être très faibles à Assemion comparées à Neyriz, les teneurs les plus élévées à Assemion étant relevées à la base de la zone de transition.

3.4.2. Les sulfures

La quantité de sulfures interstitiels dans les chromitites de Neyriz est beaucoup plus faible qu'à Assemion. Il s'agit essentiellement de sulfures de Ni, principalement l'heazlewoodite Ni_3S_2, et la millérite NiS à côté des sulfures de type pentlandite $(Ni, Fe)_9S_8$. Par contre, les sulfures de fer sont plus rares et les sulfures de cuivre très rares. La pyrite FeS_2 est observée dans quelques échantillons d'Assemion et dans un échantillon de Neyriz.

Les sulfures interstitiels sont de plus grande taille que les sulfures en association avec les platinoïdes inclus dans les chromites. Ils sont en général, de l'ordre de 10 à 50 micromètres. Plusieurs échantillons renferment des sulfures dont la taille avoisine environ 100 micromètres. Les sulfures d'Assemion sont également plus grands que ceux de Neyriz (Photo 4, Planche IX).

Les éléments du groupe du platine (EGP), en général Pd, Pt et Ir, qui sont les EGP parmi les plus solubles dans les métaux de base, sont présents en faible teneur dans les sulfures ($0 < \sum EGP < 0{,}72\%$ atom.). Nous discuterons de ces résultats dans le chapitre suivant.

3.4.3. Les alliages

Les alliages interstitiels sont présents dans la phase silicatée. Ils se trouvent soit associés aux sulfures, comme minéraux hôtes, soit sous forme de minéraux isolés. Ils

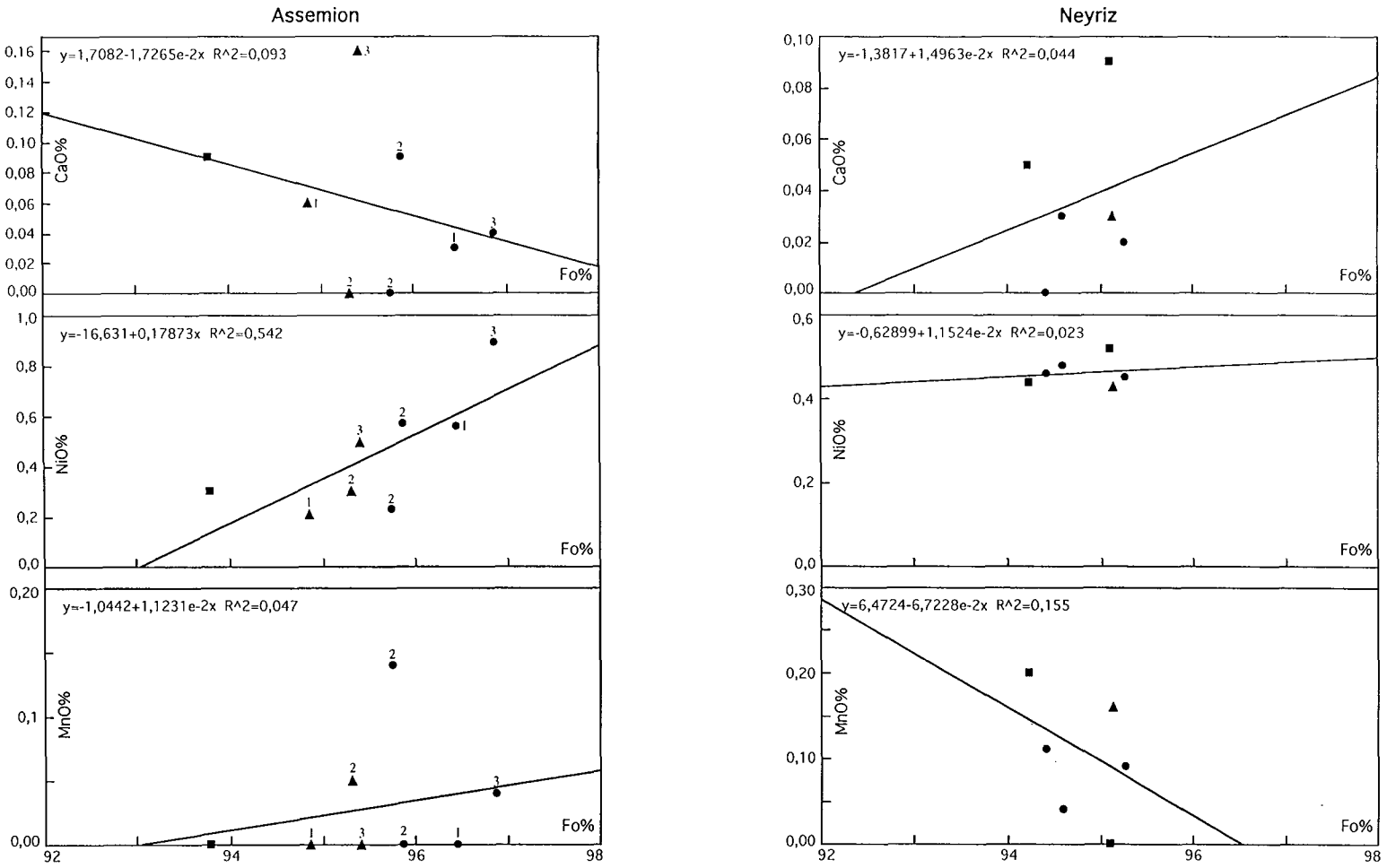


Fig. 3.18. Distribution des teneurs de CaO, NiO et MnO en fonction du pourcentage molaire de forstérite dans les olivines des gisements de chromite. Carrés, gisements profonds, Assemion: Reza Vassate, Neyriz: Neypik; Cercles, gisements à la base de la zone de transition, Assemion: 1-Nematte, 2-Chojaie, 3-Chahriar, Neyriz: Rajoni; Triangles, gisements au sommet de la zone de transition, Assemion: 1-Bahram, 2-Bahrsangue, 3-Doveisse, Neyriz: Cheshmeh Bid Tunnel 7.

apparaissent comme des minéraux brillants avec une couleur blanche jaunâtre sous le microscope métallographique.

Ils se forment probablement lors de la transformation des sulfures pendant la serpentinisation. L'étude plus précise au MEB nous a permis d'observer les traces de désulfuration de ces minéraux. Dans ce cas les alliages apparaissent comme des minéraux poreux (Photos 7 et 8, planche IX). Ce sont toujours des alliages de Ni et de Fe du type awaruite (Ni_3Fe), et de taenite g -(Ni,Fe). La composition dans ce dernier cas est voisine de Ni_4Fe. Les alliages ont la même taille que les sulfures initiaux. Ils renferment également de faibles teneurs en EGP ($0,04 < \sum EGP < 0,78\%$ atomique). Dans deux échantillons d'Assemion, nous avons observé un alliage de nickel quasiment pur avec une composition de ($Ni_{86,93}Fe_{7,43}Cu_{5,64}$) (moyenne de 2 analyses) (échantillon 36A), et un alliage de fer quasiment pur avec la composition de ($Fe_{97,96}Ni_{2,03}$) (moyenne de 2 analyses) (échantillon 25A).

3.4.4. Les sulfoarséniures

Il s'agit de sulfoarséniures de Fe, de type arsénopyrite (FeAsS), qui n'ont été observés qu'à Assemion, et seulement en interstices (Photo 6, Planche IX). Ils sont de petite taille et assez rares. Ces minéraux renferment également des teneurs en EGP significatives ($0,09 < \sum EGP < 0,40\%$ atom.).

3.4.5. Les arséniures

Il existe quelques arséniures de Ni qui n'ont été observés qu'à Assemion dans plusieurs niveaux de la séquence ultramafique. Il s'agit de la mauchérite $Ni_{11}As_8$. qui n'existe qu'en interstices. Ceci indiquerait une formation tardive des arséniures par rapport aux chromites et autres minéraux inclus. Les arséniures sont moins abondants que les sulfures et les alliages de métaux de base. Ils sont de taille réduite. Ils contiennent les éléments du groupe du platine en teneur assez remarquable, jusqu'à 0,66% poids ($0,14 < \sum EGP < 0,66\%$ atomique).

3.5. Résumé - Discussion- Proposition de modèle

3.5.1. Résumé - Discussion

L'évolution cryptique de la composition des chromites fait intervenir le jeu de plusieurs molécules: celles de spinelle, chromite, magnésio-chromite, hercynite, magnétite et magnésio-ferrite. Le rôle de ces molécules peut être mis en évidence à différentes échelles d'observation: d'une zone de gisement à une autre, d'un gisement à

l'autre, au sein des gisements et du cœur à la périphérie des grains de chromite. Le jeu contrasté de ces différentes molécules permet d'expliquer la diversité de composition des gisements, et les évolutions très variées enregistrées du bas vers le haut des deux séquences ultramafiques étudiées, celles de Neyriz et d'Assemion. Les évolutions de la composition des chromites sont marquées soit par une grande variation de XFe* pour de faibles variations de XCr*, qui traduit le jeu couplé des moles de spinelle et de magnésio-chromite, ou des moles de chromite et hercynite, soit par des variations couplées de XFe* et XCr* qui soulignent le jeu contrasté des couples de moles spinelle-chromite et magnésio-chromite - hercynite.

La teneur en chrome des gisements augmente généralement vers le Moho. Cette augmentation en chrome est quelquefois interrompue par la réapparition de gisements alumineux, comme à la base de la zone de transition à Neyriz et au sommet de cette même zone à Assemion. On constate néanmoins que les plus gros gisements sont situés dans la zone de transition et que les gisements les plus riches en chrome se sont formés après les gisements alumineux du manteau profond (Assemion) ou de la zone de transition (Neyriz).

L'augmentation de la teneur en chrome des gisements avec la stratigraphie est principalement contrôlée par l'augmentation de la molécule de chromite à Neyriz, et par celle de magnésio-chromite à Assemion. L'augmentation de la mole de magnésio-chromite avec la stratigraphie, va de pair avec un enrichissement en Fe^{3+}, exprimé par l'augmentation des moles de magnésio-ferrite. Le comportement de Fe^{3+} est moins régulier à Neyriz bien que l'on observe généralement une augmentation de la mole de magnétite avec celle de chromite.

Le jeu préférentiel de ces molécules avec la stratigraphie contraste avec celui observé au sein des gisements, notamment du cœur à la périphérie des gisements (fluctuations de XFe*; jeu du couple spinelle-chromite). De même, il n'y a pas toujours superposition entre l'évolution montrée par les variations cœur-bord des grains de chromite et celle définie par l'enveloppe des gisements, ou par celle d'un gisement (Figs. 3.11 et 3.12). Les variations cœur-bord des grains reprennent le plus souvent celles observées à grande échelle.

Le comportement contrasté de ces différentes molécules à Neyriz et Assemion peut être revu en suivant l'évolution des gisements avec la stratigraphie.

A Neyriz, l'enveloppe des gisements et les évolutions cœur-bordure des grains soulignent le rôle de la molécule d'hercynite sur la formation des gisements profonds (Neypik). Cependant, l'évolution au sein des gisements est localement contrôlée par la molécule de spinelle. A Assemion, l'enveloppe des gisements du manteau profond est

marquée par de fortes variations du rapport XFe* pour de faibles variations de XCr* (Fig. 3.8). L'évolution au sein des gisements est marquée par les moles de spinelle et de chromite tandis que l'évolution au niveau des grains est contrôlée par le couple magnésio-chromite - hercynite, montrant un enrichissement soit en Cr, soit en Al, ou par des variations de XFe*.

L'enveloppe des gisements à la base de la zone de transition est étirée le long de l'axe XFe*. A Neyriz, l'évolution des gisements est encore contrôlée par la molécule d'hercynite, bien que les évolutions cœur-bordure des grains montrent une diversité d'évolution qui soulignent toujours le rôle de la mole d'hercynite (Roni) mais aussi le rôle de la mole de spinelle (Khajeh Jamali) ou encore les fluctuations du rapport XFe* (Cheshmed-Bid Tunnel 2), parallèlement à l'axe d'allongement de l'enveloppe des gisements. A Assemion, l'évolution au sein des gisements (les plus volumineux du massif) est principalement contrôlée par le rapport XFe*, tandis que les fluctuations de composition cœur-bordure des grains de spinelle soulignent un enrichissement en mole de magnésio-chromite (± chromite) et plus rarement, un enrichissement en mole de spinelle ou d'hercynite.

Dans les gisements au sommet de la zone de transition, seules persistent les variations du rapport XFe* à Assemion, et ceci à toutes les échelles. A Neyriz, l'allongement de l'enveloppe des gisements du sommet de la zone de transition et l'évolution de la plupart des gisements sont contrôlés par le jeu des moles de chromite et de spinelle. Il y a souvent augmentation de la mole de chromite dans les gisements situés les plus hauts dans la zone de transition. Les variations de la mole de magnésio-chromite contrôlent les relations inter-gisement, c.a.d. le passage d'un gisement à un autre. Le jeu contrasté des couples spinelle-chromite et magnésio-chromite-hercynite explique l'élargissement de l'enveloppe. Les fluctuations du rapport XFe*, souvent accompagnées d'une forte variation de la molécule de magnésio-ferrite, caractérisent les évolutions cœur-bord des grains de chromite.

3.5.2. Contrôle sur l'évolution des gisements - Origine

Le jeu en différé des substitutions magnésio-chromite - hercynite d'une part et spinelle - chromite d'autre part, de même que les fluctuations de XFe* rendent compte du domaine de composition des chromites des gisements observés à Neyriz et Assemion.

Ainsi, dans un système minéralisant, si les gisements qui se forment successivement sont contrôlés par la molécule de magnésio-chromite et de chromite, leur projection sur un diagramme XFe*-XCr* montrera une grande amplitude des variations de XCr* et une faible variation de XFe*. Des caractéristiques semblables sont obtenues avec le couple spinelle - hercynite mais le sens d'évolution est différent.

Selon le couple de molécule qui prédomine lors de la formation des gisements, ceux-ci évolueront vers un pôle métallurgique ou réfractaire.

Par contre, si le système est contrôlé par le jeu du couple chromite-hercynite ou magnésio-chromite-spinelle, la projection des gisements montrera une faible variation de XCr* pour une plus forte variation de XFe*, avec dans un cas des gisements évoluant vers un pôle riche en fer, et dans l'autre cas vers un pôle riche en Mg.

L'amplitude des variations des rapports remarquables XFe* et XCr* est différente dans les deux massifs et est résumé dans le tableau 3.5.

		Assemion	Différence	Neyriz	Différence
Domaine de	XFe*	28-42	14	28-42	14
Variation	XCr*	76-82	6	59-83	24
Molécule		Mg-Chr-Sp Chr-Hcy		Mg-Chr-Chr Sp-Hcy	
Grande échelle (Stratigraphique)		Mg-Chr		Chromite	
Petite échelle (Coeur-Bord)					
Gisements	Sommitals	Chr-Hcy		Hercynite	
Gisements	Basals	Mg-Chr		Spinelle	
Gisements	profonds	Chr+Hcy		Chr+Hcy	
		Mg-Chr+Sp		Chromite	

Table. 3.5. Amplitude de variations des rapports XFe* et XCr* dans les deux massifs étudiés. Comparer l'évolution minéralogique dans les deux régions.

A Neyriz, l'amplitude majeure des variations des paramètres concerne le rapport XCr* impliquant le jeu des couples spinelle-chromite et magnésio-chromite-hercynite. A Assemion, les variations du rapport XMg* prédominent avec le jeu des couples magnésio-chromite-spinelle, chromite - hercynite, et magnésio-chromite-hercynite.

Les évolutions cœur-bord des minéraux ont l'avantage de caractériser le sens d'évolution des principaux couples de molécules et de donner ainsi des informations sur l'évolution du système minéralisant, au moins à l'échelle du gisement. L'augmentation du rapport XFe* qui prédomine à Neyriz peut être liée soit à un processus de serpentinisation, soit à un processus de cristallisation fractionnée. Selon

la nature des spinelles chromifères successivement formés, le système minéralisant résiduel s'enrichit relativement soit en Al, soit en Cr.

La diminution de YFe^{3+} exclue dans de nombreux cas, un processus de serpentinisation. Un tel processus est également exclu lorsque l'évolution cœur-bord des chromites montre un enrichissement en Mg*. Des réactions subsolidi pourraient expliquer la diminution de XFe*, et l'augmentation de la mole de spinelle en bordure des grains par des processus de diffusion impliquant le manteau hôte. Les teneurs en Mg* des chromites sont liées à la température de formation, que les chromites cristallisent à partir d'un magma ou qu'elles recristallisent lors d'un métamorphisme de hautes températures. Dans le premier cas, la présence de gisements à forte proportion de mole de magnésio-chromite indiqueraient une origine à partir d'un magma magnésien, lui-même issu d'une source appauvrie entrainée dans un processus de fusion par une élévation de températures.

On peut aussi faire diminuer le rapport XFe* d'un magma par un mélange de magmas dont l'un est évolué et l'autre peu (Irvine et al. 1983, Murck et Campbell 1986). Le fait que les chromitites soit en filon ou couche au sein de la péridotite rend douteuse l'efficacité d'un mélange de magmas pour rendre compte des fluctuations de XFe*, comme cela est couramment proposé dans les intrusions rubanées.

Les différentes évolutions cryptiques des chromite ont été observées à toute les échelles et peuvent le mieux s'expliquer par des variations physico-chimiques au sein du ou des système(s) minéralisant(s). Ceci n'exclue pas que localement certains effets aient pu être amplifiés par des processus de cristallisation magmatique, de recristallisation subsolidi ou de serpentinisation (Melcher, 1997). La diversité d'évolution des spinelles à différents niveaux de la pile d'ultramafites soulignerait néanmoins la complexité des réactions entre spinelle chromifère et système minéralisant.

Le jeu opposé des différentes molécules rendrait compte, de la présence de gisements très riches en chrome à Assemion et de celle de gisements, soit alumineux, soit chromifères à Neyriz. On notera tout particulièrement que les plus gros gisements, ceux à la base de la zone de transition à Assemion sont caractérisés par une évolution qui n'existe pas dans les autres gisements étudiés: celle mettant en jeu le rôle de la molécule de magnésio-chromite. Cette évolution caractérise la passage des gisements profonds aux gisements de la zone de transition et souligne ainsi l'évolution du système minéralisant marquée par un enrichissement du milieu en Cr, Mg et Fe^{3+} avant et pendant la formation des gros gisements. De même à Neyriz, les relations intergisements au sommet de la zone de transition (qui renferment les plus gros gisements de Neyriz) soulignent le rôle des molécules de magnésio-chromite et magnésio-ferrite. L'augmentation de Cr, Mg, Fe^{3+} dans le milieu apparaît donc

caractéristique des fortes concentrations de chromite. L'augmentation de Cr et Mg peut être lié à un processus de fusion entrainant un manteau plus appauvri que celui ayant donné naissance aux gisements réfractaires. L'augmentation en Fe^{3+} souligne l'importance de l'oxydation du milieu qui pourrait être liée à un épisode de fusion facilité par le rôle des fluides.

Les variations du rapport XFe* sont liées à la composition du système, à sa température et aux variations de la fugacité en oxygène. En augmentant la fugacité en oxygène dans un milieu magmatique, une partie du fer est oxydée. Le rapport XFe* des minéraux mafiques qui cristallisent à partir de ce magma diminue par suite de la diminution de Fe^{2+}. On peut donc déduire que l'oxydation d'un milieu est enregistrée dans les spinelles par l'augmentation du rapport XMg* et par celle de Fe^{3+}, ce qui correspond à l'augmentation de la mole de magnésio-ferrite, illustrée par la corrélation négative entre YFe^{3+} et XFe*.

Les variations contrastées du rapport Fe/Mg avec la stratigraphie dans les deux massifs traduiraient des conditions d'oxydation différente dans le manteau, a priori plus élevée à Assemion, pour rendre compte de la diminution du rapport Fe/Mg vers les gisements de la zone de transition inférieure. A Assemion, un processus d'oxydation majeur du sytème minéralisant interviendrait lors du passage du manteau profond à celui de la zone de transition.

L'augmentation des teneurs de Cr dans la chromite peut être liée à des variations du coefficient de partage entre spinelle et système minéralisant, qui augmente avec la fO_2. On peut aussi envisager que sous plus fortes fO_2, les interactions entre système minéralisant et l'encaissant d'ultramafites ont été plus actives, conduisant à un plus grand taux de fusion avec augmentation du chrome libéré à partir des pyroxènes ou des spinelles, ou bien à des fusions locales de matériel plus appauvri, donc aux minéraux plus riches en chrome. Les différents effets liés à l'augmentation de la fO_2 peuvent s'additionner pour donner un système minéralisant plus riche en chrome ou favorisant la cristallisation de chromite plus métallurgique.

3.5.3. Modèle de la formation des gisements de chromite dans les ophiolites de Neyriz et d'Assemion

Lors de l'ascension asthénosphérique à l'aplomb d'une dorsale, il y a fusion du manteau supérieur. Le dégré de la fusion partielle peut augmenter en réponse à la diminution de pression, ce qui peut entraîner vers la surface la formation de magmas peu évolués. Le chrome peut se libérer du résidu mantellique par la fusion incongruente des diopsides chromifères et des spinelles chromifères (Malpas et Strong, 1975; Kelemen et al., 1992). On constate que les magmas picritiques ou

boninitiques sont de très bons candidats pour la formation des gisements de chromites métallurgiques dans les ophiolites (Roberts 1988; Roeder et Raynolds 1991; Orberger et al., 1995).

L'existence d'un système minéralisant lié à l'ascension d'un magma vers le Moho, conduit au dépôt de gisements à différentes profondeurs. Il implique le couplage de dépôt successifs de chromite de composition variable et la recharge du système minéralisant après interaction avec le manteau encaissant. Ces interactions ont lieu sous des conditions différentes, notamment en fO_2 pour rendre compte des fluctuations de XFe*, qui est autrement tamponné par la péridotite encaissante. Il semble qu'avec le développement du système minéralisant, il y ait augmentation de la masse de péridotite concernée par les interactions avec le fluide, un fluide riche en alcalins avec une grande activité en H_2O, permettant à une plus grande quantité de chrome et de magnésium de passer dans le fluide minéralisant (Kelemen et al., 1992). La source de ce fluide est probabalement à rechercher dans la déshydration des sédiments de la croûte océanique subductée (Roberts, 1988; Kelemen et al., 1992: Melcher, 1997). Ces fluides renfermant des éléments constitutifs des silicates seraient caractérisés par une haute alcalinité pour une pression > 10Kbar. Ils pourraient être la cause da la fusion multistade du manteau supérieur. Un taux de fusion d'environ 42% est nécessaire pour obtenir une dissolution complète du clinopyroxène de manteau pyrolitique, et un taux supérieur à 60% est nécessaire pour obtenir une dunite sans orthopyroxène (Kostopoulos, 1991). Il est dificile d'envisager un seul épisode de fusion pour obtenir un résidu sans orthopyroxène. On propose pour la formation des dunites que la fusion soit accompagnée de la percolation d'un fluide. La composition voisine des olivines des dunites et les harzburgites (voir le chapitre II) ne cadre pas avec l'hypothèse d'un seul épisode de fusion (Orberger et al., 1995).

L'augmentation du stock de chrome dans le magma aboutit une fois la saturation en Cr atteinte, par diminution de température ou par augmentation de fO_2, au dépôt massif de chromite métallurgique (Roeder et Reynolds, 1991). Un gros gisement ou une multitude de gisement pourra se former selon les fluctuations des paramètres contrôlant la solubilité du chrome.

Le passage d'un gisement à l'autre avec la stratigraphie est généralement marqué par une augmentation en chrome, plus ou moins accompagnée d'une variation de XFe* et de Fe^{3+}. Sous fortes fO_2, il y aura dans le système minéralisant une plus grande disponibilité du chrome qui conduira lors du déplacement du fluide vers le Moho à la naissance de dépôts où la chromite est plus riche en Mg, Cr et Fe^{3+} que les gisements sous-jacents. Selon les fluctuations de fO_2 et l'effet tampon du manteau, le rapport XFe des gisements variera.

La cristallisation des gisements peut être marquée par une grande variation de fO_2 induisant de grandes variations de XFe* et YFe^{3+}. Elle peut aussi être marquée par une diminution du chrome et une augmentation en Al qui traduit l'appauvrissement en chrome du système minéralisant (Roeder et Reynolds, 1991). Cette dernière réaction peut expliquer la présence de gisements plus alumineux à la partie supérieure de la zone de transition d'Assemion. Elle traduit en fait la fin du processus minéralisant dans l'écaille mantellique. Celle-ci intervient à proximité du Moho en raison d'une baisse de température à la partie supérieure du manteau proche du plancher océanique, ce qui empêche le processus de fusion du manteau ou l'interaction fluide-manteau de se maintenir.

Irvine (1977) propose un phénomène de mélange entre deux magmas pour expliquer la formation des gisements de chromites massives sans la dilution par les silicates. Dans ce mécanisme, le mélange entre deux magmas peut inhiber la cristallisation fractionnée des silicates comme l'olivine et l'orthopyroxène et en revanche permet la cristallisation de la seule chromite (Fig. 3.19). Comme l'indique la figure 3.19 le mélange entre le magma A et le magma D, un sur le cotectique olivine-chromite et l'autre dans le champ de l'orthopyroxène forme le magma hybride AD. Ce magma est au-dessus ou sur la surface du liquidus des silicates et dans le champ du spinelle. Dans ce cas la chromite cristallise seule et la composition du magma se déplace vers le point X. A cette étape, l'olivine cristallise à côté de la chromite.

L'existence d'un mélange de magma dans des conduits ou des mini-chambres est difficile à envisager pour la mise en place des filons de chromite. Une autre hypothèse magmatique consiste à envisager un processus d'immiscibilité.

L'étude des systèmes expérimentaux à trois ou quatres phases a montré la coexistence d'un liquide riche en chrome à coté d'un liquide silicaté. Fischer (1950) montre que le liquide riche en chrome peut se séparer du liquide silicaté à 1400°C. La figure 3.20 montre une zone d'immiscibilité à 1700° C sous une pression d'une atmosphère. Il existe également des arguments pour soutenir l'hypothèse de l'injection de liquides riches en chrome dans les roches hôtes (Fischer, 1950; Fourrie, 1959; McChesney et Muan, 1960; Roy, 1960; Thayer, 1964; McDonald, 1965; Chakraborty et Mallik, 1971; Dickey, 1975; Irvine, 1977).

Dans tous les cas ce phénomène d'immiscibilité se produit à des températures très élevées. En raison de ces températures, cette hypothèse de formation des liquides riches en chrome est très débattue. La présence de volatils dans un magma peut également provoquer la formation de liquides non miscibles à des températures plus basses. En ajoutant le fer, l'aluminium et le calcium au système $MgO-Cr_2O_3-SiO_2$, le phénomène d'immiscibilité entre le liquide silicaté et le liquide oxydé peut apparaître à de plus basses températures (Dickey, 1975). La présence d' amphiboles, de pyroxènes

calciques et des chlorites incluses dans la chromite des gisements étudiés (voir le chapitre IV) est un indicateur d'une forte présence des volatils surtout en ions hydroxyles. L'existence d'une forte activité de l'eau peut augmenter le champ de stabilité de l'olivine aux dépens de l'orthopyroxène dans le système Fo-En-SiO_2. Dans un magma, même boninitique riche en silice, l'olivine cristallise au lieu de l'orthopyroxène (Orberger et al. 1995). Les magmas riches en éléments volatils peuvent aussi permettre la cristallisation de la chromite à basses temperatures <1100°C (Melcher, 1997).

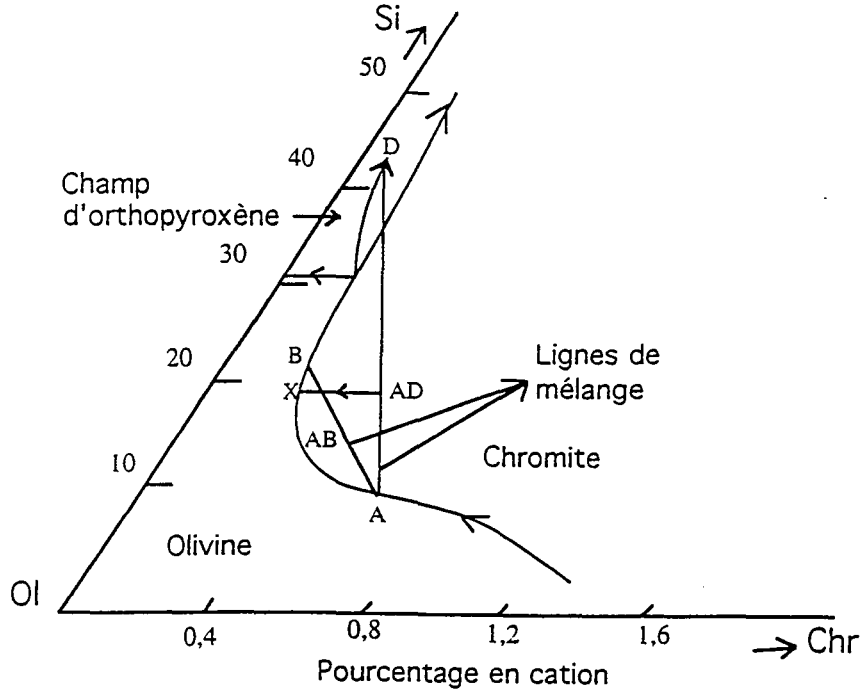


Fig. 3.19. Les relations de phases dans le système olivine-chromite-silice montrant le chemin suivi par le liquide au cours du refroidissement ainsi que les phases au liquidus. Le mélange d'un magma A peu fractionné avec un magma plus évolué B ou D, donne un liquide de composition intermédiaire respectivement AB et AD, qui tombe dans le volume primaire de la chromite. D'après Irvine (1977).

La présence de chromitites riches en Cr, parfois quasiment pures, et également la présence de contacts très nets entre les chromitites et les roches encaissantes, permettent de préférer un phénomène d'immiscibilité de liquides pour la génèse des gisements de chromites. Ce processus peut s'accompagner d'une interaction complexe entre un fluide et un magma riche en chrome, puisque un simple procédé de sédimentation ou d'accumulation de cristaux ne peut pas expliquer les corps aussi purs en chromite. La présence de minéraux extrêmement magnésiens qui accompagnent la

formation des chromitites montre que le magma parent s'est formé par un fort taux de fusion partielle. La composition de ces minéraux est incompatible avec une cristallisation à partir d'un magma basaltique.

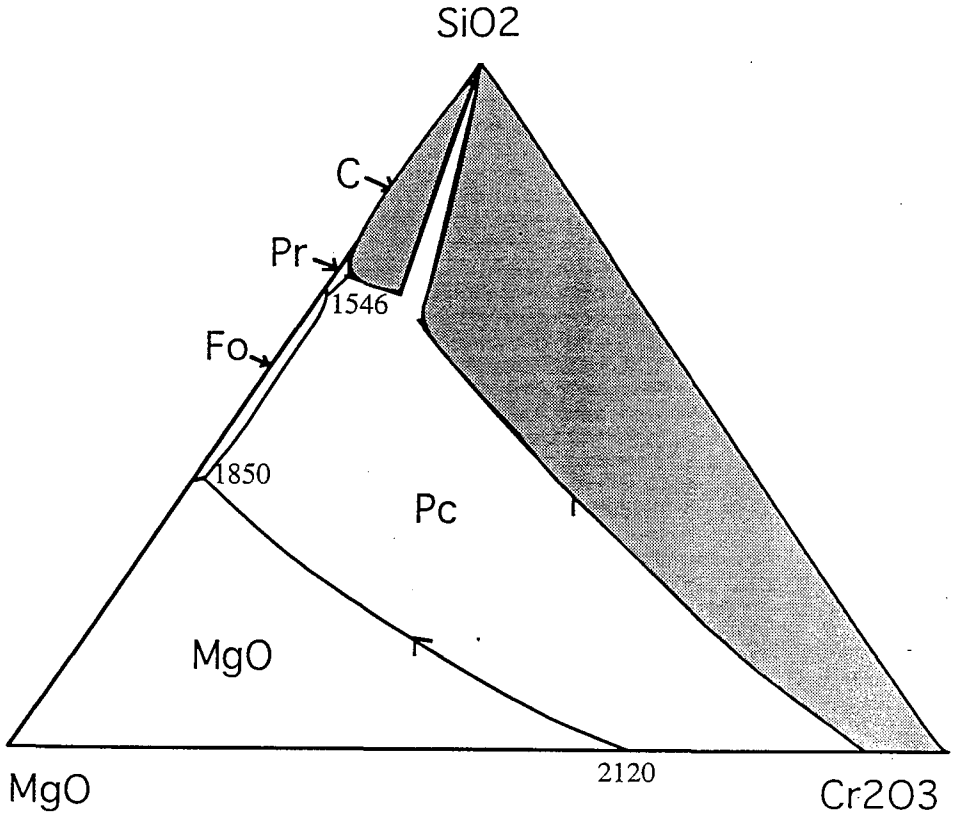


Fig. 3.20. Relations de phases dans le système SiO2-MgO-Cr2O3 à une atmosphère d'après Keith (1954). Deux liquides, l'un riche en SiO2 et l'ature en Cr2O3 peuvent coexister à 1700°C. Pc: Picochromite ($MgCr_2O_4$), Es: Escolaite (Cr_2O_3), Pr: Protoenstatite ($MgSiO_3$), Fo: Forstérite (Mg_2SiO_4), C: Cristobalite (SiO_2).

Ce modèle donne un aspect plus dynamique à l'évolution de l'écaille mantellique et des roches associées (dunites, chromitites). Si cette hypothèse correspond le plus à la réalité du processus métallogénique, elle peut avoir un caractère prédictif dans la mesure où la présence d'un gisement devrait permettre de suspecter la présence d'autres gisements et leur domaine de composition. L'évolution des gisements profonds de Neyriz contrôlés par la mole d'hercynite avec notamment des réactions cœur-bordure soulignant l'enrichissement des minéraux en hercynite, indique que le système minéralisant va vers une augmentation du rapport Al/Cr. Cette évolution pourrait expliquer la présence de gisements alumineux à la base de la zone de transition. De même dans les gisements de la base de la zone de transition

d'Assemion, les réactions cœur-bordure montrent le plus souvent une augmentation de la mole de magnésio-chromite. Toutefois, dans deux cas, les réactions montrent une diminution de cette même mole qui indiquerait le sens d'évolution final du système, après dépôt des gisements métallurgiques, vers un système minéralisant résiduel à rapport Al/Cr plus élevé.

Ainsi, dans le même gisement de Cheshmeh Bid Tunnel 8, les variations spinelle s.s. - chromite dominent au niveau des deux corps de chromite analysé. Le rapport XCr* varie de 8 points environ en passant d'un corps à l'autre alors que XFe* est constant (≈32). Ceci indiquerait que le rapport XFe* est tamponné en passant d'un gisement à l'autre et d'une manière plus générale qu'il l'est dans le manteau puisque aux variations majeures du rapport Cr/Al avec la profondeur correspondent de faibles variations de Fe^{2+}/Mg.

On peut compliquer le système dans les ophiolites, jusqu'à l'existence de trois épisodes minéralisants majeurs qui correspondent aux trois types de séquences magmatiques qui peuvent être observés dans la croûte: celle liée au plagioclase, au clinopyroxène ou à l'orthopyroxène précoce. Le plus souvent l'existence de deux types de gisement, l'un plus réfractaire que l'autre pourrait être mis en rapport avec les deux types de séquences qui prédominent dans la croûte.

Les gisements alumineux à la base de la zone de transition à Neyriz, pourraient correspondre à la fin d'un premier épisode minéralisant. Un deuxième épisode minéralisant serait responsable des gisements plus chromifères au sommet de la zone de transition.

3.5. Résumé - Conclusions

- Trois niveaux majeurs ont été définis: deux dans le manteau et un dans les cumulats. Les plus grands gisements de chromite se situent dans la zone de transition harzburgite-dunite à la partie supérieure du manteau au-dessus du manteau profond. Les gisements de la zone de transition qui occupent une position intermédiaire entre les gisements profonds et les gisements des cumulats ont été regroupés en un niveau basal et un niveau sommital. Les plus gros gisements sont dans le niveau basal à Assemion (gisement métallurgique), et soit dans le niveau basal (gisement alumineux), soit dans le niveau sommital (gisement métallurgique) à Neyriz.

- L'allongement des gisements est parallèle à la foliation des tectonites mantelliques encaissantes. Toutefois, le pendage des gisements est différent de celui

du plan de foliation de la péridotite hôte. Ainsi, les gisements sont subconcordants. L'écart angulaire entre les pendages respectifs du manteau et des gisements pourrait indiquer des relations d'intersection lors de la mise en place des gisements. Soulignons par ailleurs que la foliation des péridotites étant faiblement inclinée, l'erreur quant à l'azimut peut être localement importante.

- Les gisements de chromite sont toujours contenus dans une enveloppe dunitique. Le contact entre les chromitites et les dunites et ceux entre l'enveloppe de dunite et la harzburgite sont toujours très nets. Le caractère subconcordant des gisements de chromite, de même que la présence de dunite au voisinage des gisements constituent deux critères importants pour guider la prospection dans le manteau harzburgitique.

-La texture des chromitites est interprétée comme d'origine magmatique: c'est à dire que les chromites auraient cristallisé directement à partir d'un magma circulant dans des filons sécants ou des filons-couche par rapport à la foliation du manteau. Les chromites sont automorphes à subautomorphes. La déformation qui affecte de façon plastique les roches silicatées du manteau se manifeste de façon cassante dans les chromites avec le développement de figures de " pull-apart" et de textures cataclastiques qui se surimposent aux textures magmatiques.

- Les minerais à texture massive à disséminée sont les plus fréquents dans les gisements. Les minerais nodulaires et rubanés sont subordonnés et localement juxtaposés aux minerais massifs et disséminés.

- Le domaine de composition chimique des chromites de l'ophiolite de Neyriz est plus vaste que celui des chromites d'Assemion considérant le rapport Al/Cr. Le comportement contrasté des rapports Al/Cr et Fe/Mg dans les gisements des deux massifs avec la stratigraphie indique des conditions de formation différente. La formation des gisements de Neyriz serait tamponnée eu égard aux faibles fluctuations du rapport XFe*. L'augmentation importante de XCr avec la stratigraphie serait liée à des fusions successives à partir d'un manteau de plus en plus appauvri, ou à des interactions successives avec un manteau de plus en plus appauvri. Selon cette hypothèse, les gisements chromifères se formeraient après les gisements alumineux, lors d'un deuxième épisode majeur de fusion. L'augmentation du rapport Al/Cr vers la surface peut quant à elle s'expliquer par un appauvrissement du système minéralisant en Cr qui correspond également à la fin du processus minéralisant, tel qu'il existe à Assemion.

- Les variations de composition des chromites à l'échelle d'un gisement ou à celle d'un cristal sont de plus grande amplitude à Neyriz qu'à Assemion, eu égard à l'évolution du rapport Al/Cr. Cette évolution est marquée par une augmentation de la molécule de spinelle s.s. vers la bordure des gisements. Dans les minéraux, l'évolution est plus contrastée et marquée par une diminution du rapport $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ accompagnée d'une augmentation variable de Al. Ceci indique que la concentration de chrome dans le magma ou le système minéralisant qui lui est liée, diminue progressivement au cours de la mise en place des gisements. A l'inverse d'une évolution magmatique normale, les chromites enregistrent avec la différenciation magmatique une augmentation en Mg.

- La majorité des silicates interstitiels sont intensément serpentinisés. Les silicates primaires préservés sont généralement des olivines très magnésiennes.

- Des sulfures, alliages, arséniures ou sulfoarséniures de métaux de base sont présents à côté des silicates interstitiels. La proportion de minéraux des métaux de base, notamment des sulfures est beaucoup plus importante à Assemion qu'à Neyriz. Ce fait indiquerait que la fugacité en soufre était plus élevée dans le système minéralisant de la région d'Assemion, et que le potentiel métallogénique de ce secteur est probablement plus fort que celui de Neyriz.

-Les fluides hydratés jouent un role très important dans la fusion partielle du matériel et l'extraction du chrome de roches mantelliques. Sans doute, la précipitation de chromite est suivie par une interaction complexe entre le magma riche en chrome et le fluide riche en volatiles supportée par des observations d'immiscibilité des liquides.

Chapitre IV

Les Minéraux du Groupe du Platine (MGP) et les phases associées

4.1. Méthodes et techniques analytiques

58 chromitites de 9 gisements du secteur de Neyriz et 74 échantillons des 23 gisements du secteur d'Assemion ont été étudiés pour rechercher les minéraux du groupe du platine (MGP), et les phases associées: silicates et sulfures des métaux de base. Les échantillons ont été choisis en fonction de la localisation des gisements dans la pile ophiolitique, et de leur texture. Ceci a été effectué pour suivre l'évolution de la minéralogie des MGP et phases associées avec celle des gisements hôtes.

Les échantillons préparés soit sous forme de section polie, soit sous forme de lame mince polie, ont été observés en lumière réflechie au microscope métallographique. Un grossissement de 200 fois a été utilisé pour la recherche des MGP, ce qui permet la détection des grains de l'ordre du micromètre.

Après observation au microscope métallographique, les échantillons ont été métallisés au carbone pour l'étude au microscope électronique à balayage (MEB), puis à la microsonde automatisée Camebax SX50 du service commun de l'Université de Nancy I. Les analyses qualitatives des phases incluses réalisées au MEB à l'aide d'un spectromètre à dispersion d'energie (EDS) a permis de déterminer les éléments constitutifs de ces minéraux, et donc de mieux préparer le programme d'analyses à la microsonde. En raison de la petite taille de certaines des inclusions, des analyses semi-quantitatives ont été obtenues avec l' EDS. Les conditions analytiques à la microsonde électronique Camebax SX50 sont les suivantes: tension d'accélération, 20 kV; courant échantillon, 10 nA; temps de comptage de 8 s sur le pic et de 4 s sur le bruit de fond; diamètre du faisceau de l'ordre du micromètre; angle d'émergence, 40°; programme de correction PAP (Pouchou et Pichoir, 1984; 1991). 14 éléments ont été analysés en routine lors de l'analyse des MGP et des métaux de base. Les standards, les raies d'émission X et les cristaux analyseurs sont reportés dans le tableau 4.1. Les conditions d'analyses des silicates sont indiquées dans la partie 2.5.2 du chapitre II.

Le chrome a été dosé dans les MGP et SMB afin d'apprécier la contamination liée à l'excitation de la matrice de chromite. En effet, les minéraux du groupe du platine sont en général de petite taille et dépassent rarement les 20 micromètres. Les anlyses obtenues à la microsonde électronique peuvent donc avoir été contaminées par la chromite hôte. Cr est absent des inclusions de plus grande taille; par contre il est souvent présent dans les inclusions de petite taille (<10 μm). On s'est attaché dans le cas où la chomite hôte avait été excitée à estimer la proportion de fer surdosé, Les corrections ont été effectuées en se basant sur le rapport Fe/Cr de la chromite hôte et en admettant que l'excitation de fluoresence du Fe et de Cr est proportionnelle à la

teneur de ces éléments dans la chromite. 2 à 3%pds de Cr au maximum a été mesuré dans les alliages de Fe et Pt. Ceci indique que la contamination en fer est somme toute relativement faible et n'a pas changé de façon significative la teneur en Fe des alliages. Les corrections ont été néanmoins éffectuées.

Elément	Standard	Raie d'émission	Cristal analyseur
S	Pyrite	Ka	PET
Cr	Chrome pur	Kb	LIF
Fe	Fer pur	Kb	LIF
Co	Cobalt pur	Ka	LIF
Ni	Nickel pur	Ka	LIF
Cu	Cuivre pur	Ka	LIF
Sb	SbS2	La	PET
As	AsGa	La	TAP
Ru	Ruthénium pur	La	PET
Os	Osmium pur	Lb	LIF
Ir	Iridium pur	La	LIF
Pt	Platine pur	La	LIF
Pd	Palladium pur	Lb	PET
Rh	Rhodium pur	La	PET

Table. 4.1. Standards, raies d'émission X et cristaux analyseurs utilisés dans les analyses à la microsonde électronique des minéraux du groupe du platine et les minéraux de métaux de base.

4.2. Minéralogie des MGP

L'étude des minéraux du groupe du platine (MGP) porte sur la nature des minéraux porteurs et des paragènes minérales ainsi que sur leur texture. L'évolution de la composition des MGP et phases associées a été également considérée par rapport à celle de la chromite hôte, tout en tenant compte de la localisation des inclusions dans la chromite. L'évolution de la composition a été suivie à l'échelle de la pile ophiolitique, au sein des gisements et au sein des chromites hôtes pour mettre en évidence les caractéristiques du système minéralisant et en suivre l'évolution. Ainsi, dans le secteur d'Assemion, l'évolution miéralogique a pu être déterminée en fonction de la position stratigraphique des gisements. Mais dans la région de Neyriz, où les gisements sont dispersés dans plusieurs massifs, la nature des MGP a pu être comparée entre ces différents massifs. L'évolution des assemblages de MGP avec la stratigraphie a pu être suivie dans le massif de Cheshmeh Bid.

Les MGP, malgré leur petite taille, sont facilement discernables au microscope à cause de leur grande différence de pouvoir réflecteur avec la chromite. Le pouvoir réflecteur des sulfures des éléments du groupe du platine (EGP) (40-45%) et des alliages de EGP (55-60%) est respectivement supérieur de plus de deux fois et de trois fois à celui des chromites (15-20%). Les MGP apparaissent comme des grains brillants sur un fond uniformément gris.

Les MGP sont toujours en inclusion dans la chromite: ils n'ont jamais été observés dans les phases silicatées et sulfurées interstitielles. Ils sont situés loin des fissures dans les chromites hôtes et la texture des inclusions hôtes ne peut pas être interprêtée comme issue d'exsolution subsolidus à partir de la chromite. Les minéralisations seraient donc d'origine magmatique. De même, aucune trace d'altération hydrothermale qui serait liée à la concentration des éléments du groupe du platine n'a été observée. Très peu de MGP riches en Pt ont été observés. D'après l'évolution de la composition des minéaux, on en déduit que la saturation en Pt et Pd du système minéralisant n'était pas atteinte.

La majorité des MGP sont automorphes: 81% à Neyriz et 79% à Assemion. Les MGP apparaissent généralement (82% à Neyriz et 69% à Assemion) sous forme d'association minérale à deux, trois ou quatre composants de type: MGP-MGP, MGP-silicate, MGP-SMB, MGP-MGP-MGP, MGP-MGP-silicate, MGP-MGP-SMB, MGP-

SMB-silicate, MGP-silicate-silicate, MGP-MGP-SMB-silicate et MGP-SMB-silicate-silicate.

Les minéraux du groupe du platine inclus dans la chromite sont en majorité des minéraux de Ru,, Os et Ir et plus rarement de Rh, Pd et Pt. Cette situation est caractéristique de la plupart des gisements de chromite dans le manteau des ophiolites (Prichard et al. 1981, Legendre 1982, Stockman et Hlava 1984, Talkington et al. 1984, Augé 1985, 1986, 1988, Talkington et Watkinson 1986, Karaj 1992, Neziraj 1992). Les MGP dans les deux massifs ont cristallisés sous différentes conditions de fugacité en soufre du magma. Elle aurait été plus forte à Assemion qu'à Neyriz. Ceci est indiquée par la présence d'erlichmanite (OsS_2) et de sulfures d'iridium à Assemion et par l'abondance des alliages d'EGP à Neyriz. Les associations minérales rencontrées dans ces deux régions sont néanmoins comparables à celles des ophiolites de Tiébaghi, Nouvelle Caledonie et du Vourinos, Grèce (Augé, 1988). Nous avons subdivisé les MGP rencontrés au quatre groupes :

-les sulfures
-les alliages
-les sulfoarséniures
-les minéraux formant des solutions solides

4.2.1. Les sulfures

Les sulfures de EGP sont les minéraux les plus abondants dans les chromitites des régions étudiées, ils constituent 77% de la totalité des MGP dans la région de Neyriz et 74% des PGM dans la région d'Assemion. Nous avons rencontré les deux types de sulfures de la solution solide laurite-erlichmanite. Cette situation est caractéristique des chromitites de type ophiolitiques (Agiorgitis et Wolf 1978, Constantinides et al. 1979, Legendre 1982, Augé 1988, Karaj 1992). Nous n'avons pas trouvé de sulfures d'autres éléments du groupe du platine. La laurite qui est le sulfure le plus abondant constitue 94% et 83% des sulfures dans les régions de Neyriz et d'Assemion respectivement. L'erlichmanite n'a été trouvée que deux fois dans les chromitites de Neyriz. Les tailles moyennes des sulfures sont de 4.7 et de 3.3 micromètres à Neyriz et à Assemion respectivement.

4.2.1.1. La laurite

La laurite est un minéral cubique, isostructural de la pyrite, sa formule stoechiométrique est RuS_2, elle possède un pouvoir réflecteur d'environ 40%. Elle

apparaît d'un blanc assez pur par rapport à la chromite. Il semble que le pouvoir réflecteur des laurites augmente faiblement avec la teneur en iridium et en osmium (Legendre 1982, Tarkian 1987) mais, nous n'avons pas remarqué cette augmentation dans nos echantillons, même dans les laurites riches en iridium et osmium. Les laurites observées, soit isolées, soit en association avec d'autres minéraux, sont le plus souvent automorphes. On les trouve en majorité avec des habitus hexagonaux ou rectangulaires (Photo 8, Planche V et Photo 4, Planche VI). Les arêtes arrondies sont rares. Le diamètre des laurites varie de 0,5 à 21 micromètres, mais elles sont en général de petite taille. Leur taille moyenne est de 4,5 micromètre. La taille des laurites est indépendante du fait qu'elle soit isolée ou en association polyphasée au sein de la chromite.

Les études au microscope métallographique et au MEB montrent que la plupart des laurites (82% des laurites de Neyriz et 59% des laurites d'Assemion) participent aux assemblages polyphasés, mais avec des rapports différents dans les deux ophiolites étudiées. Les types d'associations dans ces deux régions sont également différents. A Neyriz dans la majorité des cas (95%) au minimum un silicate accompagne la laurite (Photos 2, 3 et 4, Planche VI), alors qu'à Assemion seulement 44% des laurites sont en association avec des silicates. La présence des silicates avec les MGP indique que le bain silicaté a un rôle important à la formation des MGP inclus dans les chromites (Legendre 1982). Dans les chromitites d'Oman, Augé (1986, 1987) observe que lorsque le pourcentage des silicates inclus dans la chromite augmente, les MGP sont souvent liés aux silicates. En Iran, nous n'avons pas trouvé de relation entre la composition des laurites et celle de silicates. Par ailleurs, nous n'avons pas observé une différence régulière entre la composition des laurites qui sont isolées et celle qui se trouvent en association avec des silicates. Les MGP et les silicates semblent cristalliser ensemble lorsque la croissance des spinelles est perturbée. En tous cas, si les silicates jouent un rôle catalytique dans la concentration de ruthénium et de soufre, on ne peut mettre ce rôle en évidence dans cette étude.

La laurite est présente dans tout les niveaux de la minéralisation en EGP. Nous avons observé un vaste domaine de composition des laurites. La composition des laurites dépend de plusieurs facteurs: la position stratigraphique dans la colonne ophiolitique, la position de la laurite dans le spinelle hôte, la concentration locale des minéraux du groupe du platine à l'échelle des gisements et la présence des sulfures de métaux de base en association minérale avec les laurites.

Dans la nature, on trouve le plus souvent la substitution du ruthénium par l'osmium et l'iridium. La teneur en iridium et en osmium dans la laurite est un

marqueur de l'activité en soufre du milieu de formation (Legendre 1982). Cette substitution dans les laurites étudiées va jusqu'au pôle l'erlichmanite. Nous avons trouvé seulement dans un cas une laurite quasiment stoechiométrique dans la région de Neyriz avec la composition ($Ru_{0,98}Rh_{0,01}Fe_{0,01}$) $S_{1,99}$. C'est une laurite isolée de taille de 2,5 micromètres dans le niveau supérieur du gisement de Cheshmeh Bid (échantillon 1N). Une laurite avec une composition idéale a également été décrite dans les ophiolites de Shetland (Tarkian et Prichard 1987). Il existe des corrélation négatives entre le ruthénium et l'osmium et entre le ruthénium et l'iridium dans les laurites (Fig. 4.1). Les corrélations entre Ru et Ir sont moins fortes que celles de Ru et Os dans ces deux régions. Ce qui semble indiquer que la teneur en Ir des laurites dépend de la concentration locale de Ir au milieu de formation. Il n'y a pas de fortes corrélations entre Os et Ir (Fig. 4.2) alors que des corrélations entre ces éléments existent dans les compositions moyennes des laurites à l'échelle des gisements (Fig. 4.3). Elles seraient alors les témoins de la cristallisation des laurites à différents stades de la minéralisation des spinelles et que l'osmium et l'iridium ont comportements différents dans le système minéralisant.

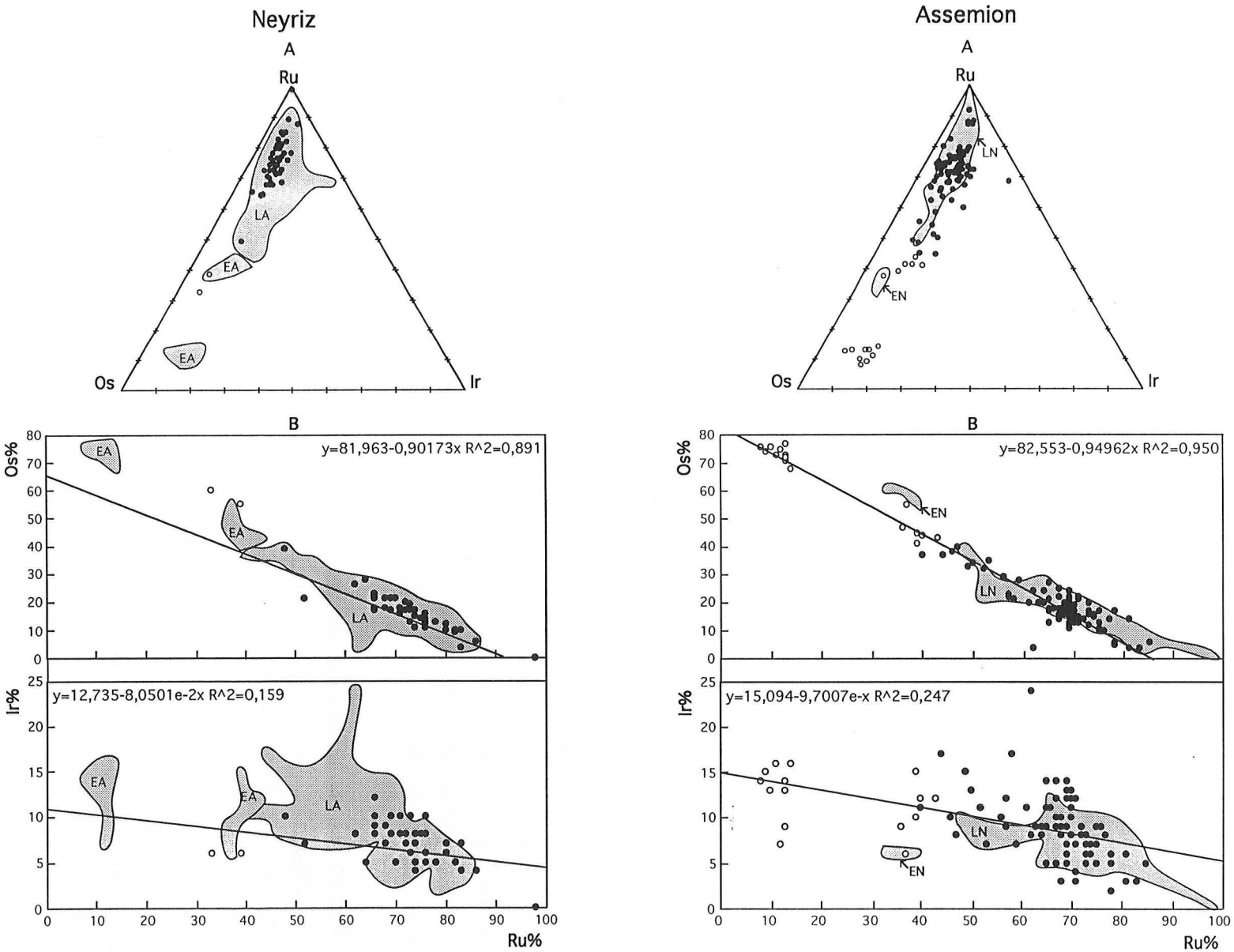


Fig. 4.1. Variation de Ru, Os et Ir en pourcentage cationique dans les laurites (cercles pleins) et les erlichmanites (cercles vides) des chromitites de Neyriz et d'Assemion. A, projection dans le triangle Ru, Os, Ir. B, Variation de Os et Ir, en fonction de Ru. LA et EA montrent respectivement les champs de compositions des laurites et des erlichmanites d'Assemion dans le diagramme des laurites et des erlichmanites de Neyriz et LN et EN indiquent respectivement les champs de composition des laurites et des erlichmanites de Neyriz dans le diagramme des laurites et des erlichmanites d'Assemion.

On distingue une zonation régulière dans la composition de certaines laurites de Neyriz surtout dans les laurites de grande taille. Dans certains cas, cette zonation est plus forte (échantillons 1N, 4N et 10N). La zonation des cristaux est marquée par la diminution de la teneur en ruthénium et l'augmentation de la teneur en osmium du centre vers la bordure des grains. Au MEB cette différence est mise en évidence par une différence en niveaux de gris (Photos 5 et 6, Planche VI). En tout cas, la variation chimique de la bordure par rapport au coeur des laurites ne va pas jusqu'au terme erlichmanite, alors que ce type de substitution a été obserevé par McLaren et De Villiers (1982) et Legendre et al. (1991). La teneur en iridium est quasiment constante. Dans la région d'Assemion les laurites ne montrent pas de grande zonation depuis le centre vers la bordure des minéraux. Les teneurs des principaux éléments sont pratiquement constantes. Dans certains cas nous avons distingué des zonations inverses, c'est à dire une diminution faible en Ru en faveur de l'Os à la bordure des cristaux (échantillons 31A, 331A et 36A). Les laurites avec des zonations normale et inverse peuvent coexister dans un même gisement (par exemple à Chahine et à Yassamine). Cette situation reflète, soit la stabilité des conditions physico-chimiques du milieu de formation des laurites à l'échelle des minéraux dans la région d'Assemion, soit le témoin d'une cristallisation rapide de ces minéraux dans cette région.

Nous avons trouvé d'autres variations chimiques dans les laurites qui sont en association minérale avec des sulfures de métaux de base de la région d'Assemion par rapport aux laurites qui sont isolées ou qui sont en association avec des silicates. Ces dernières sont plus riches en ruthénium que les autres (Fig. 4.4). Ces observations pourraient être liées à la formation des sulfures de ruthénium sous des conditions de fugacité en soufre plus faible que pour les éléments de l'osmium et de l'iridium.

Malgré les influences susmentionnées qui causent des variations chimiques dans les compositions des laurites à l'échelle d'un gisement, on peut observer que les laurites des gisements des niveaux inférieurs des logs ophiolitiques sont plus riches en ruthénium que celles des gisements des niveaux supérieurs (Fig. 4.5). Dans les chromitites du secteur d'Assemion, la concentration locale des éléments du groupe du platine à l'échelle d'un gisement a affecté non seulement la composition des laurites, mais également le nombre de laurites de ces gisements. Cette situation est particulièrement claire dans les gisements de Chahriar et de Nematte. Dans le gisement de Chahriar, la composition moyenne des laurites est de $(Ru_{0,67}Os_{0,20}Ir_{0,08}Rh_{0,04})$ $(S_{1,97}As_{0,01})$ et à Nematt, elle est de $(Ru_{0,49}Os_{0,29}Ir_{0,16}Rh_{0,02})$ $(S_{1,98}As_{0,04})$. Dans ces gisements le pourcentage des laurites par rapport à la totalité des MGP est plus faible en comparaison avec d'autres

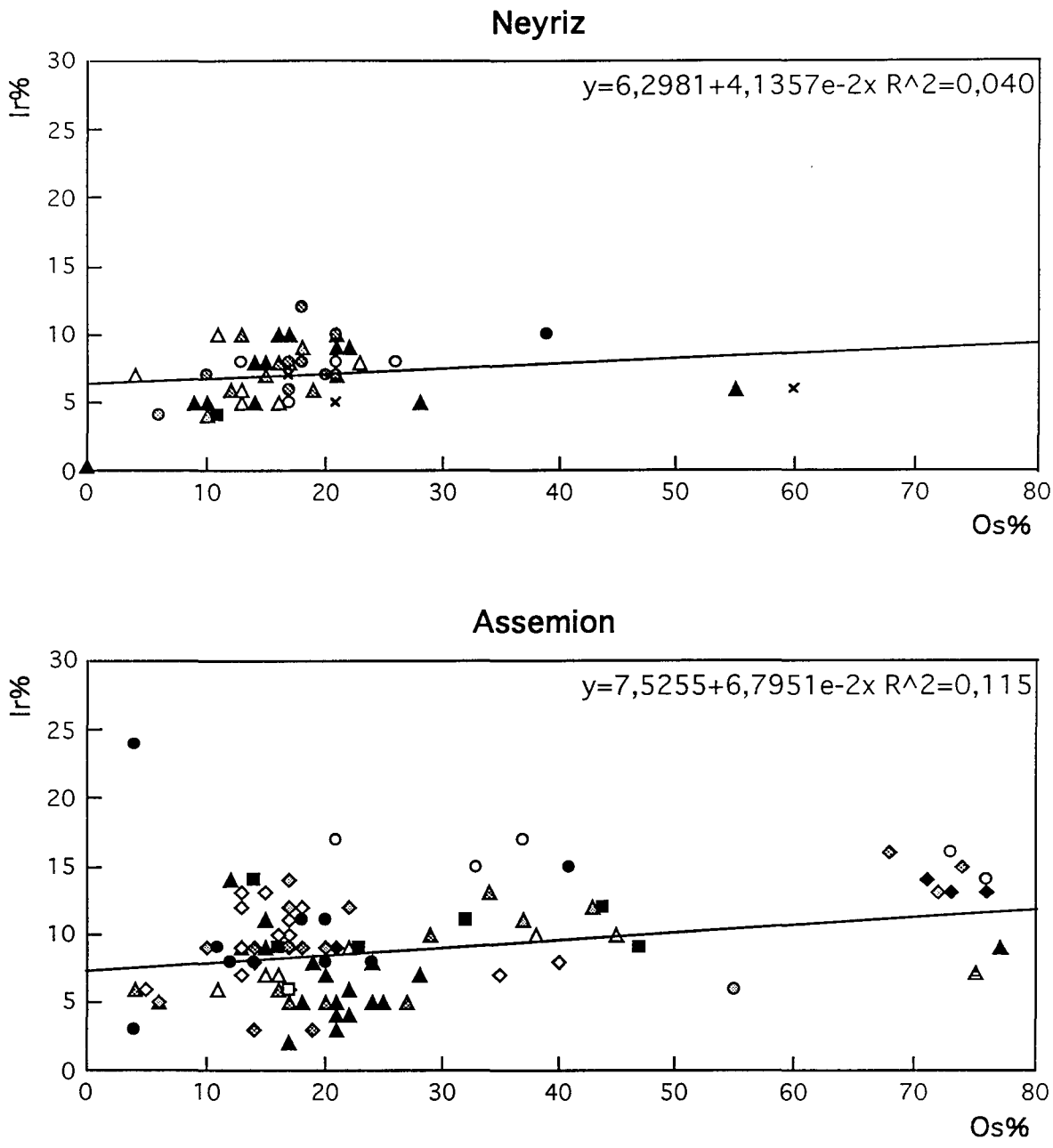


Fig. 4.2. Variation de Ir en fonction de Os dans les laurites et les erlichmanites des chromitites de Neyriz et d'Assemion en pourcentage cationique. Carrés, gisements profonds, Neyriz: Neypik (carré plein), Assemion: Reza Balla (carré vide), Ismaeil (carré plein); Cercles et losanges, gisements à la base de la zone de transiion, Neyriz: Khajeh Jamali (cercle gris), Rajoni (cercle gris foncé), Roni (cercle vide), Cheshmeh Bid Tunnel 2 (cercle plein), Assemion: Abcharballa (cercle gris), Nazafarine (cercle gris foncé), Nematte (cercle vide), Fétr (cercle plein). Amir (losange gris), Chojaie (losange gris foncé), Chahine (losange vide), Chahriar (losange plein); Triangle, gisements au sommet de la zone de transition. Neyriz: Cheshmeh Bid Tunnel 5 (triangle gris), Cheshmeh Bid Tunnel 6 (triangle gris foncé), Cheshmeh Bid Tunnel 7 (triangle vide), Cheshmeh Bid Tunnel 8(triangle plein), Assemion: Keramat (triangle gris), Yassamine (triangle gris foncé), Bahram (triangle vide), Béahrsangue (triangle rayé), Doveisse (triangle plein), Croix, indices à la base des cumulats à Neyriz.

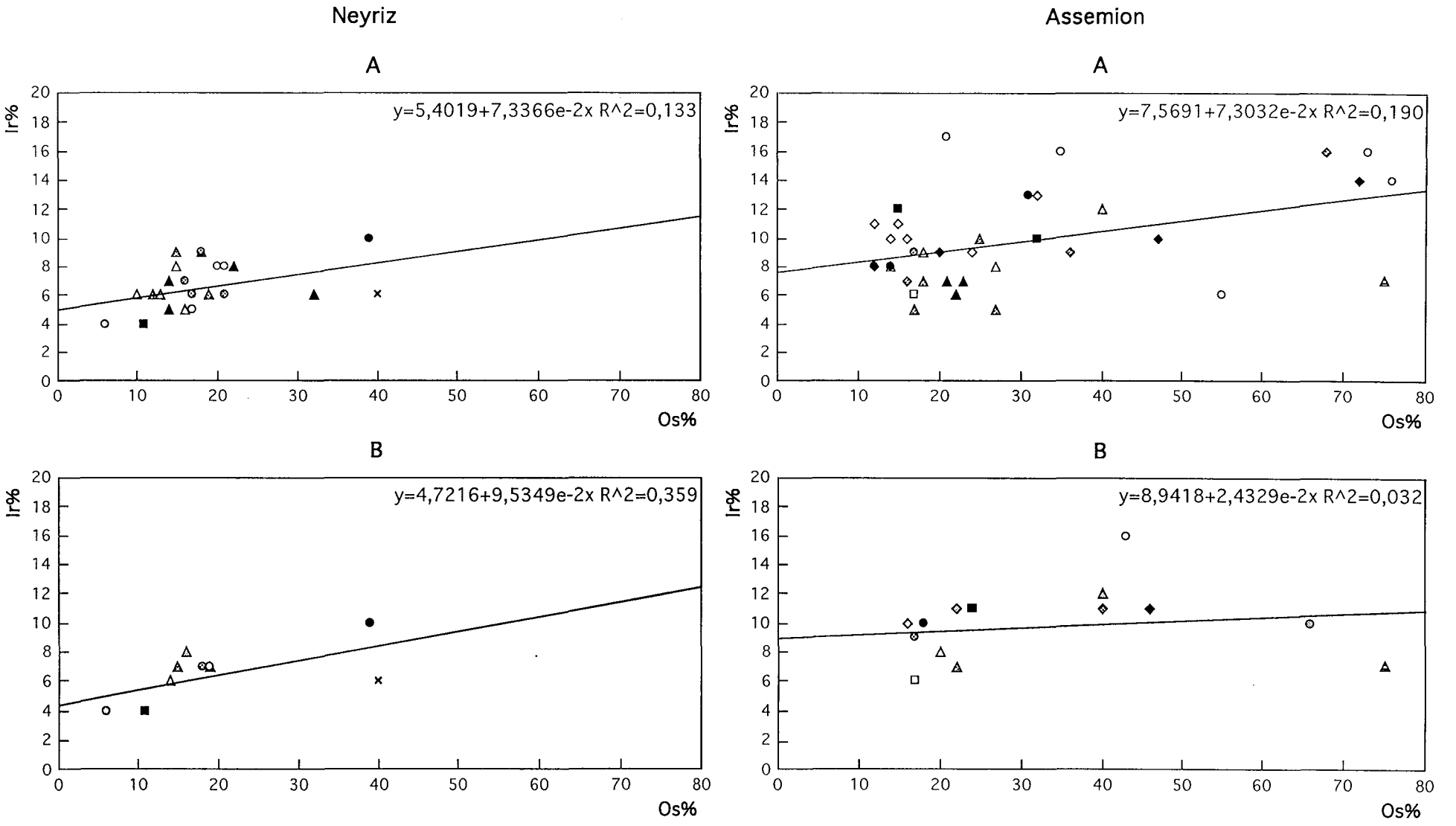


Fig. 4.3. Variation de Ir en fonction de Os dans les laurites et les erlichmanites des chromites de Neyriz et d'Assemion en pourcentage cationique. A, composition des minéraux à l'échelle d'un échantillon; B, composition des minéraux à l'échelle d'un gisement. Les références des gisements sont les mêmes que pour figure 4.2. Noter aux corrélations entre Ir et Os dans les deux échelles et comparer avec celle de la figure 4.2.

gisements, c'est à dire 29% à Chahriar et 40% à Nematte, alors que le pourcentage moyen des laurites dans les chromitites de cette région est de 62%.

A côté de la substitution de Ru par Os et Ir, certains éléments peuvent entrer dans le réseau des laurites en plus faible quantité que les éléments Os et Ir. Ces sont les suivants:

-Rh, il est constamment présent dans le réseau de laurite. Son pourcentage atomique varie le plus souvent entre 2% et 3%. Dans les laurites de Neyriz la teneur en rhodium est constante. La variation de la teneur en rhodium des laurites d'Assemion est plus forte que dans celles de Neyriz. On trouve des laurites avec des teneurs plus élevées en Rh. Dans certains cas le pourcentage atomique de Rh peut atteindre jusqu'à 9% (échantillon 46A). Nous n'avons pas trouvé de corrélations entre le rhodium et les autres éléments constitutifs des laurites. Il semble que la teneur en Rh dans les laurites soit dépendante de la concentration locale en Rh, soit à l'échelle d'un gisement, soit à l'échelle d'un minéral. Les laurites des gisements Chahriar, Amir, Fétr et Ismaeil dans la région d'Assemion sont les plus riches en Rh. Ces gisements appartiennent au niveau inférieur de la pile ophiolitique.

-Pt et Pd sont souvent en très faibles teneurs, inférieurs au 1% atomique. Seulement dans un cas, dans les chromitites du gisement Chahine du secteur d'Assemion (échantillon 34A), nous avons trouvé une laurite isolée d'une taille de 3 micromètres qui contient du platine et du palladium avec des teneurs supérieurs au pourcent atomique. Sa composition est la suivante:

$(Ru_{0,77}Os_{0,05}Ir_{0,06}Rh_{0,06},Pt_{0,02},Pd_{0,01})\ (S_{1,99}As_{0,03})$.

-Cu, Ni et Fe, sont présents en faible teneurs dans le réseau des laurites. Les laurites de la région de Neyriz sont moins riches en métaux de base que celles du secteur d'Assemion. Parmi ces éléments Fe est prédominant dans les laurites de Neyriz, mais dans la composition des laurites d'Assemion la teneur en Ni et Cu peut excéder de celle de Fe. Dans quelques cas exceptionnels leurs teneurs totales peut approcher 11% atomique des cations. Ces laurites se situent dans les gisements du niveau supérieur de l'ophiolite d'Assemion (échantillons 3A, 6A, 38A). Ces minéraux isolés ont les compositions suivantes:

gisement	échantillon	composition
Bahram	3A	$(Ru_{0,65}Os_{0,13}Ir_{0,09}Rh_{0,02}Cu_{0,09}Fe_{0.02})\ (S_{1.86}As_{0.01})$
Bahram	6A	$(Ru_{0,70}Os_{0,11}Ir_{0,06}Rh_{0,02}Cu_{0.07}Fe_{0.03}Ni_{0.01})\ S_{1.81}$
Doveis	38A	$(Ru_{0,65}Os_{0,18}Ir_{0,05}Rh_{0,02}Ni_{0,08}Cu_{0.02}Fe_{0.01})\ (S_{1.94}As_{0.01})$

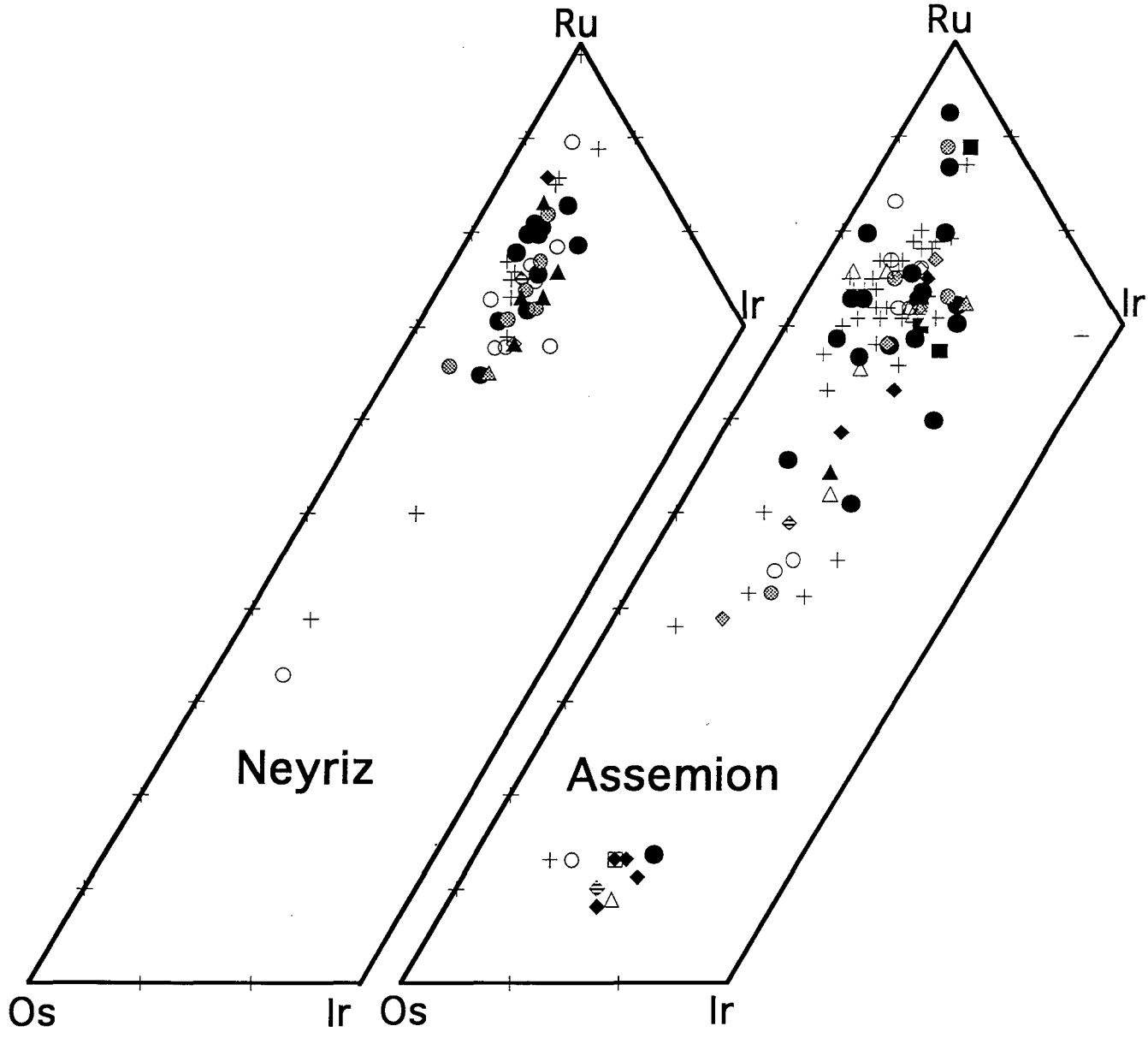


Fig. 4.4 Composition des laurites et des erlichmanites d'après la nature de leurs associations minérales au sein des inclusions dans les gisements de Neyriz et d'Assemion dans le triangle Ru, Os, Ir. Inclusions monophasées (croix); Inclusions biphasées: MGP+amphibole (cercle plein), MGP+ chlorite ou MGP+serpentine (cercle gris), MGP+pyroxène (cercle vide), MGP+sulfure formant solution solide, cuproiridsite, (losange plein), MGP+alliage MGP, Osmium, (losange gris), MGP+MGP, irarsite, (losange vide), MGP+ sulfures de cuivre, digenite ou covellite à Assemion et pentlandite à Neyriz, (losange rayé); Inclusions triphasées: MGP+silicate+silicate (triangle plein), MGP+silicate+sulfure solution solide, cuproiridsite à Assemion et mallanite à Neyrie, (triangle gris), association triphasée de MGP avec au moins un sulfure de métaux de base, en général digenite, (triangle vide); Inclusions quadriphasées avec au moins un sulfure solution solide ou un sulfure de métaux de base (carré plein).

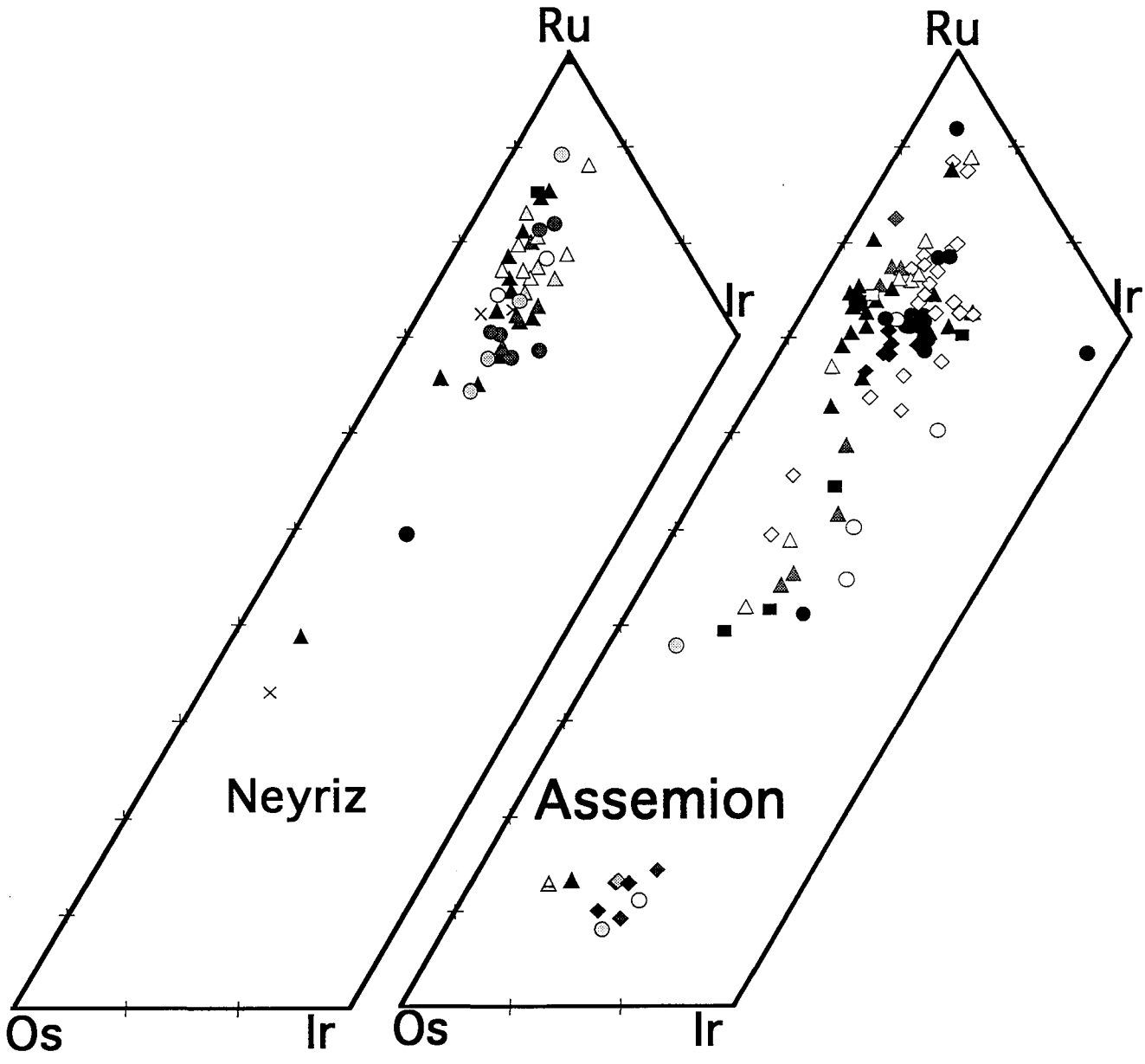


Fig. 4.5. Variation de Ru, Os, Ir en pourcentage cationique dans les lauries et les erlichmanites de Neyriz et d'Assemion dans le triangle Ru, Os, Ir (détail de la figure 4.1,A). Les références des gisements sont les mêmes que pour la figure 4.2.

Nous avons pu mettre en évidence une substitution du soufre par l'arsenic dans certaines laurites. En règle générale, la teneur en As varie entre 0 et 6%, mais dans deux laurites d'Assemion cette substitution est plus élevée pouvant atteindre 17% (échantillon 46A à Ismaeil) et 31% (échantillon 48A à Fétr). Nous n'avons pas rencontré la ruarsite dans les chromitites étudiées. Ce qui indique une faible concentration en As dans le système minéralisant. Nous n'avons pas trouvé de relations entre la teneur en As et celles des autres éléments constitutifs des laurites, ni dans la composition des laurites des différents niveaux de chromitites de la pile ophiolitique.

Dans un cas exceptionnel, nous avons trouvé jusqu'à 1% atomique de Sb dans le réseau d'une laurite d'Assemion (échantillon 36A). Cette laurite est en association avec un clinopyroxène et une digenite $Cu_{2-X}S$. Dans les autres laurites la teneur en Sb est toujours proche du seuil de détection à la microsonde électronique.

La composition moyenne des laurites dans les chromitites du secteur de Neyriz est de $(Ru_{0,75}Os_{0,16}Ir_{0,07}Rh_{0,02})(S_{2,01}As_{0,01})$ et celle des laurites des chromitites d'Assemion est de $(Ru_{0,69}Os_{0,19}Ir_{0,09}Rh_{0,03})(S_{1,96}As_{0,02})$.

Nous avons comparé la composition moyenne des laurites avec celle des éléments majeurs et mineurs des chromites hôtes pour connaître la relation chimique entre la chromite et la laurite à l'échelle stratigraphique des piles ophiolitiques. La seule relation que nous avons trouvé est entre la teneur moyenne en osmium et iridium des laurites et celle du manganèse des chromites dans les chromitites d'Assemion (Figs. 4.6 et 4.7). Cette même corrélation positive a été trouvée par Ohnenstetter et al. (1986) dans les chromitites de Bird River Sill, Manitoba. Les coefficients de corrélations sont faibles, c'est à dire 0,38 et 0,16 pour les paires Os-Mn et Ir-Mn respectivement. Le lien entre la chromite et la laurite reflète probablement, une cristallisation synchrone des deux minéraux aux hautes températures.

4.2.1.2. L'erlichmanite

L'erlichmanite a été découverte pour la première fois à MacIntosh Mine, Californie par Snetsinger (1971). L'erlichmanite est un minéral cubique. Elle forme une solution-solide complète avec la laurite (Bowles et al. 1983, Tarkian 1987). Les dimensions des réseaux de la laurite et de l'erlichmanite sont de 5,6095 et de 5,6196 °A respectivement (Tarkian 1987). La formule stochiométrique de l'erlichmanite est OsS_2 , son pouvoir réflecteur est d'environ 43% (Bowles et al. 1983). Il est difficile de distinguer l'erlichmanite de la laurite sous le microscope métallographique, mais en

général les erlichmanites sont un peu blanc bleuté surtout quand la teneur en Os est élevée. Dans les deux régions, les laurites sont fréquente et les erlichmanites sont plus rares. La présence des erlichmanites dans les chromitites de deux ophiolites étudiées est complètement différente, donc nous les présenterons séparément:

Dans les chromitites du secteur de Neyriz nous avons trouvé seulement deux erlichmanites dans deux échantillons distincts du niveau supérieur du massif de Cheshmeh Bid. Une erlichmanite isolée, d'une taille de 22 micromètres, provenant du minerai massif (échantillon 39N) est le plus gros MGP rencontré dans tous les échantillons étudiés. L'autre minéral, en association avec un clinopyroxène, est d'une taille de 1,5 micromètre provenant du minerai disséminé (échantillon 18N). Toutes les deux sont automorphes avec un habitus rectangulaire (Photo 7, Planche VI).

La composition moyenne des analyses obtenues du coeur des grains est de $(Os_{0,58}Ru_{0,35}Ir_{0,06}Rh_{0,01})\ S_{2,04}As_{0,02}$. Cette composition est proche de celles des laurites riches en Os. Les deux minéraux analysés sont en fait des laurites avec une substitution du Ru par l'Os plus forte par rapport à celle des autres laurites. Ceci peut être dû à l'influence de la fugacité en soufre du milieu à l'échelle locale plutôt que du rapport Os/Ru du milieu. On peut également observer une diminution de Ru et une augmentation faible de Os du centre vers de la bordure des grains, comme dans les laurites. Les teneurs en Ir et Rh dans ces deux grains sont plus faibles que dans les laurites. Dans la bordure d'une erlichmanite nous avons trouvé jusqu'à 1% atomique de platine.

Par contre, dans les chromitites du secteur d'Assemion nous avons recensé 19 grains d'erlichmanite. Elles constituent environ 17% des sulfures et 12% de la totalité des MGP des gisements de cette région. Le grande nombre d'erlichmanites à Assemion par rapport aux deux erlichmanites de Neyriz peut s'expliquer par la fugacité en soufre qui est plus forte dans le système minéralisant d'Assemion. La majorité des erlichmanites (74%) forment des associations minérales et les 26% restants forment des minéraux isolés. Il semble que le soufre a un rôle important dans la concentration de l'osmium, puisque nous avons trouvé 48% des erlichmanites en association minérale avec des sulfures.

La majorité des erlichmanites sont automorphes (Photo 8, Planche VI), nous n'avons rencontré que deux grains subautomorphes en association avec des sulfures (échantillons 5A et 48A, Photo 1, Planche VII). Le diamètre des erlichmanites varie entre 1 et 6 micromètres, mais la taille moyenne est petite (2,7 micromètre), plus petite que pour les laurites. La taille des erlichmanites est indépendante du fait qu'elle

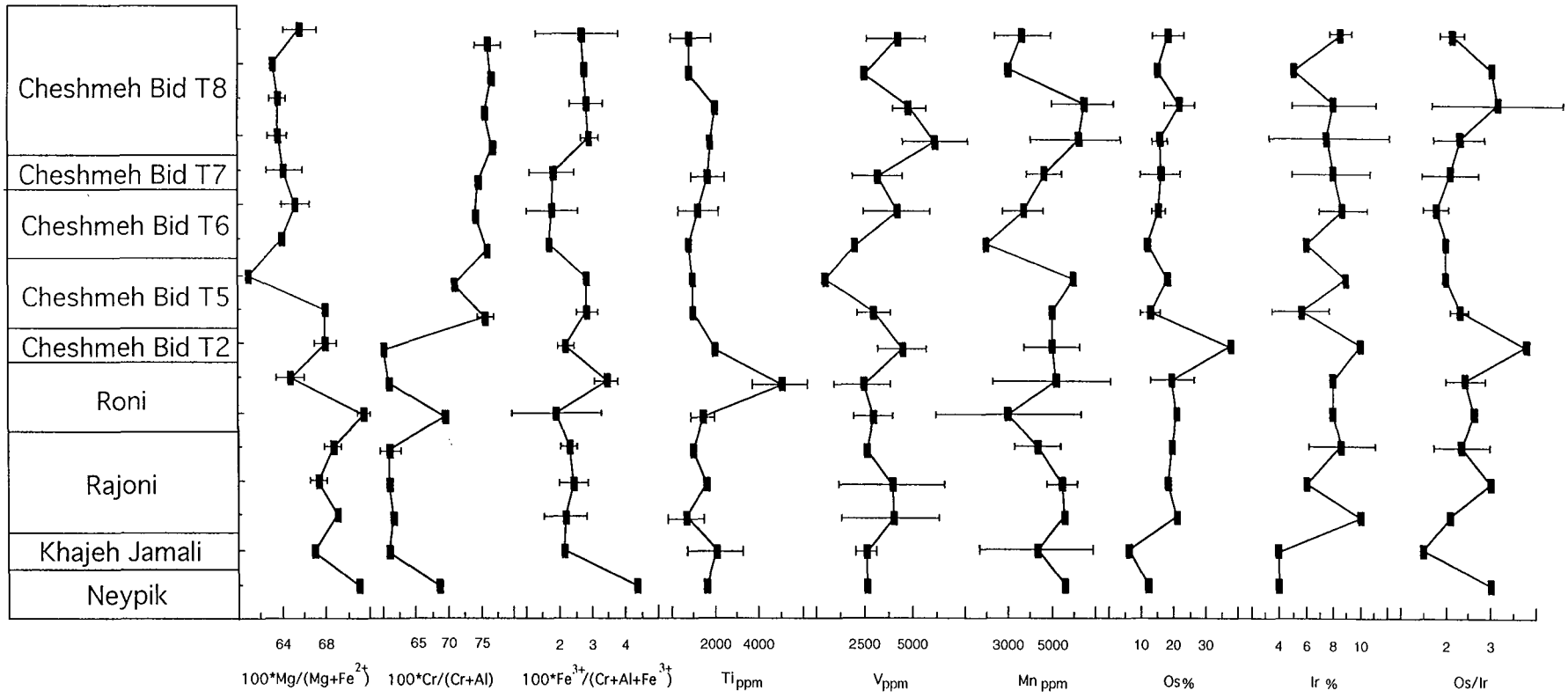


Fig. 4.6. Evolution comparée de la composition des laurites avec celle des chromites hôtes dans les gisements de Neyriz reportés selon leur profondeur par rapport au Moho.

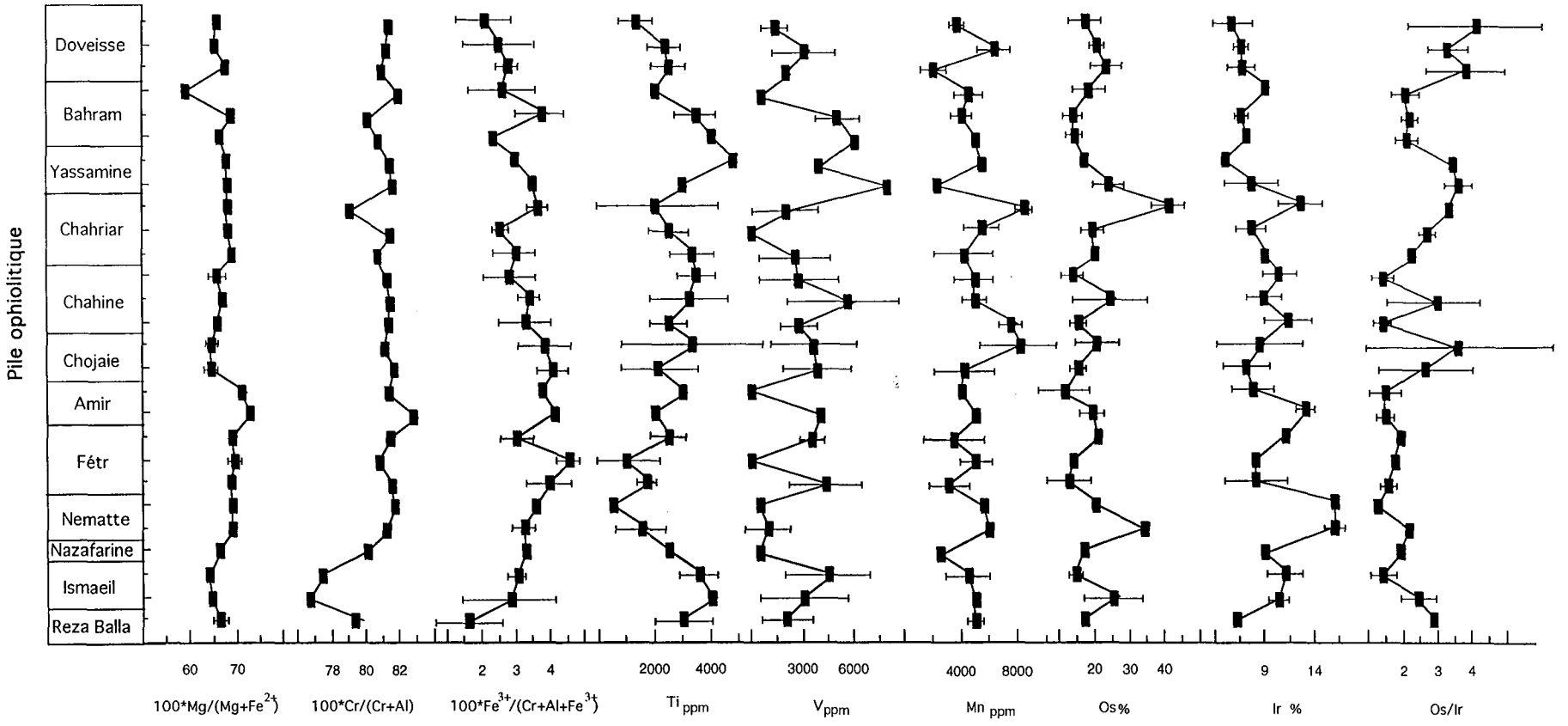


Fig. 4.7. Evolution comparée de la composition des laurites avec celle des chromites hôtes dans les gisements d'Assemion reportés selon leur profondeur par rapport au Moho.

soit isolée ou en association polyphasée au sein de la chromite. La composition des erlichmanites n'est pas stoechiométrique, probablement dû aux sulfures associés. La plus riche en Os (échantillon 38A) est de composition $(Os_{0.77}Ru_{0.13}Ir_{0.09}.Ni_{0.01})\ S_{2.11}$. C'est une erlichmanite d'une taille de 2 micromètres en association avec un clinopyroxène dans un échantillon appartenant au sommet de la pile ophiolitique. Sur la base de la composition chimique, on peut subdiviser les erlichmanites aux deux groupes: a) les erlichmanites qui sont riches en Ru et qui ont une composition plus proche de la laurite avec une composition moyenne de $(Os_{0.47}Ru_{0.34}Ir_{0.14}Rh_{0.03}Ni_{0.02})$ $S_{1.99}As_{0,02}$; b) les erlichmanites qui sont pauvres en Ru et riches en Os avec la composition moyenne de $(Os_{0,73}Ru_{0,12}Ir_{0,13}Pt+Rh+Ni_{0.02})S_{2.07}$. Entre les erlichmanites de ces deux groupes nous avons une lacune de composition qui les sépare (Fig. 4.1). Les erlichmanites sont principalement localisées dans la zone intermédiaire des chromites. Il semble que le type d'association minérale a une grande influence sur la composition des erlichmanites. Une observation précise des données microsonde et l'habitus des minéraux montre que les erlichmanites qui sont riches en Os et Ir et pauvres en Ru se trouvent en association minérale avec des sulfures des métaux de base et au contraire celles qui sont pauvres en Ir et enrichies en Ru se trouvent dans les associations avec des silicates ou sous forme isolée (Fig. 4.4). Ce qui peut indiquer que le piégeage des silicates est avant celui de SMB. La position stratigraphique dans la pile ophiolitique des gisements contenant des erlichmanites a également un rôle important dans la compositions de ces minéraux. En règle générale, les erlichmanites du niveau supérieur sont riches en Os et pauvre en Ru (Fig. 4.5). Les gisements Bahram et Keramat au sommet de la zone de ransition de la séquence ophiolitique d'Assemion n'obéissent pas à cette règle. La composition des erlichmanites à l'échelle d'un gisement ne diffère pas beaucoup.

Les changements susmentionnés ont provoqués une variation cryptique de la composition chimique des erlichmanites dans la pile ophiolitique. Si on imagine que la cristallisation de ces minéraux s'est faite dans un système fermé, la saturation en soufre doit varier alternativement. Si le système a été ouvert, on doit donc imaginer le rôle d'une seconde phase fluide dans le système minéralisant. Ceci a été proposé par Ohnenstetter et al. (1986) pour expliquer la variation cryptique dans la composition des laurites à Bird River Sill.

La comparaison des compositions moyennes des deux types d'erlichmanites oppose celles qui sont riches en osmium sont pauvres en rhodium et nickel par rapport à celles qui sont riches en Ru. Les premières renferment une faible teneur en platine (0,008% at.) et plus de soufre plus que les dernières. Toutes les erlichmanites sont enrichies en Ir par rapport aux laurites. Ce qui semble indiquer l'importance de la

fugacité en soufre pour la participation de l'Ir dans les phases sulfurées. Les erlichmanites sont également plus riches en métaux de base surtout en Ni par rapport aux laurites et contiennent de faibles teneurs en Pt et Pd.

En raison de la petite taille des erlichmanites, nous n'avons pu analyser que dans un grain , le coeur et la bordure. La comparaison de ces deux analyses montre la même zonation que dans les laurites, c'est à dire l'augmentation de Os et la diminution de la teneur en Ru du centre vers la bordure de minéral.

Il y a une forte corrélation négative entre l'osmium et le ruthénium dans le réseau des erlichmanites d'Assemion (Fig. 4.2). Ce qui indique une substitution complète entre ces éléments. En comparant les teneurs en osmium par rapport à l'iridium dans la composition des erlichmanites, nous avons pu observer que dans les erlichmanites du type riche en Os, la coefficient de corrélation est plus faible que dans celles pauvres en Os. Ceci indique une fugacité plus forte en soufre, l'iridium pouvant participer dans les autres phases sulfurées. La teneur en Ir dans les deux types d'erlichmanites du niveau supérieur de la séquence ophiolitique est moins forte que dans les erlichmanites des gisements du niveau inférieurs.

Comme pour les laurites, nous n'avons pas trouvé de relations chimiques entre la composition des erlichmanites et les éléments constitutifs de la chromite à l'échelle stratigraphique.

4.2.2. Les alliages

Nous avons trouvé 7 et 13 grains d'alliages dans les chromitites de Neyriz et d'Assemion respectivement. Ils forment environ 11% de la totalité des MGP à Neyriz et 8% à Assemion. Ils se trouvent en majorité dans les gisements du niveau inférieur des piles ophiolitiques et sont normalement observés dans les zones intermédiaires ou centrales des minéraux hôtes. La précipitation des alliages montre un déficit en soufre du système, et ceci dans un même échantillon. La différence entre la fugacité en soufre des deux systèmes minéralisants a influencée le mode d'occurrence des alliages dans les deux régions. Les alliages se subdivisent en deux groupes: a) les alliages de type Os-Ir-Ru; b) les alliages de type Pd et Rh.

4.2.2.1. Les alliages de Os, de Ir et de Ru

L'osmium et le ruthénium cristallisent dans le système hexagonal et l'iridium dans le système cubique. A cause de cette différence de structure dans la nomenclature proposée par Harris et Cabri (1973) et celle plus récente de Harris et

Cabri (1991) pour les mélanges ternaires de ces éléments, il y a une zone d'immiscibilité le long du joint Ru-Ir et le long du joint Os-Ir. Six alliages (86%) du secteur de Neyriz et neuf (69%) d'Assemion sont de ce type d'alliage.

Les alliages des éléments du groupe du platine sont différents dans les deux ophiolites. Les alliages sont présents principalement dans des associations polyminerales (84%), soit de type alliage-silicate (50%), soit de type alliage-silicate-silicate (17%), soit encore de type alliage-alliage (17%), et uniquement 16% apparaissent comme minéral isolé dans les chromitites de Neyriz alors que dans les chromitites d'Assemion ils sont toujours en association avec des laurites et dans un cas avec une erlichmanite riche en Ru. La morphologie et la taille des alliages dans deux secteur sont également différentes. Les alliages sont en grains rectangulaires avec une taille moyenne de 2 micromètres à Neyriz alors que la taille des alliages en Assemion est beaucoup petite, avec une taille toujours inférieur au micromètre. La taille moyenne est environ de 0,3 micromètre. Leurs morphologies sont soit subautomorphes, soit xénomorphes. Ils sont attachés aux autres MGP et dans un cas on l' a observé en inclusion dans une laurite, échantillon 11A (Photos, Photos 2, 3, 4, 5 et 6, Planche VII).

Dans les chromitites de Neyriz, les alliages sont riches en Os et en Ir, la teneur de Ru ne depasse pas 10% atomique, et la teneur moyenne de Ru est 4% atomique (Fig. 4.8). Cette faible teneur en ruthénium est dû à l'incorporation de la majorité du Ru dans la laurite. En raison de petite taille des alliages, nous n'avons pas pu faire des analyses au coeur et à la bordure que dans un seul grain. La comparaison de ces analyses montrent une faible augmentation de la teneur en Os et une diminution de Ru et Ir du centre vers la bordure. Pt est toujours présent en faible quantité de 0,01 à 0.04 pourcent atomique. Rh peut atteindre 2 %. Les teneurs en éléments de transition dans le réseau des alliages ne dépassent presque jamais le pourcent atomique, à l'exception du Cu qui est présent avec des teneurs de plus de 1% atomique dans une iridosmine et un osmiridium (échantillons 18N et 26N). Des teneurs significatives en Rh, Pt, Pd, Ni et Cu ont été signalées dans d'autres ophiolite (Legendre 1982, Augé 1988, Karaj 1992).

L'analyse semi-quantitative des alliages d'Assemion donne une composition quasiment pure d'osmium ou pure d'iridium. Six grains de ces alliages sont de l'osmium et trois de l'iridium. Le mode d'occurrence de ces alliages pourrait être interprétée comme une exsolution des alliages du réseau des laurites à cause de la déstabilisation des phases primaires. Il a été proposé que la croissance des alliages peut reprendre après le dépôt de la laurite (Legendre 1982). Dans le cas où l'on trouve

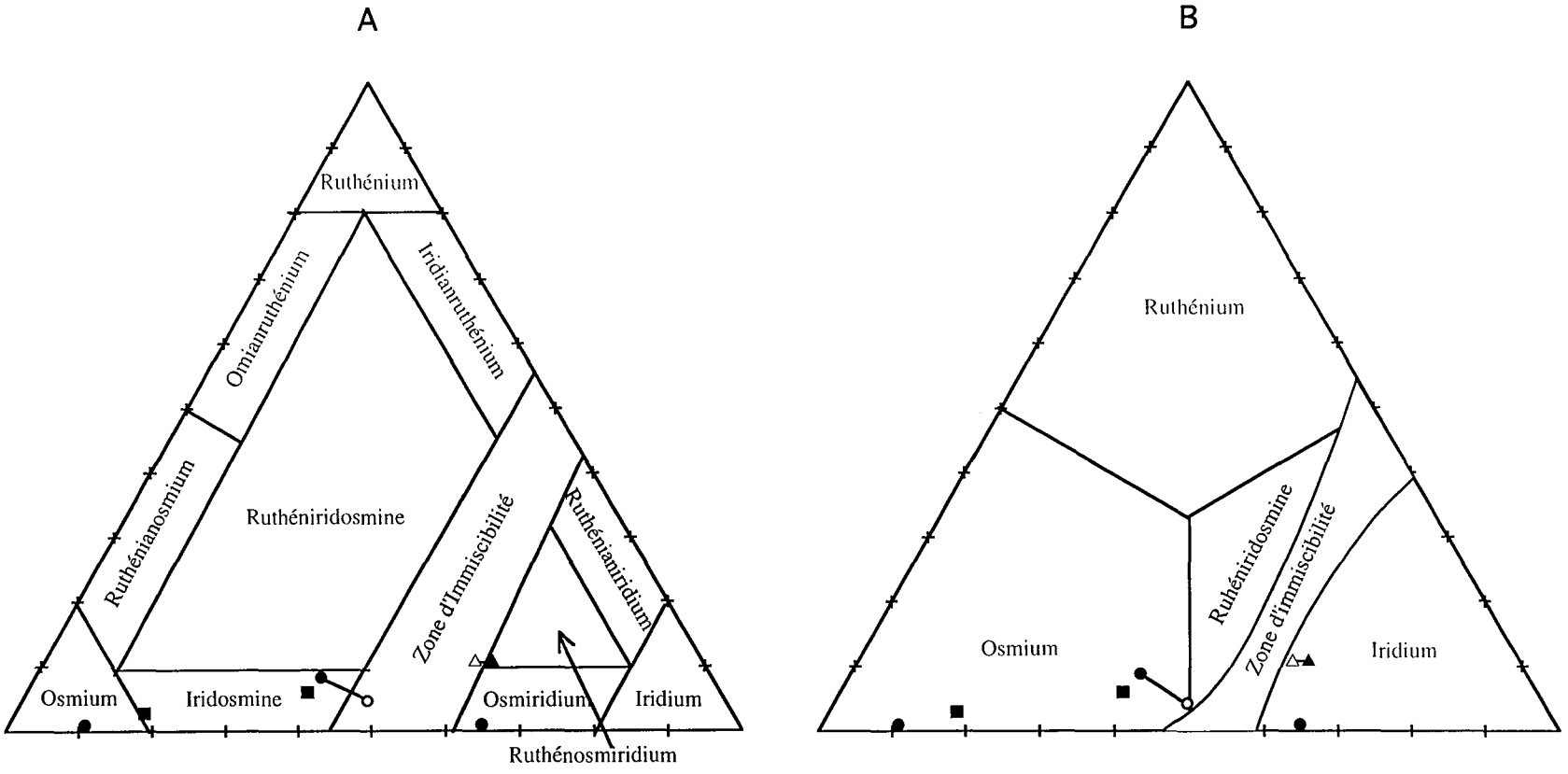


Fig. 4.8. Composition des alliages d'Os, Ir et Ru, inclus dans les chromites des gisements de Neyriz, projetéé dans les diagrammes de Harris et Cabri (1973) (A) et (1991) (B) selon leur position dans le grain de chromite. Cercles , zone de bordure; carrés, zone intermédiare; triangles, coeur du grain de chromite. Symboles pleins correspondent à la composition du coeur des alliages et les symboles vides indiquent les analyses obtenues à la bordure des alliages.

l'osmium à l'interieur de la laurite, on peut interpréter cette observation comme une exsolution ou comme un eutectoïde entre laurite et l'osmium.

Sur la base de la nomenclature proposée par Harris et Cabri (1991) on subdivise les alliages que nous avons rencontré dans les chromitites de Neyriz en deux groupes. Ce sont les suivants:

- osmium
- iridium

4.2.2.1.1. Osmium

L'osmium cristallise dans le système hexagonal. Il est anisotrope de couleur blanc assez bleutée avec un pouvoir réflecteur d'environ 60%. Nous avons trouvé quatre grains de ce type d'alliage, trois dans le massif de Cheshmeh Bid (échantillons 17N, 26N et 38N) et un à Khajeh Jamali (échantillon 45N). Le dernier a une composition sur le joint osmium-ruthéniridosmine (Fig. 4.8). Les alliages ont une tendance à être automorphe. La composition des alliages du massif de Cheshmeh Bid est liée à la position stratigraphique, le niveau stratigraphique le plus supérieur est le plus riche en Os. Le minéral le plus riche en Os est un grain isolé de taille 1.7 micromètre. Sa composition chimique est la suivante $Os_{0,90}Ir_{0.10}$. Les deux autres alliages de Cheshmeh Bid ont des compositions de $Os_{0.79}Ir_{0.17}Ru_{0.03}Pt_{0.01}$ e t $Os_{0,54}Ir_{0,38}Ru_{0,06}Pt_{0,02}$ qui tombent au champs d'iridosmine dans l'ancienne classification de Harris et Cabri (1973). Tous les deux sont en association minérale avec des silicates. L'alliage qui est sur le joint d'osmium-ruthéniridosmine et près de la zone d'immiscibilité vient du gisement Khajeh Jamali (échantillon 45N) avec une composition de $Os_{0,45}Ir_{0,45}Ru_{0,05}Rh_{0,03}Pt_{0,02}$ .On a également observé un grain d'une taille de 3 micromètres en association avec un pyroxène. L'analyse de la bordure de ce minéral donne une composition plu riche en Os et Ru par rapport à la partie centrale de cet alliage (Fig. 4.8).

4.2.2.1.2. Iridium

L'iridium cristallise dans le système cubique. Sa couleur est blanc brillant avec le pouvoir réflecteur d'environ 72%. Il est isotrope et ne présente ni biréflectance ni pléochroisme. Nous avons trouvé deux alliages d'iridium qui viennent respectivement de Cheshmeh Bid et d'Hassankhani. L'alliage de Cheshmeh Bid (échantillon 18N) a une taille de 1 micromètre avec la composition suivante: $Ir_{0.63}Os_{0.35}Pt_{0.01}Cu_{0.01}$. Dans l'ancienne nomenclature de Harris et Cabri (1973), il s'agit d'un osmiridium. Cet alliage est en association avec des alliages formant une solide solution de Fe et de EGP. L'alliage de Hassankhani a une composition de:

$Ir_{0,56}Os_{0,27}Ru_{0,10}Pt_{0,03}Rh_{0,02}Cu_{0,01}$ et sa taille est de 2,5 micromètre. Il est en association avec un clinopyroxène. L'alliage d'iridium est plus riche en Pt par rapport à l'alliage d'osmium. Cette teneur élevée en Pt a été également signalée dans des alliages d'iridium (Legendre 1982, Karaj 1992). Le système cristallin identique de Ir et Pt peut expliquer cette substitution. Quatre des six alliages observés se trouvent dans les échantillons que ne contiennent pas d'autres MGP, mais dans deux cas les alliages sont associés avec des laurites. Comme ces alliages peuvent se trouver dans la même position dans le minéral hôte que les sulfures, une différence de la fugacité en soufre à petite échelle peut expliquer leur présence. Il a également été proposé que pour une température fixe, la fugacité en soufre necessaire pour la formation de RuS_2 est moindre que pour la formation des sulfures d'Os et d'Ir (Westland 1981, Legendre 1982, Talkington et Lipin 1986, Fleet et al. 1993). Corrivaux et Leflamme (1990) ont proposé que les alliages de l'ophiolite de Thetford Mines, Québec se sont formés lors de la transformation des sulfures durant la serpentinisation. Mais dans notre cas une étude plus précise au MEB ne montre pas de traces de désulfuration des grains et ils sont loin des fissures dans la chromite.

4.2.2.2. Les alliages de Pd et de Rh

Le palladium et le rhodium cristallisent dans le système cubique. Les pouvoir réflecteurs du palladium et du rhodium sont respectivement d'environ 70% et 75% . Le rhodium a été trouvé dans le complexe de Stillwater au Montana (Cabri et Laflamme 1974). L'analyse à la microsonde électronique donne la composition suivante: $Rh_{0,57}Pt_{0,43}$. Le palladium a été trouvé à Choco Cauca en Colombie, à Itabria, Minas Gerais au Brésil, dans l'oural en Russie, à Lubin Copper Mine, dans le Zechstein en Pologne et dans le Transvaal en Afrique du Sud, dans le massif du Monte Maggiore en France (Ramdhor 1969, Ohnenstetter 1992). Il peut avoir une origine primaire en association avec le platine (Choco Cauca, Colombie), ou une origine secondaire comme produits d'oxydation des sulfures palladifères ou stibiopalladinite Pd_3Sb (Transvaal, Afrique du Sud). Le palladium peut exister sous forme d'alliages dans des conditions moins forte de la fugacité en soufre, c'est à dire quand log fS_2 <-6.7 (Peregoedova 1998).

La présence de ces éléments comme alliages n'a pas été décelée jusqu'à présent dans les chromitites ophiolitiques et nous pensons que c'est la première fois que l'on a mis ces éléments comme pur métal ou alliage dans les complexes ophiolitiques. Nous avons rencontré quatre grains de ce groupe dans le secteur d'Assemion, trois alliages de palladium (échantillon 5A, 6A et 48A) et un de rhodium (échantillon 36A). Dans les chromitites du massif de Cheshmeh Bid de Neyriz, nous avons trouvé un seul grain d'alliage de palladium (échantillon 19N). Les faits remarquables concernant ces

alliages sont premièrement qu'ils forment des grains isolés et que deuxièmement ils se trouvent au centre des spinelles hôtes. Ils présentent tous la même taille. Leur taille moyenne est de 1,5 micromètre mais, ils peuvent être automorphe, subautomorphe et xénomorphe (Photos 7 et 8, Planche VII). Le mode d'occurrence de ces minéraux ne montre pas des traces d'altération secondaire. La présence de ces alliages dans les échantillons qui contiennent des laurites peut s'expliquer par le déficit de la fugacité en soufre. La fugacité en S, nécessaire pour la sulfuration du palladium et du rhodium est plus élevée que celle nécessaire pour la sulfuration du ruthénium (Fig. 4.9). Pour cela, dans les échantillons incluant Pd, Rh et Ru, c'est RuS_2 qui est la forme sulfurée alors que Pd et Rh restent avec sous l'état métallique. Les analyses des alliages de palladium ont les compositions suivantes:

Secteur	Gisement	échantillon	composition
Assemion	Fétr	48A	$(Pd_{0.988}Pt_{0,012})$
Assemion	Chahriar	5A	$(Pd_{0.987}Rh_{0.013})$
Assemion	Bahram	6A	$(Pd_{0.891}Fe_{0.101})$
Neyriz	Cheshmeh Bid	19N	$(Pd_{0.70}Fe_{0.26}Os_{0,02}Ni_{0,02})$

L'alliage de Rh a une composition composite de Rh-Ir-Os-Ru. C'est un minéral automorphe d'une taille de 2,4 micromètre avec la composition de $(Rh_{0,46}Ir_{0,40}Os_{0,09}Ru_{0,05})$. Il se trouve en association avec une amphibole.

4.2.3. Les sulfoarséniures

Nous avons rencontré sept MGP du type sulfoarséniures au cours de cette étude, deux grains à Neyriz et cinq à Assemion. Ils constituent 3% de la totalité des MGP dans chaque région. La morphologie des minéraux varie depuis une forme automorphe à des formes arrondies. 5 grains des ces minéraux sont associés avec un autre MGP, un grain est en association avec un silicate (amphibole) et un grain est isolé. La position stratigraphique des sulfoarséniures dans deux secteurs est différente. Les sulfoarséniures de Neyriz appartiennent au niveau supérieur du massif de Cheshmeh Bid alors que ces minéraux à Assemion se trouvent dans les gisements du niveau inférieur de la séquence ophiolitique. La présence de sulfoarséniures rend compte des concentrations locales d'arsenic. Plusieurs auteurs ont signalé une origine secondaire pour les sulfoarséniures (Cabri et Harris 1975, Feather 1976, Stumpfl et Tarkian 1976, Nixon et al. 1990). Suivant cette hypothèse les sulfoarséniures se formeraient lors de la transformation des sulfures et des alliages primaires ou pendant la remobillisation des EGP. La présence de sulfoarséniures n'accompagnant pas d'autres MGP, leurs morphologies et leurs distances par rapport aux fissures dans la

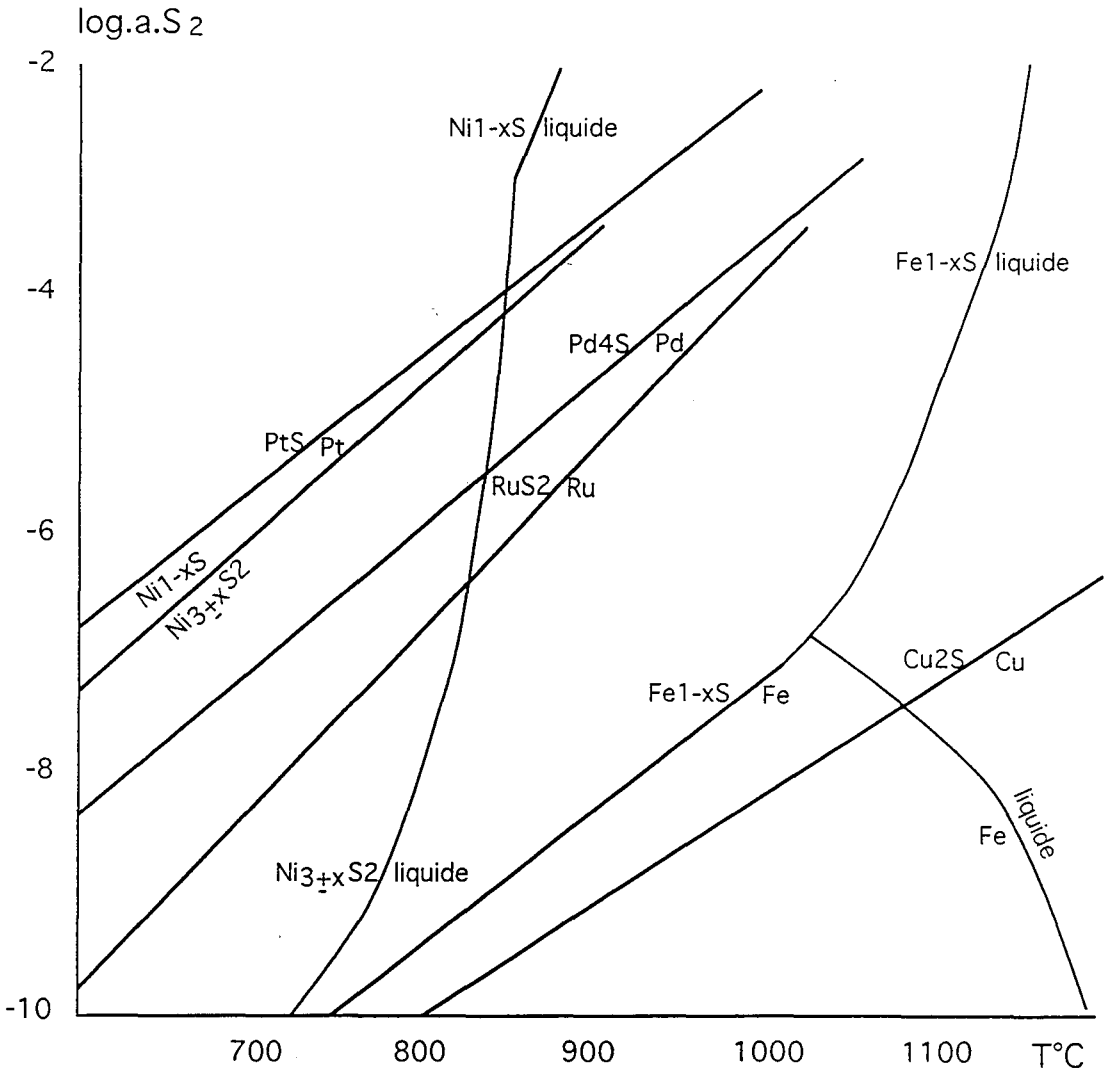


Fig. 4.9. Courbes de sulfuration des principaux métaux de base et métaux nobles; modifié d'après Peregoedova (1998).

chromite sont incompatibles avec une origine secondaire. La position de ces minéraux dans les spinelles hôtes est également différente. Les sulfoarséniures de Neyriz se présentent dans la zone intermédiaire des chromites alors que celles d'Assemion se trouvent à la périphérie des minéraux hôtes. La taille des sulfoarséniures varie entre 0,3 et 10 micromètres avec une taille moyenne de 3,4 micromètre (Photos 1 et 2. Planche VIII). La composition chimique de ces phases permet de les subdiviser en deux groupes: les hollingworthites et les irarsites. Les deux types de minéraux

forment une série isostructurale (Tarkian et Prichard 1987). Il a été proposé que la cristallisation des minéraux du groupe irarsite-hollingworthite soit réalisée dans un système relativement pauvre en platine (Tarkian et Prichard 1987).

4.2.3.1. hollingworthite

L'hollingworthite a été decouverte comme un nouveau minéral de "Druek Mine", Transvaal par Stumpfl et Clark (1965). Elle cristallise dans le système cubique. Sa couleur est blanc avec un pouvoir réflecteur d'environ 50%. Nous avons trouvé deux grains d'hollingworthites chacune d'une région. Les holingworthites sont du type Ir>Ru commes celles décrites dans l'ophiolite de Shetland par Tarkian et Prichard (1987). L'analyse à la microsonde électronique donne les compositions suivantes:

secteur	gisement	échantillon	composition
Assemion	Chahine	36A	$(Rh_{0,41}Ir_{0,33}Ru_{0,21}Os_{0,05})(As_{0,60}S_{0,31})S$
Neyriz	Cheshmeh Bid	2N	$(Rh_{0,41}Ir_{0,26}Ru_{0,24}Os_{0,09})(As_{0,69}S_{0,30})$.

La taille de grain de Neyriz nous a permis à analyser la bordure de minéral. La comparaison des analyses du centre et de la bordure indique une augmentation de Rh et diminution des teneurs en Ir, Ru et Os du bord par rapport au centre de minéral. Les teneurs des anions sont pratiquement constantes. Il y a une augmentation légère en As est couplée à une diminution en S vers la bordure.

4.2.3.2. Irarsite

L'irarsite cristallise également dans le système cubique. Elle constitue une série isostructurale avec l'hollingworthite. Elle a été rapporté pour la première fois à Onverwacht, Transvaal par Genkin et al. (1966). Sa couleur est blanc gris avec un pouvoir réflecteur d'environ 40%. Nous avons rencontré 4 grains d'irarsite à Assemion et 1 grain à Neyriz. La taille et la composition des irarsites sont plus variables que celles des hollingworthites. La taille des ces minéraux varie de 0,3 à 10 micromètres. Les compositions suivantes sont obtenues à la microsonde:

secteur	gisement	échantillon	composition
Assemion	Reza Balla	14A	$(Ir_{0,94}Cu_{0,03}Ru_{0,02}Rh_{0,01})(As_{0,96}S_{0,04})S_{1,03}$
Assemion	Chahine	34A	$(Ir_{0,88}Rh_{0,12})(As_{0,97}S_{0,03})S_{1,11}$
Assemion	Nematte	53A	$(Ir_{0,94}Os_{0,06})(As_{0,95}S_{0,05})S_{1,21}$
Neyriz	Cheshmeh Bid	30N	$(Ir_{0,72}Ru_{0,17}Os_{0,05}Pt_{0,01}Rh_{0,01}Pd_{0,01})(As_{0,69}S_{0,31})S_{1,1}$

La comparaison des analyses du centre et de la bordure de la plus grosse irarsite montre une faible augmentation en iridium et en arsenic du centre vers la bordure du grain. Dans les formules structurales des irarsites, les teneurs en soufre et en arsenic

sont plus élevées que dans celles des hollingworthites comme cela avait déjà été mis en évidence par Ohnenstetter et al. (1991). Les compositions des sulfoarséniures sont reportées dans les diagrammes triangulaires (Fig. 4.10).

4.2.4. Les minéraux formant des solutions solides

Les éléments du groupe du platine forment des minéraux de type solutions solides avec des métaux de base (Ni, Fe et Cu). Nous avons trouvé 22 grains de ces minéraux dans les chromitites d'Assemion et 4 grains dans les chromitites de Neyriz donc ils constituent 14% et 6% de la totalité des MGP à Assemion et à Neyriz respectivement. Les minéraux formant des solutions solides se trouvent dans tous les niveaux stratigraphiques à Assemion alors qu'à Neyriz, ils se trouvent dans les massifs de Cheshmeh Bid et Rajoni. On les subdivise en deux groupes: a) les sulfures; b) les alliages.

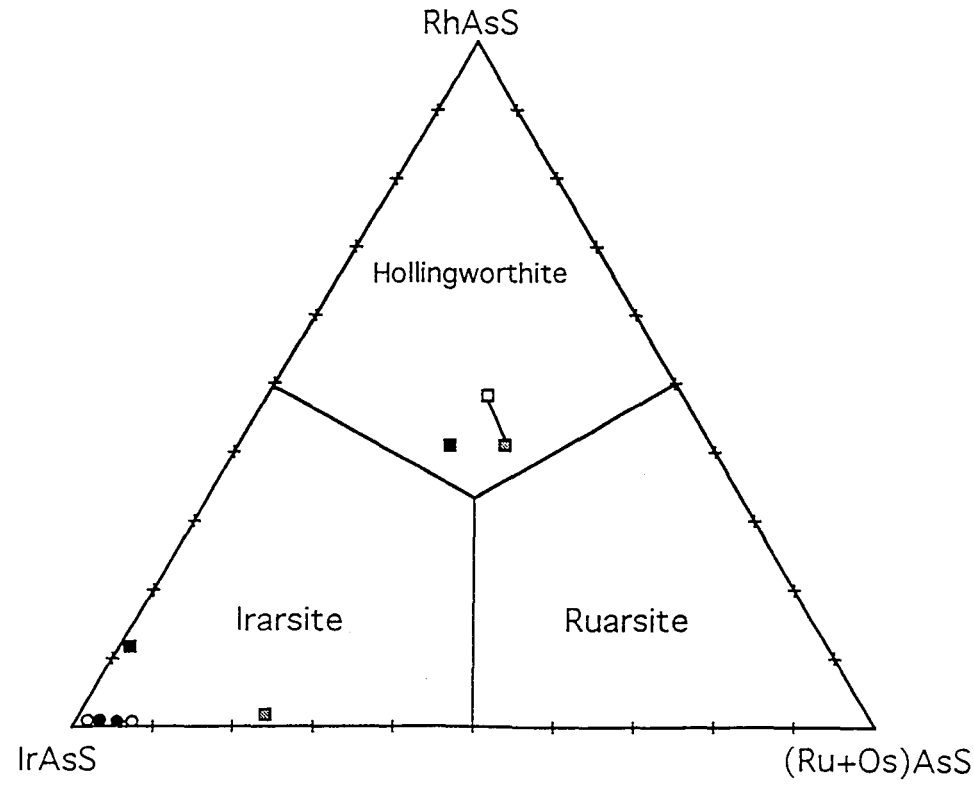


Fig. 4.10. Projection des sulfoarséniures inclus dans les chromites des gisements dans le triangle [Rh-Ir-(Ru+Os) AsS] selon leur position dans le grain de chromite. Cercles pleins, zone de bordure; carrés, zone intermédiare. Les symboles niors montrent la composition des sulfoarséniures d'Assemion, les symboles gris indiquent la composition des sulfoarséniures de Neyriz et les symboles vides correspondent aux analyses obtenues à la bordure des minéraux.

4.2.4.1. Les sulfures

Nous avons trouvé 19 grains d'inclusion du type sulfure solution-solide à Assemion alors que il n'existe qu'un grain à Neyriz. L'importance en nombre des sulfures dans la région d'Assemion par rapport à Neyriz serait le témoin d'une plus forte fugacité en soufre dans le secteur d'Assemion . La majorité des minéraux de ce type forment des associations polyminérales (90%) et surtout participent dans les assemblages qui contiennent au minimum un autre MGP (60%). La morphologie des minéraux varie d'automorphe à subautomorphe. Ils sont de petite taille, leur taille varie entre 0,3 et 4 micromètres. La taille moyenne est 1,9 micromètre.

La majorité des minéraux du type sulfure solution-solide (70%) se trouvent vers la périphérie des minéraux hôtes. Leurs compositions chimiques sont complexes et les teneurs des différents éléments de ces minéraux varient dans un vaste domaine. Les minéraux identifiés sont les suivants:

4.2.4.1.1. Malanite

La malanite cristallise dans le système cubique. Il a un pouvoir réflecteur d'environ 70% et sa couleur est blanc éclatant. La formule stoechiométrique de ce minéral est $Cu(Pt,Ir)_2S_4$. Ce minéral n'est présent que dans une seule association avec la laurite dans le gisement de Rajoni du secteur de Neyriz (échantillon 28N, Photo 3, Planche VIII). Elle forme un petit grain subautomorphe d'une taille de moins de 1 micromètre. L'analyse de la microsonde et la comparaison avec l'analyse semi-quantitative au MEB donnent la composition suivante: $(Cu_{0,74}Ni_{0,28}Fe_{0,12})(Pt_{0,73}Ir_{0,71}Rh_{0,28}Ru_{0,25})\ S_4$. La formule montre une très forte solution solide entre la malanite et la cuproiridsite. En raison de la petite taille, le ruthénium présent dans la formule structurale peut être dû à la contamination de la laurite adjacente. La malanite dans notre cas est plus riche en Ir, Ru ,Ni et Fe et plus pauvre en Rh par rapport à la malanite décrite par Neziraj (1992) en Albanie. En Albanie elle a une taille de 20=14 micromètres avec une composition de $(Cu_{1,02}Fe_{0,06}Ni_{0,02})(Pt_{0,96}Rh_{0,90}Ir_{0,03})S_{4,02}$.

4.2.4.1.2. Cuproiridsite

La cuproiridsite cristallise également dans le système cubique. Elle forme une série isostructurale avec la malanite. Sa couleur est grise avec un pouvoir réflecteur d'environ 32%. La formule structurale de ce minéral est $CuIr_2S_4$. Une grande partie des sulfures du type solide solution à Assemion (42%) montre une composition proche de la cuproiridsite. Nous pouvons proposer la composition moyenne suivante: $(Cu_{0,78}Ni_{0,05}Fe_{0,06})(Ir_{1,51}Rh_{0,27}Pt_{0,03})S_4$ pour les minéraux de ce type en Iran (Photo 4, Planche VIII).

Comme l'indique la composition moyenne, d'une part le cuivre est remplacé par le nickel et le fer et d'autre part l'iridium est remplacé par le rhodium et en plus faible quantité par le platine. La substitution de cuivre par Ni dans le réseau de cuproiridsite a été signalée par Johan et al. (1990) et par Karaj (1992). La substitution de Cu par Ni et Fe dans nos échantillons est moins forte par rapport aux échantillons albanais. Karaj (1992) a également montré des trace significatives de Ru, Os et Pd, ce qui n'existe pas dans les cuproiridsites que nous avons étudiés. La plupart des minéraux se projettent le long du joint Rh-Ir (Fig. 4.11).

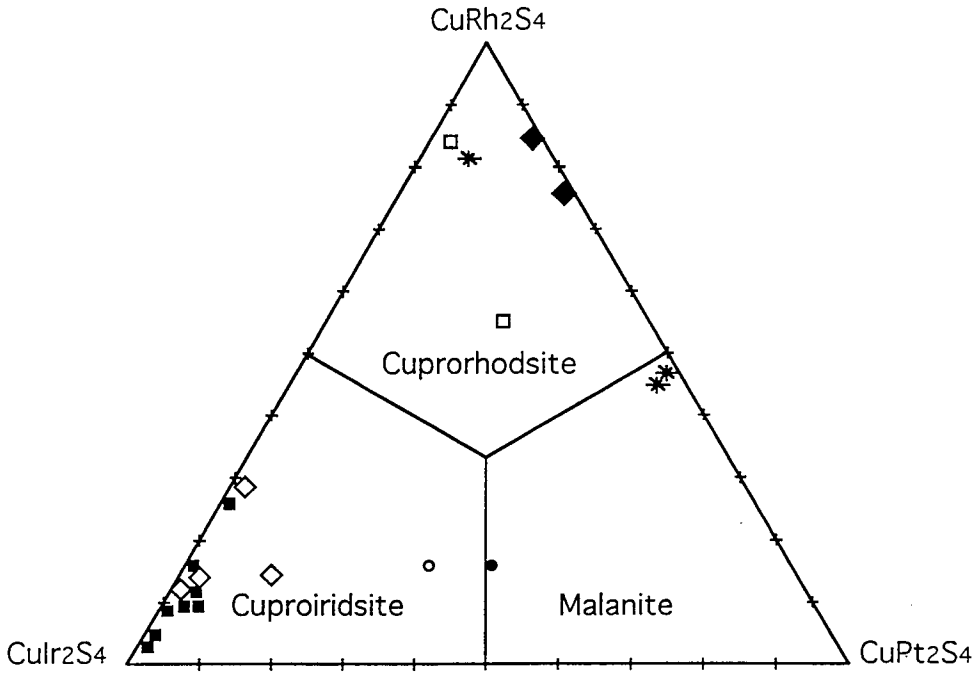


Fig. 4.11. Projection des sulfures de cuivre et d'éléments du groupe du platine dans le triangle cuproiridsite-mallanite-cuprorhodsite; cercle, Neyriz; carré, Assemion. Comparer avec Fifield, Australie (carrés vides) Johan et al. (1989,1991), Thetford Mines, Canada (cercles vides) Corrivaux et Laflamme 1990, Durance, France (losanges pleins) Johan et al. (1990), Bulqiza, Albanie (losanges vides) Karaj 1992, Tropoja, Albanie (étoiles) Neziraj 1992.

4.2.4.1.3. Innomé Ni_2IrS_4

Nous avons rencontré des minéraux de couleur blanc jaunâtre avec un pouvoir réflecteur d'environ 50%. Ils constituent 32% da la totalité des sulfures solutions solides à Assemion et leurs compositions sont proches de Ni_2IrS_4. Dans le réseau de ces minéraux le nickel est remplacé par le cuivre et le fer, et l'iridium est remplacé par

le rhodium. La composition chimique moyenne de ce groupe est: $(Ni_{1,28}Cu_{0,44}Fe_{0,44})(Ir_{1,08}Rh_{0,10})S_4$ (Photo 5, Planche VIII).

4.2.4.1.4. Innomé $NiIrS_2$

C'est un minéral de couleur blanche jaunâtre avec un pouvoir réflecteur un peu plus prononcé que pour l'innomé précédant. Dans la formule structurale, le ruthénium, l'osmium et le rhodium remplacent l'Ir. Ce minéral est d'une taille de 1,5 micromètre et se trouve en association avec une erlichmanite donc une partie du Ru et de l'Os peut être dûe à la contamination par l'erlichmanite. L'analyse à la microsonde donne la composition suivante:

$(Ni_{0,54}Cu_{0,20}Fe_{0,16})(Ir_{0,45}Ru_{0,23}Os_{0,14}Rh_{0,07})S_2$

D'après la composition de ces minéraux, on peut déduire une forte activité en Ir, Ni et Cu dans le système minéralisant d'Assemion. Egalement la ressemblance des systèmes cristallins de ces éléments (cubique, groupe spatial Fm3m) peut être la cause de la formation des solutions solides entre Ni et Ir. Berlincourt et al. (1981) a signalé que l'iridium forme une série complète avec le nickel à toute température jusqu'au liquidus. Ni forme les solutions solides complètes avec les éléments Fe, Pd, Pt et Rh, mais elles sont contraintes par la température.

4.2.4.2. Les alliages

Nous avons trouvé 3 grains d'alliage formant une solution solide entre les éléments Cu, Fe et Ni avec Ru, Os et Ir dans les chromitites d'Assemion et également 3 grains à Neyriz. Ils sont automorphes ou subautomorphes. Ils se trouvent en moins grande quantité par rapport aux sulfures-solutions-solides mais, en revanche ils sont de plus grande taille que les sulfures. Les tailles moyennes de ces minéraux sont de 2,8 et de 7,3 micromètre à Assemion et à Neyriz respectivement. Le type d'assemblage de ces minéraux est très variable. Ils peuvent être isolés, associés avec un silicate, associés avec un alliage ou former une association polyminérale avec irarsite-digenite-amphibole (Photos 6, 7 et 2, Planche VIII). La dispersion des alliages est beaucoup plus limitée que celle des sulfures. En Assemion, ils ont été trouvés dans les gisements Chahine et Chojaie et à Neyriz dans le massif de Cheshmeh Bid. Tous les alliages sont toujours présent dans la zone de bordure des minéraux hôtes.

La formule structurale de la majorité de ces minéraux est proche de Fe_2Ru. Ils ont des compositions chimiques complexes et les teneurs des éléments varient indépendamment. Ces types d'alliages ont été décrits au Pakistan (Ahmed et Bevan 1981). Les alliages du ruthénium avec les éléments de transition (Ni, Fe, Co et Cu) ont

été reportés dans les ophiolites d'Albanie par Karaj (1992) mais, dans ses échantillons le rapport (Ni+Fe+Co+Cu)/EGP est plus faible que dans notre cas et ne depasse 0,45. Les compositions obtenues au coeur de ces minéraux à la microsonde sont les suivantes:

secteur	gisement	échantillon	composition
Assemion	Chojaie	18A	$(Fe_{0,56}Ni_{0,08})(Ru_{0.25}Os_{0.05}Ir_{0.04}Rh_{0.02})$
Assemion	Chahine	34A	$(Cu_{0,48}Fe_{0,06}Ni_{0,03})(Os_{0,21}Ir_{0.12}Ru_{0.04}Pt_{0.04}Pd_{0,02})$
Assemion	Chahine	36A	$(Fe_{0,58}Ni_{0,01})(Ru_{0.32}Os_{0.06}Ir_{0.03})$
Neyriz	Cheshmeh Bid	18N	$Fe_{0,73}(Ru_{0,12}Os_{0.10}Ir_{0.05})$
Neyriz	Cheshmeh Bid	51N	$(Fe_{0,50}Ni_{0,06})(Ru_{0.32}Os_{0.07}Ir_{0.05})$

Les données analytiques à la microsonde du centre vers la bordure de ces minéraux montrent une augmentation des EGP vers la bordure dans les alliages d'Assemion. Cette observation pourrait être reliée à un phénomène d'exsolution des EGP du réseau des sulfures. Les données d'analyses du centre et de la bordure du plus gros minéral à Neyriz ne montre pas de zonation. Les résultats d'analyses sur les alliages d'Assemion sont les suivants:

échantillon	position	composition
18A	centre de minéral	$(Fe_{0,56}Ni_{0,08})(Ru_{0,25}Os_{0.05}Ir_{0.04}Rh_{0.02})$
18A	bord de minéral	$(Fe_{0,51}Ni_{0,06})(Ru_{0,31}Os_{0.07}Ir_{0.04}Rh_{0.01})$
34A	centre de minéral	$(Cu_{0,48}Fe_{0,06}Ni_{0,03})(Os_{0,21}Ir_{0,12}Fe_{0,06}Ru_{0.04}Pt_{0.04}Ni_{0.03}Pd_{0,02})$
34A	bord de minéral	$(Cu_{0,24}Ni_{0,12}Fe_{0,04})(Os_{0,33}Ir_{0,19}Ru_{0.08}Pt_{0,02})$

Une étude plus précise au MEB montre des traces de désulfuration dans deux grains d'alliages d'Assemion (Photos 3 et 4, Planche VIII). Nous avons détecté jusqu'à 2% at. du soufre dans le réseau des alliages à l'analyses à la microsonde électronique. Ces observations indiquent que l'origine d'une partie au moins de ces alliages peut être tardive. L'hypothèse sur la réduction des sulfures et leur transformation en alliages et la diffusion des éléments a été mise en évidence dans les ophiolites de l'Oregon par Stockman et Hlava (1984).

4.3. Les minéraux de métaux de base

Ce sont les sulfures et les alliages de métaux de base (Fe, Ni, Cu) qui sont les plus abondants dans les chromitites d'Assemion par rapport aux chromitites de la région de Neyriz et en moindre quantité les arséniures et les solfoarséniures des métaux de base dans les chromitites d'Assemion. Ils sont, soit en association minérale

avec les MGP, soit en association avec des silicates sans MGP dans la chromite. Les sulfures et les alliages de ce type se trouvent également en grand nombre dans la phase intrestitielle accompagnant les silicates. Ces minéraux peuvent être présent dans tous les niveaux de la minéralisation dans les ophiolites étudiées.

4.3.1. Les sulfures

Les sulfures de métaux de base sont observés soit comme inclusion dans la chromite, soit comme minéraux interstitiels. Ils sont en plus faible quantité dans les chromitites de Neyriz que dans les chromitites d'Assemion. Nous n'avons observé que deux sulfures en association avec les MGP dans les chromitites de Neyriz. Le premier est une digenite de composition $(Cu_{1,45}Fe_{0,1})$ S (échantillon 9N) et le deuxième est une pentlandite de composition $(Ni_{4,64}Fe_{2,29}Cu_{1,63})$ S_8 (échantillon 18N). Dans les chromitites d'Assemion les sulfures qui accompagnent les MGP sont plus abondants, c'est à dire 15% de la totalité des MGP forment des associations qui contiennent un sulfure. Ce sont en majorité des sulfures de cuivre (digenite $Cu_{2-X}S$ et covellite CuS) et plus rarement des sulfures de Ni (millerite NiS) ou de Ni-Fe (pentlandite $(Fe,Ni)_9S_8$). Les minéraux accompagnant les MGP sont de petite taille. La taille moyenne de ces sulfures est de 1,7 micromètres. En général, ils présentent un habitus acciculaire à côté des MGP. Le rapport de la longuer sur la largeur des sulfures est de 2,3. Les minéraux de petite taille sont plus allongés que les grains les plus gros (Photos 1 et 2, Planche IX). Cette forme de cristallisation peut être liée à un phénomène d'exsolution entre les éléments du groupe du platine et les éléments des sulfures de métaux de base à petite échelle.

Nous avons également observé les sulfures de métaux de base formant des inclusions isolées ou en association avec des silicates sans MGP ou dans la phase silicatée interstitielle. Ils sont de plus grande taille que les sulfures qui se trouvent en association minérale avec des platinoïdes. Leurs tailles sont de l'ordre de 10 à 40 micromètres mais dans certain cas nous avons rencontré des sulfures de taille proche d'une centaine de micromètre (Photo 3, Planche IX).

En absence de la phase silicatée, les sulfures de métaux de base se trouvent isolés dans la chromite mais, quand la proportion des silicates augmente, ils leur sont liés ou ils sont inclus dans ces silicates. Les sulfures et les silicates sont toujours xenomorphes et parfois de forme amiboïde (Photos 4 et 5, Planche IX). Il est proposé par Legendre (1982), Talkington et al. (1984) et Von Gruenewaidt et al. (1990) que les sulfures de métaux de base soient inclus à l'état liquide pendant la croissance de la chromite. Cette hypothèse semble indiquer que les silicates jouent un rôle

prépondérant de collecteur des sulfures de métaux de base au cours de la cristallisation de la chromite. La composition et la taille des sulfures isolés ou accompagnant les silicates dans la chromite et celles des sulfures intrestitiels ne changent pas de façon régulière et sont indépendantes de leurs modes d'occurrence. On peut trouvé plusieurs sulfures de composition et de taille différentes dans un même échantillon (échantillons 18N, 65A).

Les sulfures que nous nous avons rencontré dans les échantillons étudiées sont les suivants:

4.3.1.1. Millerite

La millerite cristallise dans le système hexagonal. Sa couleur au microscope métallographique est blanche jaunâtre avec un pouvoir réflecteur environ de 55%. Elle a un pléochroïsme net allant du jaune clair au jaune pâle. Son anisotropie est forte. La millerite et l'heazlewoodite sont les sulfures les plus abondants dans les ophiolites de Neyriz et d'Assemion. Ce qui indique une forte teneur en Ni dans les systèmes minéralisants. La formule stoechiomètrique de ce minéral est NiS. Elle est observée en grand nombre dans la chromite et également dans la phase intrestitielle. Les données analytiques de ces minéraux dans les chromitites de la région de Neyriz montrent un faible déficit en soufre par rapport à la formule structurale, alors que celles de millerites d'Assemion ont un leger exces en soufre. Les compositions moyennes des millerites sont respectivement de $NiS_{0,94}$ à Neyriz et $NiS_{1,05}$ à Assemion. Nous n'avons pas observé un remplacement important de S par As dans la composition des millerites.

4.3.1.2. Heazlewoodite

La heazlewoodite cristallise dans le système hexagonal avec une couleur jaune crème et le pouvoir réflecteur est d'environ 55%. Sa formule structurale est Ni_3S_2. Ce minéral est observé de nombreuses fois dans les chromitites, surtout comme phase intrestitielle. La proportion de ce minéral par rapport à celui de la millerite est plus important dans la région de Neyriz que dans la région d'Assemion. Nous avons observé du fer et du cuivre dans quelques heazlewoodites mais en général le pourcentage de ces deux éléments ne dépasse pas les 10% atomique. Les compositions moyennes de ces minéraux dans ces deux régions sont proches de la composition stoechiomètrique, c'est à dire $Ni_3S_{2,01}$ dans les heazlewoodites des chromitites de Neyriz et $Ni_3S_{1,99}$ dans les heazlewoodites des chromitites d'Assemion.

Une étude experimentale récente dans le système Fe-Ni-S (Fedorova et Sinyakova, 1993) montre que heazlewoodite cristallise avant la pentlandite. La

heazlewoodite se forme de 876°C à 806°C. La présence de fer dans la composition de ce minéral peut étendre le champ de stabilité de la heazlewoodite.

4.3.1.3. Pentlandite

La pentlandite cristallise dans le système cubique, elle possède une couleur blanc-jaunâtre. Son pouvoir réflecteur est environ de 50% et sa formule stoechiomètrique est $(Fe,Ni)_9S_8$. L'étude éxpérimentale du système Fe-Ni-S par Kullerud (1963) montre que la pentlandite apparaît à 610°C. La présence de cuivre dans ce système peut élever la stabilité de pentlandite. Hill (1984) a montré que la pentlandite peut coexister avec une solution solide monosulfurée. La chalcopyrite peut apparaître à une température supérieure de 300°C au-dessus de l'apparition de la pentlandite dans le système pur Fe-Ni-S. Cependant, une étude récente sur le système Cu-Fe-Ni-S (Peregoedova et al. 1995) montre que l'ajout de cuivre ne déplace pas beaucoup le champ de stabilité de la pentlandite. La pentlandite et les alliages de Ni-Fe peuvent se former à partir de $(Ni,Fe)_{3+x}S_2$ à 850°C (Karup-Moller et Makovicky 1995). Enfin, il est signalé par Ohnenstetter (1996) que la pentlandite est habituellement destabilisée en aggregat de millerite, heazlewoodite, violarite et alliage Fe-Ni. Ce qui peut expliquer la faible abondance de ce minéral par rapport aux autres sulfures dans nos échantillons. Le pourcentage de pentlandite par rapport aux millerite et heazlewoodite est inférieure à celui decrit dans d'autres ophiolites (Augé 1985,1987. Corrivaux et al. 1990, Karaj 1992, Neziraj 1992). La pentlandite est principalerment présente sous forme de minéral inclus dans la chromite et plus rarement observée dans la phase intrestitielle. Mais nous n'avons pas observé de différence chimique régulilière entre ces deux types d'occurrences. Les compositions des pentlandites varient dans une vaste domaine, surtout dans les chromitites d'Assemion. En général les pentlandites rencontrées sont plus riches en Ni par rapport aux pentlandites naturelles définies par Misra et Fleet (1973). Il semble que le rapport Ni/Fe élevé est caractéristique des pentlandites ophiolitiques (Naldrett et al. 1989). La fugacité en soufre joue le rôle principal sur le rapport Ni/Fe de la composition des pentlandites (Fedorova et Sinyakova 1993). L'augmentation de la fugacité en soufre du milieu induit une augmentation de la teneur en Ni des pentlandites (Peregoedova et al. 1995). Nous avons observé les trois types des pentlandites décrites par Neziraj en Albanie (1992):

-Les pentlandites avec la prédominance du nickel. Ces types se trouvent plutôt dans les chromitites de Neyriz avec une composition moyenne de $(Ni_{6.15}Fe_{2.69})S_8$.

-Les pentlandites avec un rapport Ni/Fe proche de 1 ou légèrement inférieur à 1 qui se trouvent principalement à Assemion. Les pentlandites avec un rapport Ni/Fe

inférieur à 1 ne sont pas présentes dans les échantillons de Neziraj (1992). Les compositions moyennes de ces types pentlandites sont respectvement $(Ni_{5,23}Fe_{4,31}Cu_{0,33})S_8$ et $(Fe_{5,04}Ni_{3,31}Cu_{0,11})S_8$.

-Dans le troisième type, une grande partie de fer et de nickel est remplacé par le cuivre. La composition moyenne de cette pentlandite est $(Ni_{4,50}Fe_{2,38}Cu_{1,77})S_8$.

Ce dernier type est un mélange de pentlandite et de chalcopyrite qui peut être dénominée comme chalcopentlandite (Neziraj 1992).

4.3.1.4. Digenite

La digenite cristallise dans le système hexagonal psuedocubique. Elle est de couleur bleu pétrole sous le microscope. Elle a un pouvoir réflecteur d'environ 25%. et sa formule structurale est $Cu_{2-X}S$. Elle est rencontré toujours en inclusion dans la chromite. La majorité des sulfures accompagnant les MGP sont des digénites. Elle se trouve également en association avec les autres sulfures des métaux de base. En règle générale, les digenites sont de petite taille (inférieur à 3 micromètres). Les compositions moyennes de ces minéraux sont $(Cu_{1,32}Ni_{0.11}Fe_{0,03})S$ à Neyriz et $(Cu_{1,63}Fe_{0,04})S$ à Assemion.

4.3.1.5. Chalcocite

La chalcocite de formule structurale Cu_2S, cristallise dans le système monoclinique. Elle est de couleur gris plomb avec un pouvoir réflecteur de 30% . Nous avons rencontré ce minéral dans un seul cas dans les chromitites d'Assemion (échantillon 34A). L'analyse à la microsonde électronique donne une composition stoechiomètrique Cu_2S pour ce grain.

4.3.1.6. Covellite

La covellite CuS avec la couleur bleu terne et un pouvoir réflecteur de 20% . cristallise dans le système hexagonal. Elle est observée dans les chromitites des deux régions avec la composition moyenne de $(Cu_{0,53}Ni_{0,20}Fe_{0,17})S$ à Neyriz et de $CuS_{1.04}$ à Assemion.

4.3.1.7. Pyrite

La pyrite FeS_2 cristallise dans le système cubique. Elle a une couleur blanche-jaunâtre ou blanche crème et un pouvoir réflecteur d'environ 50%. Elle est observée en plusieurs fois dans les chromitites d'Assemion et plus rarement dans les chromitites de Neyriz. En général elle se trouve comme phase interstitielle mais, dans un cas nous l'avons trouvé en inclusion dans la chromite (échantillon 60A). La pyrite peut se

former jusqu'à 743°C (Kullerud et Yoeder 1959). Les compositions obtenues à la microsonde electronique des pyrites sont très proches de la formule stoechiomètique. c'est a dire $FeS_{2,02}$ à Neyriz et $FeS_{2,01}$ à Assemion.

4.3.1.8. Linnaeite

Nous avons obervé exceptionnellement dans la phase intrestitielle des chromitites d'Assemion (échantillon 24A), un minéral de composition $(Co_{2,22}Ni_{1,35}Fe_{0,26})S_4$ proche de la formule structurale de linnaeite $(Co,Ni)_3S_4$. Ce minéral a une couleur blanche-grise avec un pouvoir réflecteur d'environ 40%. La linnaeite cristallise dans le système cubique. Nous n'avons pas observé de cobalt dans la composition des autres sulfures de métaux de base et le cobalt est concentré exclusivement dans ce minéral. Jusqu'au présent nous n'avons pas l'explication de cette concentration anormale.

4.3.2. Les Arséniures et sulfoarséniures

Nous avons rencontré quelques arseniures de Ni et les sulfoarseniures de Fe dans les chromitites de la région d'Assemion. Ils se trouvent dans les chromitites de différents niveaux dans la séquence ultramafique d'Assemion. Nous n'avons jamais trouvé ces minéraux inclus dans la chromite. Ceci indique une formation tardive des arseniures par rapport aux chromites.

Les sulfoarséniures et les arséniures que nous nous avons rencontré dans les échantillons étudiés sont les suivants:

4.3.2.1. Maucherite

La maucherite est un minéral de système tetragonal avec une couleur blanche rosée et un pouvoir réflecteur d'environ 50%. Sa formule structurale est $Ni_{11}S_8$. Nous avons rencontré la maucherite dans l'échantillon 71A du secteur d'Assemion. Elle a une composition proche à la composition stoechiométrique de ce minéral. La composition moyenne est de $Ni_{10,97}S_8$ (Photo 4, Planche IX).

4.3.2.2. Arsénopyrite

L'arsénopyrite FeAsS cristallise dans le système monoclinique. Elle a une couleur blanche jaunâtre et un pouvoir réflecteur environ de 50%. L'arsénopyrite est observée dans deux échantillons de la région d'Assemion (Photo 6, Planche IX). Nous n'avons pas trouvé ce minéral dans la région de Neyriz. La composition moyenne des arsénopyrites d'Assemion est $Fe(As_{0,93}S_{0,07})S_{1,07}$.

4.3.3. Les alliages

Nous avons rencontré les alliages de Ni-Fe en inclusion dans la chromite et également comme phases interstitielles dans les chromitites étudiées. Ils sont moins abondants que les sulfures. Les alliages ont une couleur blanche-jaunâtre ou blanche-argentée. Ils sont plus brillants que les sulfures. La taille générale des alliages est comme celle des sulfures et varie entre 10 et 40 micromètres. Les alliages sont souvent xenomorphes. En majorité, les alliages inclus sont présents en association avec des silicates, mais nous avons également observé les alliages en minéraux isolés dans la chromite. Les alliages interstitiels se trouvent soit associés aux sulfures, comme minéraux hôtes, soit sous forme de minéraux isolés. Lorsque les alliages accompagnent les sulfures, on peut observer des traces de désulfurisation dans les sulfures, échantillons 36A, 71A, 4N,14N (Photos 7et 8, Planche IX). Dans ce cas, ils se forment à partir de la transformation des sulfures lors de la serpentinisation. Picot et Johan (1977) proposent une température inférieure à 200°C pour la formation de l'awaruite. La formation des alliages est donc attribuée à la remobillisation des éléments lors de la serpentinisation (Stockman et Hlava 1984, Prichard et al. 1986, Nilsson 1989, Corrivaux et al. 1990). La libération d'hydrogène de l'eau pendant la serpentinisation peut causer la reduction nécessaire pour la formation des alliages (Chamberlain et al. 1965, Ramdhor 1969, Dick 1974, Eckstrand 1975). Une de ces reactions a été proposée par Betechtin et al.(1964):

$$6(Mg_{1,5}Fe_{0,5})SiO_4 + 7H_2O = (3Mg_3Si_2O_5(OH)_4) + Fe_3O_4 + H_2$$

Ohnenstetter (1992) a proposé que la precipitation de pentlandite cause une diminution de l'activité en soufre, donc l'augmentation du rapport métal/soufre dans les grains de pentlandite du coeur vers la bordure. Ce qui fait apparaître des alliages de Fe-Ni. Dans notre cas où les alliages se trouvent en association avec des sulfures, les sulfures sont beaucoup plus petits que les alliages et le contact entre les sulfures est les alliages est souvent net et nous n'avons pas trouvé une augmentation graduelle du rapport métal/soufre dans les analyses de ces phases.

Ce sont toujours les alliages de Ni et Fe. Nous n'avons pas observé des différences remarquables entre la composition des alliages inclus et celle des phases interstitielles. Les alliages que nous avons rencontrés sont les suivants:

4.3.3.1. Awaruite

C'est un minéral cubique avec la formule structurale Ni_3Fe. Parmi les alliages, l'awaruite se trouve en grand nombre dans les échantillons. Elle est présente comme

inclusion dans la chromite et également dans la phase interstitielle. Son pouvoir réflecteur est environ de 65%. A Bulqiza, Albanie, le cuivre est présent avec des teneurs significatives dans ce minéral, il constitue plus de 5,4% at., mais nous n'avons pas trouvé le cuivre dans les awaruites d'Iran. La composition des awaruites de nos échantillons est proche da la composition stoechiométrique, c'est à dire $Ni_{3,02}Fe$ à Assemion et $Ni_{3,07}Fe$ à Neyriz.

4.3.3.2. Taenite

La taenite (NiFe) cristallise dans le système cubique. Sa composition peut varier dans un vaste domaine. Dans notre cas, la composition est voisine de Ni_4Fe. Ce qui est encore un témoin d'une forte teneur en Ni dans les systèmes minéralisants. Ce minéral est rencontré souvent dans les chromitites. Les compositions des taenites sont respectivement $Ni_{3,99}Fe$ et $Ni_{3,55}Fe$ dans les chromitites de Neyriz et d'Assemion.

4.3.3.3. Tetrataenite

La tetrataenite (FeNi) est un minéral cubique. Elle forme une série structurale avec taenite. Nous n'avons rencontré ce minéral que dans trois échantillons (9A, 39A et 60A) de la région d'Assemion. Elle est présente dans la chromite et dans la phase interstitielle. La composition moyenne de ces grains est $Fe_{4,24}Ni$.

4.3.3.4. Nickel

Le nickel métal est rapporté pour la première fois dans les chromitites ophiolitiques par Legendre (1982). Dans deux cas des chromitites d'Assemion (échantillon 36A), nous avons rencontré des grains quasiment pur de Ni. La composition moyenne de ces minéraux est $Ni_{0,87}Fe_{0,08}Cu_{0,05}$.

4.3.3.5. Fer

Le fer pur a été trouvé dans l'échantillon 25A du secteur d'Assemion. C'est un minéral xenomorphe de taille de 15 micromètres dans la phase interstitielle silicatée. Les analyses du centre et de la bordure de ce grain ne montrent aucune zonation. La composition de ce minéral est $Fe_{0,98}Ni_{0,02}$.

4.3.4. EGP dans le réseau des métaux de base

La présence des EGP comme solutions-solides dans les sulfures de métaux de base est signalé par de nombreux auteurs (Vermaak et Hendricks 1976, Cabri 1981, Legendre 1982, Todd et al. 1982, Augé 1988, Neziraj 1992). Les teneurs élevées en EGP dans le réseau des sulfures de métaux de base ont été rapporteés, donc il est proposé que les SMB jouent le rôle des collecteurs chimiques pour les EGP

(Talkington et Watkinson 1986, Augé 1988). Les études expermentales sur la solubilité des EGP dans la pentlandite par Mackovicky et al. (1986) et Peregoedova (1998) confirment ces teneurs élevées.

Dans les métaux de base qui participent aux associations minérales avec les MGP, la teneur en EGP peut approcher à 11% atomique. La comparaison entre EGP dans les métaux de base et la composition des MGP adjacents montre que ces teneurs élevées en EGP enregistrées dans les métaux da base adjaçant de MGP s'expliquent par une contamination en EGP des MGP lors de l'analyse.

Les éléments du groupe du platine sont présents en teneur très faible dans les réseaux des sulfures et des alliages des métaux de base qui sont loin des MGP ou qui sont dans la phase interstitielle des chromitites. Les EGP dans les sulfures de métaux de base des complexes ophiolitiques ont été signalés (Cabri et al. 1981, Prichard et al. 1986, Johanessen 1992, Karaj 1992). La teneur totale des EGP dans les sulfures des métaux de base de la région de Neyriz varie de 0,08% (échantillon 45N) à 2,13% (échantillon 18N) avec une moyenne de 0,51% atomique et dans les sulfures des métaux de base d'Assemion de 0,09% (échantillon 36A) à 1,34% (échantillon 38A) avec une moyenne de 0,63% atomique. Les échantillons les plus riches en EGP appartiennent aux niveaux supérieurs des séquences ophiolitiques. Karaj (1992) présente des teneurs allant jusqu'à 1% poids dans la composition des pentlandites d'Albanie. L'étude experimentale du système Cu-Fe-Ni-S (Fedorova et al. 1993) en ajoutant 1% poids en EGP montre que les pentlandites plus riches en Ni, qui se forment à une fugacité plus forte en soufre par rapport à celles qui sont plus riches en Fe, sont enrichies en Pd et peuvent contenir jusqu'à 3% at. de Pd. Mais, nous n'avons trouvé aucune relation entre les teneurs en Ni ou Fe et EGP ou (Pt+Pd) dans les compositions des pentlandites et d'autres sulfures de Fe-Ni dans nos échantillons. Les mêmes résultats ont été obtenus dans les pentlandites du complexe du Stillwater par Cabri et al. (1984). Cependant Paktunc et al. (1990) ont montré que le rapport Ni/Fe des pentlandites n'est pas un bon marqueur de la teneur en Pd dans ce minéral. La teneur moyenne en EGP dans les alliages des métaux de base est moins importante que dans les sulfures des métaux de base. Elle est 0,32% atomique dans les deux régions étudiées. Si on imagine que les alliages se forment lors de la transformation des sulfures, les éléments du groupe du platine doivent être remobilisés lors de la serpentinisation. La remobilisation des EGP est décrite par plusieurs auteurs (Johan et Watkinson 1987, Beaudoin 1990, Nixon 1990, Watkinson 1990, Karaj 1992, Watkinson et Ohnenstetter 1992).

Nous avons comparé le rapport (Ru+Os+Ir)/((Pt+Pd+Rh) dans les sulfures et les alliages des métaux de base avec ce rapport dans les minéraux formant des solutions-solides (EGP-métaux des base) et dans les laurites et les erlichmanites (Fig. 4-12). Cette comparaision montre que ce rapport (ROI)/(PPR) diminue des laurites-erlichmanite vers les minéraux formant des solutions-solides et puis vers les sulfures et les alliages des métaux de base. Ce qui indique que les trois éléments incompatibles Pt, Pd et Rh participent préférablement dans les réseaux des métaux des base alors que les trois éléments compatibles Ru, Os et Ir fractionnent les premiers lors de la cristallisation des chromites. Les données des pentlandites d'Albanie montrent également des teneurs plus élevées en Pt et Pd par rapport aux autres EGP (Neziraj 1992).

4.4. Les silicates

Les silicates accompagnant les MGP sont de différents types: serpentine, pyroxène, amphibole et chlorite. Dans un cas nous avons trouvé un silicate proche d'un mica. Le nombre des silicates associé aux MGP de la région d'Assemion est moins importante que celui de la région de Neyriz, autrement dit le pourcentage des MGP en association minérale avec des silicates dans le secteur d'Assemion est plus restreint que dans la région de Neyriz. 76% de la totalité des MGP à Neyriz se trouvent dans les associations qui contiennnent au moins un silicate alors qu'à Assemion ce pourcentage est seulement de 36%.

Les silicates associés aux MGP sont en majorité de petite taille. La taille moyenne des silicates est de 2,1 micromètres. Les silicates à coté des MGP présentent en générale un habitus acciculaire. Le rapport moyen de la longuer sur la largeur des silicates est de 2. Ce rapport est plus élévé surtout pour les silicates de petite taille. Pour les plus petits silicates, leur petite taille ne permet pas d'analyse quantitative. Nous avons donc réalisé des analyses semi-quantitatives au MEB par EDS. La comparaison des résultats au MEB avec celles à la microsonde nous donne une idée plus précise sur la nature de ces silicates. Dans les chromitites d'Albanie, les silicates sont en général plus grands que les MPG (Karaj 1992) mais dans notre cas les silicates sont en général égaux en taille ou plus petits que les minéraux du groupe du platine. Rarement les silicates sont plus gros que les platinoîdes et renferment entièrement les MPG.

La présence des minéraux silicatés en inclusions primaires témoignent de l'existence de fluides aqueux, sodiques et riches en soufre au cours de la cristallisation des chromites podiformes (Johan et al. 1983). Ces fluides se seraient démixés du

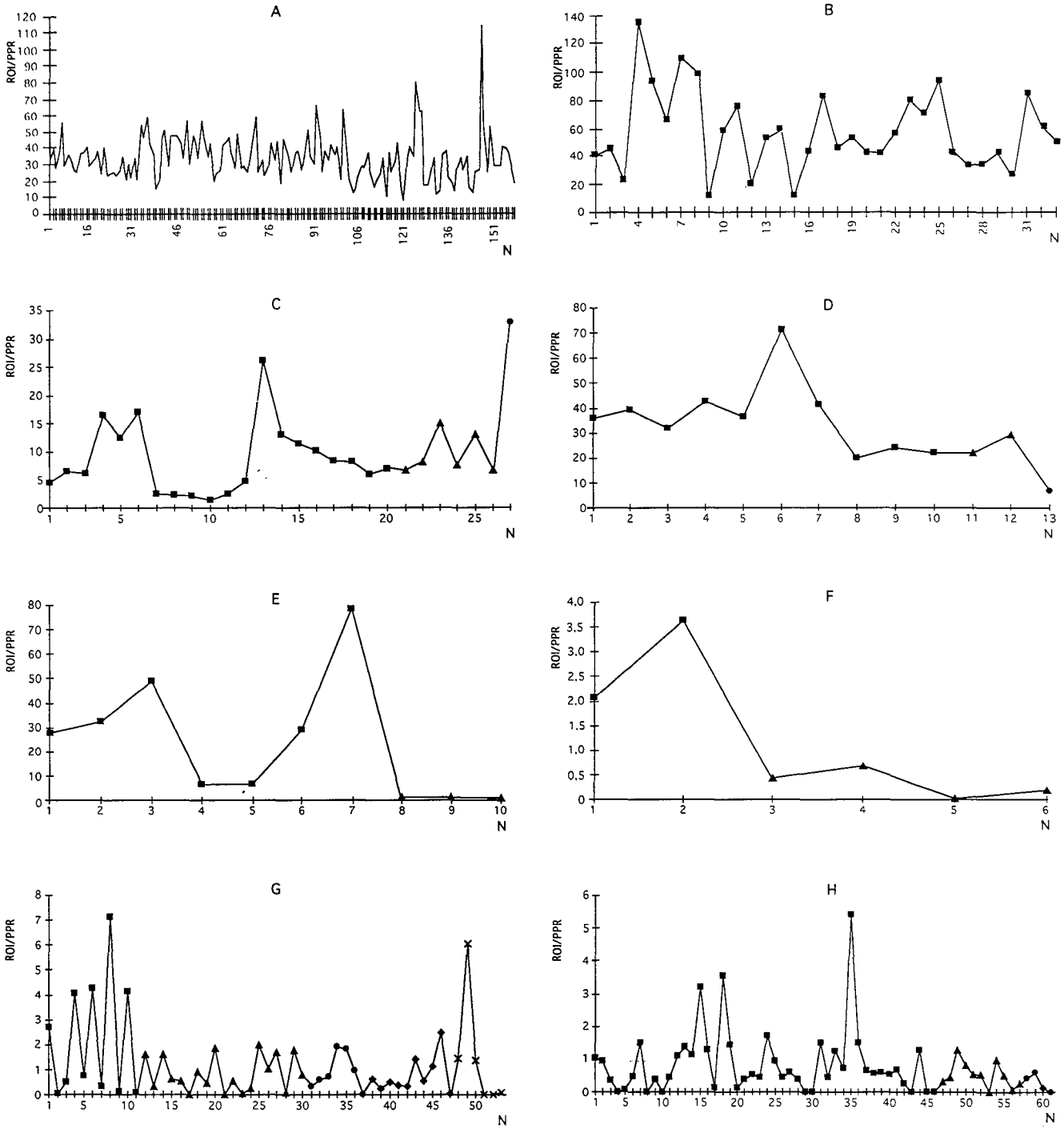


Fig. 4.12. Rapport [(∑Ru+Os+Ir)/(∑(Pt+Pd+Rh)] dans les différents minéraux porteurs d'EGP. N, nombre d'analyses réalisées sur les minéraux dans les chromitites du massif de Neyriz et d'Assemion. Laurites (A); erlichmanites (B); minéraux formant des solutions solides, les sulfures (C), cuproiridsite (carré), sulfure de Ni-Ir (triangle), sulfure de Fe-Ru (cercle) et les alliages (D), alliage de Fe-Ru (carré), alliage de Fe-Ir (triangle), alliage de Cu-Os-Ir (cercle); sulfoarséniures d'EGP (E), irarsite (carré), hollingworthite (tiangle); Sulfoarséniures de métaux de base (F), maucherite (carré), arsénopyrite (triangle); sulfures de métaux de base (G), millerite (carré), heazlewoodite (triangle), pentlandite (cercle), pyrite (losange), digenite (croix) et alliages de métaux de base (H), awaruite (carré), taenite (riangle), nickel (cercle), fer (losange).

magma parent de la chromite (Johan 1986) ou se seraient injectés dans le magma à partir d'une source plus profonde (Lorand et Ceuleneer 1989), peut être liés à la deshydratation d'une croûte océanique subductée (McElduff et Stumpfl 1991). Les silicates peuvent être renfermés dans la chromite comme des phases automorphes ou le liquide silicaté peut être piégé pendant la cristallisation de la chromite (Talkington et al. 1984). Il a également été proposé une fusion incongruente de la pargasite chromifère pour la formation des chromites et les inclusions silicatées (Johan et LeBel 1978). Il n'y a aucune discusion sur les conditions P et T de ces réactions. Une des réactions proposée est la suivalte:

Cr-pargasite = chromite + olivine + liquide + Vapeur

Dans les silicates, les teneurs en Zn et Ti sont souvent sous le seuil de détection de la microsonde, mais les éléments Ni, Mn et parfois V sont présents en faible teneur dans certain cas. Parmi ces éléments Ni est le plus abondant. La teneur moyenne de NiO est de 0,5% en poids et dans quelques pyroxènes et amphiboles son poids approche à 1 pourcent.

4.4.1. Serpentine

Les serpentines constituent 8% des silicates accompagnant les MGP dans les chromitites de Neyriz et 11% des silicates associés aux MGP dans les chromitites d'Assemion. Nous n'avons jamais observé d'olivine fraiche à côté des MGP. Les serpentines apparaissent le plus souvent en grains xenomorphes. La composition des serpentines en association avec les MGP ne montre pas une différence remarquable avec celle des serpentinites qui ne sont pas associées aux MGP. Les compositions moyennes des serpentines dans la région de Neyriz est $(Mg_{2.84}Fe_{0.08})Si_2O_5(OH)_4$ et pour les serpentines d'Assemion est: $(Mg_{2,77}Fe_{0,13})Si_2O_5(OH)_4$.

4.4.2. Pyroxène

Les pyroxènes constituent environ 28% des silicates associées aux MGP dans la région de Neyriz et 19% dans les chromitites d'Assemion. Nous avons trouvé les deux types pyroxènes, orthopyroxène et clinopyroxène à Neyriz. Les orthopyroxènes sont du type enstatite très riche en Mg et les compositions des clinopyroxènes sont dans le champs de diopside. Dans les chromitites d'Assemion, nous n'avons pas trouvé les orthopyroxènes. Les pyroxènes ont une composition proche du diopside (Fig. 4.13).

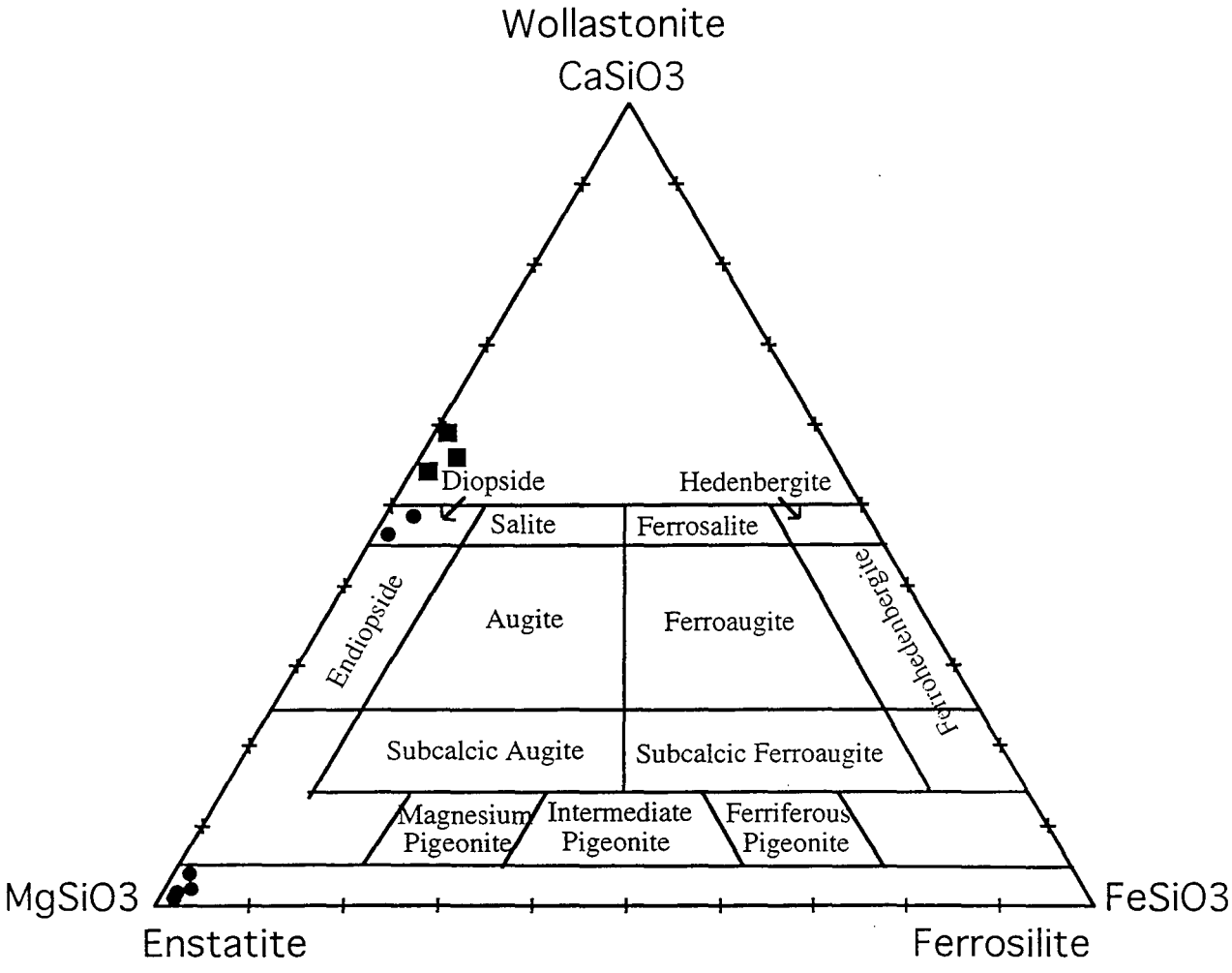


Fig. 4.13. Projection de la composition des pyroxènes inclus dans les chromites des gisements dans le diagramme de Poldervaart et Hess (1951). Carré, Assemion; Cercle, Neyriz. Noter le caractère très magnésiens des pyroxènes.

4.4.3. Chlorite

Environ 20 pourcent des silicates en association avec les MGP dans la région de Neyriz sont des chlorites. Elles constituent 10% des silicates en association avec MGP en Assemion. Les chlorites sont toujours riches en Mg et pauvres en Fe. Les compositions des chlorites accompagnant les MGP à Neyriz évoluent depuis les sheridanites aux penninites et à Assemion évoluent depuis les corundophilites aux talc-chlorites (Fig. 4.14).

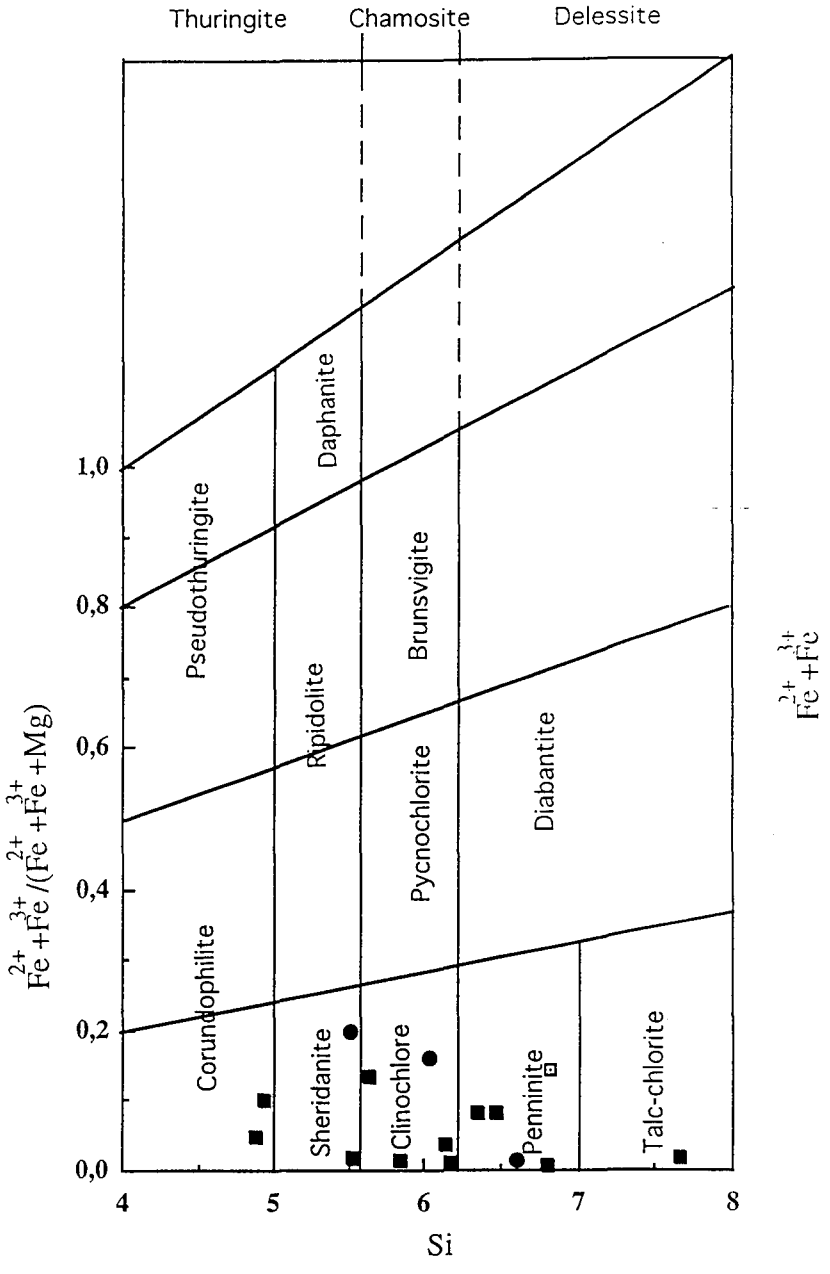


Fig. 4.14. Projection de la composition des chlorites incluses dans les chromites des gisements dans le diagramme de Hey (1954). Cercle, Assemion; Carré, Neyriz.

4.4.4. Amphibole

Les amphiboles sont les silicates les plus abondants dans les assemblages silicates-MGP. Elles constituent 42% de la totalité des silicates accompagnant les MGP dans la région de Neyriz et 60% à Assemion. Les amphiboles sont présentes

dans toutes les associations minérales du type biphasé, triphasé et quadriphasé avec les MGP, les sulfures et les autres silicates.

L'analyse à la microsonde montre une composition très riche en Mg dans les deux régions étudiées. A Neyriz, les amphiboles accompagnant les MGP sont des amphiboles calciques (la majorité des amphiboles) et des amphiboles ferro-magnésio-manganesifère selon la classification de Leake (1978). Les compositions des amphiboles calciques dans cette région évoluent depuis les hornblendes edenitiques aux edenites et les amphiboles du type ferro-magnésio-manganesifères sont des magnesio-gedrites. A Assemion, les amphiboles sont toutes des amphiboles calciques avec $Fe^{3+}<Al$, $(Na+K)_A>0,50$, $Ti<0,50$. Dans cette région les compositions des amphiboles évoluent des hornblendes pargasitiques aux edenites (Fig. 4.15).

Il a été signalé que les amphiboles se piègesnt au cours de la cristallisation de chromite où elle forme une co-cristallisation avec la chromite (Augé 1983).

4.4.5. Mica sodique

Nous n'avons rencontré qu'un seul minéral de ce type en association avec un pyroxène et une laurite dans les chromitites de Neyriz (échantillon 17N). C'est un mica sodique. L'analyse de ce minéral donne la composition suivante:

$$(Na_{0,6}K_{0,09}Ca_{0,04})(Mg_{2,86}Fe_{0,05}Al_{0,01}Ti_{0,03})(Si_{3,01}Al_{0,99})O_{10}(OH\text{-}F)_2$$

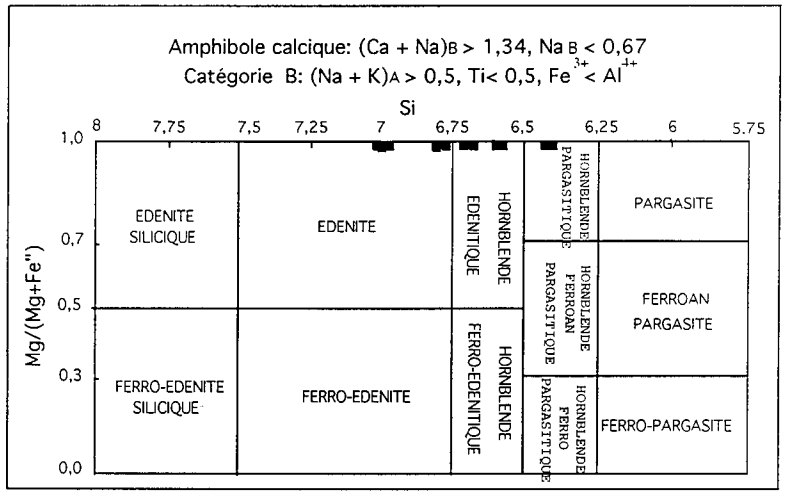
4.5. Conclusions

Les minéraux du groupe du platine sont toujours en inclusion dans la chromite. Ils ne montrent ni des phénomènes d'exsolution subsolidus de la chromite, ni des traces d'altération hydrothermale. Ils sont principalement automorphes et de petites tailles, moins de 20 microns.

Les minéraux du groupe du platine sont principalement des minéraux de Ru. d'Os et d'Ir. Les MGP de la région d'Assemion se sont formés sous une plus grande fugacité forte en soufre que les MGP de la région de Neyriz. La laurite constitue la majorité des MGP dans ces deux régions, L'erlichmanite y est moins abondante .

Les laurites sont présentes dans tous les niveaux de la minéralisation en EGP des deux piles ophiolitiques et sont également présentes dans toutes les associations minérales. Les silicates sont fréquemment associés avec la laurite, mais il n'existe aucune relation chimique entre les silicates et la laurite.

A



B

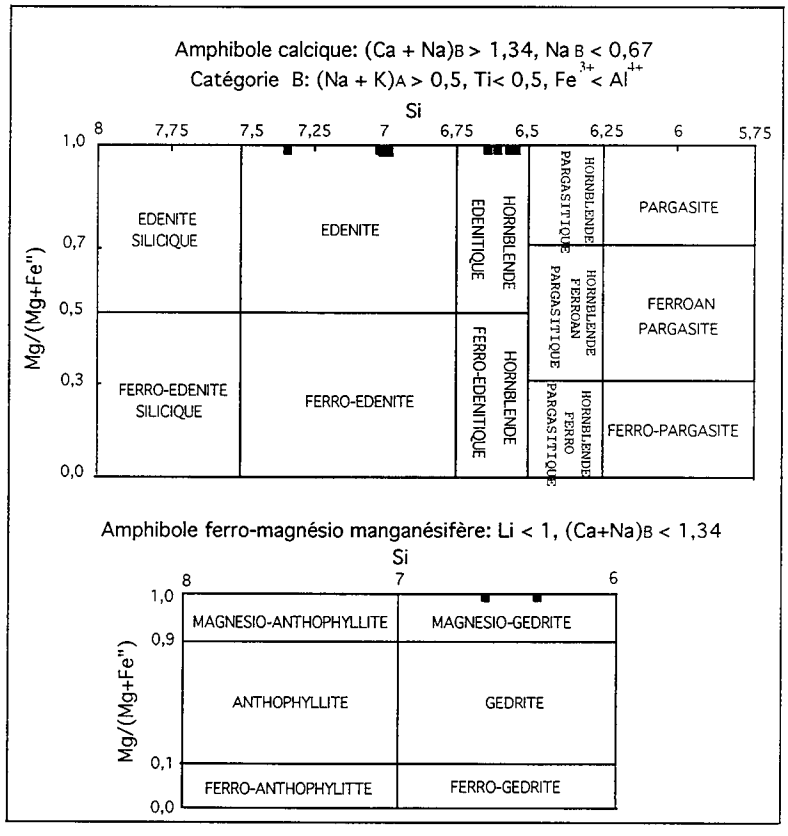


Fig. 4.15. Projection de la composition des amphiboles incluses dans les chromites des gisements dans les diagrammes de Leake (1978). A, Assemion; B, Neyriz. Noter le caractère magnésien des amphiboles.

Les laurites qui apparaissent à une grande distance de la bordure de la chromite hôte sont plus riches en Ru par rapport à celles qui se situent à la périphérie de la chromite. Egalement en regle général, les laurites des niveaux inférieurs des piles ophiolitiques sont plus riches en Ru que celles des niveaux supérieurs. Les laurites en association avec des silicates ou ceux qui forment des minéraux isolés sont plus riches en Ru que celles accompagnant les sulfures de métaux de base. Ces observations indiquent que les conditions physico-chimiques du système minéralisant évoluent et que les sulfures de ruthénium se forment sous des condition de moins forte fugacité en soufre par rapport aux sulfures d'osmium et d'iridium.

On n'observe pas de relations chimiques entre la laurite et la chromite hôte à l'échelle stratigraphique.

Les erlichmanites riches en Os se situent dans le niveau supérieur du massif d'Assemion. Une forte fugacité en soufre dans le système minéralisant d' Assemion par rapport à Neyriz peut également expliquer la présence des erlichmanites en abondance à Assemion par rapport à Neyriz.

Les alliages des éléments du groupe du platine sont présents plutôt à la base de la pile ophiolitique de Neyriz. Ils se trouvent vers le centre et dans la zone intermédiaire de la chromite. Une différence en fugacité en soufre dans les deux massifs éudiés explique la différence du mode d'occurrence des alliages dans les chromities des deux massifs.

Les sulfoarséniures sont du type irarsite et hollinworthite. Ils sont automorphes et éloignés des fissures dans la chromite.

Les sulfures formant les solutions solides entre EGP et MB sont principalement des solutions de Ir avec Ni et Cu. Ils se trouvent en majorité dans les assemblages contenant des sulfures de métaux de base et se situent à la bordure des chromites. La différence de la fugacité en soufre dans les deux massifs étudiés peut expliquer l'abondance de ces minéraux à Assemion par rapport à Neyriz.

Les alliages formant des solutions solides entre EGP et MB sont moins abondants mais de grandes tailles par rapport aux sulfures solutions solides. Ils se situent plutôt vers la bordure de la chromite. Les traces de désulfuration sont évidentes dans quelques alliages.

Les sulfures de métaux de base sont plus abondants à Assemion qu'à Neyriz. ils se subdivisent en deux groupes: a) les sulfures accompagnant les MGP en inclusion dans la chromite; b) les sulfures non accompagnant les MGP en inclusion dans la chromite ou dans la phase interstitielle. Les sulfure de premier groupe sont de petite taille et sous forme aciculaire à côté des MGP. Le mode d'occurrence de ces minéraux peut être liée à un phénomène d'exsolution entre EGP et SMB à l'échelle locale. Les sulfures non accompagnant les MGP sont beaucoup plus gros par rapport aux sulfures de premier groupe. Ce sont des minéraux xénomorphes ou amiboïdes en association avec des silicates. Nous proposons que les sulfures de ce type soient inclus à l'état liquide pendant la croissance de la chromite.

L'abondance des sulfures de Ni est un témoin d'une forte teneur en nickel des systèmes minéralisant.

Les alliages de métaux de base se trouvent en moins grande quantité que les sulfures. Nous n'avons pas trouvé ces alliages à coté des MGP. Dans les alliages accompagnant les sulfures, les traces de désulfuration sont évidentes. Les sulfures sont plus petits que les alliages. Probablement ils ont été formés pendant la serpentinisation, mais, le contact entre les sulfures et les alliages est net.

Les EGP sont présents en faible quantité dans le réseau des sulfures et des alliages de métaux de base. En général les minéraux des niveaux supérieurs sont plus riches en EGP, mais il n'y a aucune relation entre les teneurs en EGP et Fe ou Ni de ces minéraux.

Il existe une diminution du rapport (Ru+Os+Ir)/(Pt+Pd+Rh) en passant des laurites et des erlichmanites vers les minéraux formant les solutions solides et vers les sulfures et alliages de métaux de base. Ce qui indique que les éléments incompatibles Pt, Pd et Rh entrent préférablement dans les réseaux des SMB et que les éléments compatibles Ru, Os et Ir fractionnent lors de la cristallisation de chromite.

Les silicates accompagnant les MGP sont de petites tailles. rarement ils renferment entièrement les MGP. Ils sont plutôt allongés. Les amphiboles constituent la majorité des silicates analysés. La présence des minéraux silicatés en inclusions primaire témoigne de l'existence des fluides aqueux, sodiques au cours de la cristallisation des chromites.

Chapitre V

Distribution des minéraux du groupe du platine et phases associées

Intruduction

Tous les minéraux du groupe du platine que nous avons observé sont en inclusion dans la chromite. Ils sont en général de petite taille dépassant rarement les 20 micromètres. La distribution stratigraphique, la texture, l'assemblage minéralogique et la position des MGP par rapport aux minéraux hôtes ont des implications importantes sur la genèse de ces minéraux. Les évolutions chimiques durant le fractionnement permettent de préciser les conditions physico-chimiques du milieu de formation.

Dans le but de mieux comprendre la formation des MGP, nous avons tenté toutes les corrélations possibles pour relier la présence des MGP aux chromites hôtes, corrélations qui peuvent traduire les tendances évolutives des MGP. Pour cette présentation, nous avons subdivisé les MGP en : laurites, erlichmanites, alliages des EGP, sulfoarséniures et les minéraux formant des solutions solides entre EGP et éléments de transition (Fe, Ni, Cu). Les minéraux du groupe du platine sont présents dans 59% des échantillons étudiés dans la région d'Assemion et dans 50% des échantillons étudiés de Neyriz. Tout d'abord nous présentons de façon générale les assemblages et la morphologie des MGP dans chaque massif étudié (Fig. 5.1).

5.1. Distribution spatiale des MGP dans l'échantillon

La présence des MGP dans les chromitites ophiolitiques pose un problème lorsque les teneurs des éléments du groupe du platine sont faibles en général de l'ordre de ppb. Dans ces roches, les probabilités de trouver un grain de MGP avec les dimensions de 0,001 et 0,0001 cm sur une surface de 1 cm^2 de sections polies sont $1,28 \times 10^{-9}$ et $1,28 \times 10^{-10}$ respectivement (Groeneveld Meijer 1954, Page et al. 1984). La présence des MGP dans les chromitites n'est pas systématique (Talkington et al. 1984, Karaj 1992). Cependant Naziraj (1992) a supposé que tous les gisements de chromite peuvent contenir des MGP, bien que l'on ne les a pas observé dans tous les échantillons. Il insiste sur la trop faible quantité d'EGP des chromitites.

L'échantillonnage des chromitites dans des niveaux et positions stratigraphiques différents dans les gisements des massifs étudiés, nous a permis de comprendre la répartition statistique des MGP dans ces deux séquences ophiolitiques. Nous avons également eu la possibilité d'étudier le comportement des MGP de l'échelle d'un gisement, ainsi qu'à l'échelle microscopique. Donc nous pouvons connaître les facteurs qui affectent la répartition des MGP.

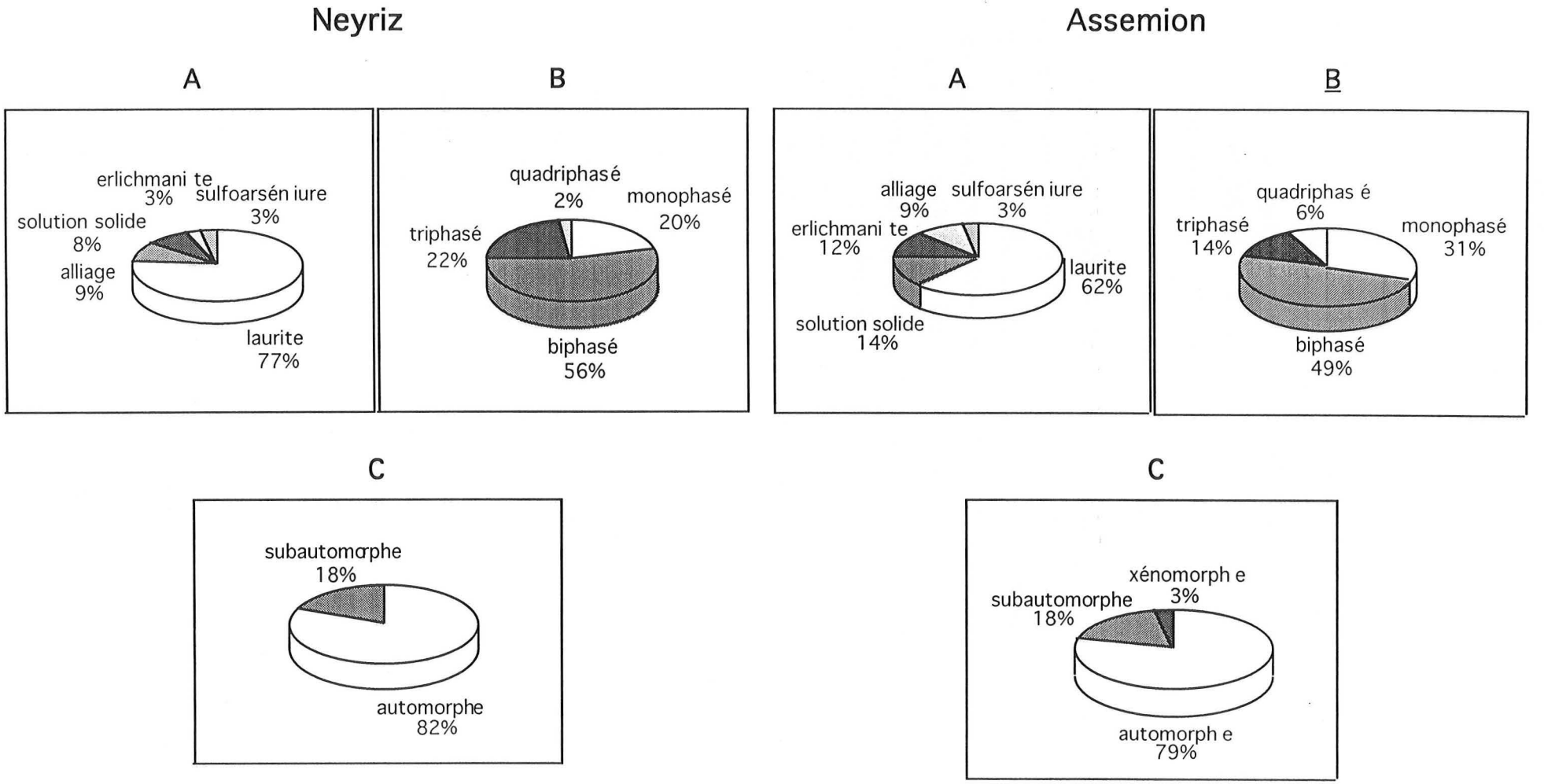


Fig. 5.1. Répartition des groupes de minéraux porteurs d'EGP (A), du nombre de phases dans les inclusions (B) et de morphologie des MGP (C) dans les chromitites de Neyriz et d'Assemion.

5.1.1. Répartition des MGP dans les massifs

La modalité d'occurrence des MGP dans les massifs ophiolitiques d'Assemion et de Neyriz n'est pas la même. La figure 5.2 montre le nombre des MGP, le pourcentage des MGP et le nombre des MGP par échantillon dans chaque indice de ces deux régions.

Comme l'indique la figure 5.2, dans le massif de Neyriz, les gisements sommitaux de la zone de transition renferment la majorité des MGP. Nous n'avons rencontré que deux MGP dans les gisements profonds (un ruthénosmiridium à Hassankhani, échantillon 45N et une laurite à Neypik, échantillon 22N). Ce qui indique que les conditions nécessaires à la formation des MGP ne sont pas présentes dans le niveau inférieur de la pile ophiolitique de Neyriz. La comparaison entre ces résultats et la carte géologique de ce secteur indique que la concentration principale des MGP est localisée dans le massif de Cheshmeh Bid (les indices: Rajoni, Roni et Cheshmeh Bid) La position des indices de Cheshmeh Bid nous a permis d'étudier la répartition stratigraphique des MGP. La comparaison de la figure 5.2 avec le tableau 5.1 montre que la distribution des MGP dans l'unité d'échantillonnage ne diffère pas beaucoup dans les indices de massif de Cheshmeh Bid. Comme l'indique la figure 5.2. nous observons une alternance cyclique du taux des MGP par échantillon en fonction de la position stratigraphique. Cette situation peut s'expliquer par l'alternance des conditions physico-chimiques du milieu de formation des MGP dans les indices de Cheshmeh Bid. Sans doute la fugacité en soufre joue un grand rôle dans l'apparition des MGP.

Comme l'indique la figure 5.2, dans la région d'Assemion, les gisements du niveau inférieur de la zone de transition contiennent la majorité des MGP. En observant la distribution des MGP dans la séquence ophiolitique d'Assemion, on distingue une augmentation du nombre de MGP vers le sommet de la harzburgite homogène et puis une diminution du nombre des MGP à la base de la zone de transition, ce qui témoigne un changement des conditions physico-chimiques lors de la passage des gisements profonds aux gisements à la base de la zone de transition. En passant des gisements riches en MGP vers les niveaux supérieurs, nous avons observé des hiatus dans la cristallisation des MGP. Cette situation peut s'expliquer par la formation des gisements de chromites en plusieurs phases, ou bien par des changements brutaux des paramètres physico-chimiques lors de la formation des MGP. La minéralogie et la chimie des minéraux des MGP dans les chromitites des différents niveaux (chapitre 4) sont en faveur de l'hypothèse de la formation des gisements de chromites par des injections successives du magma parent sous des

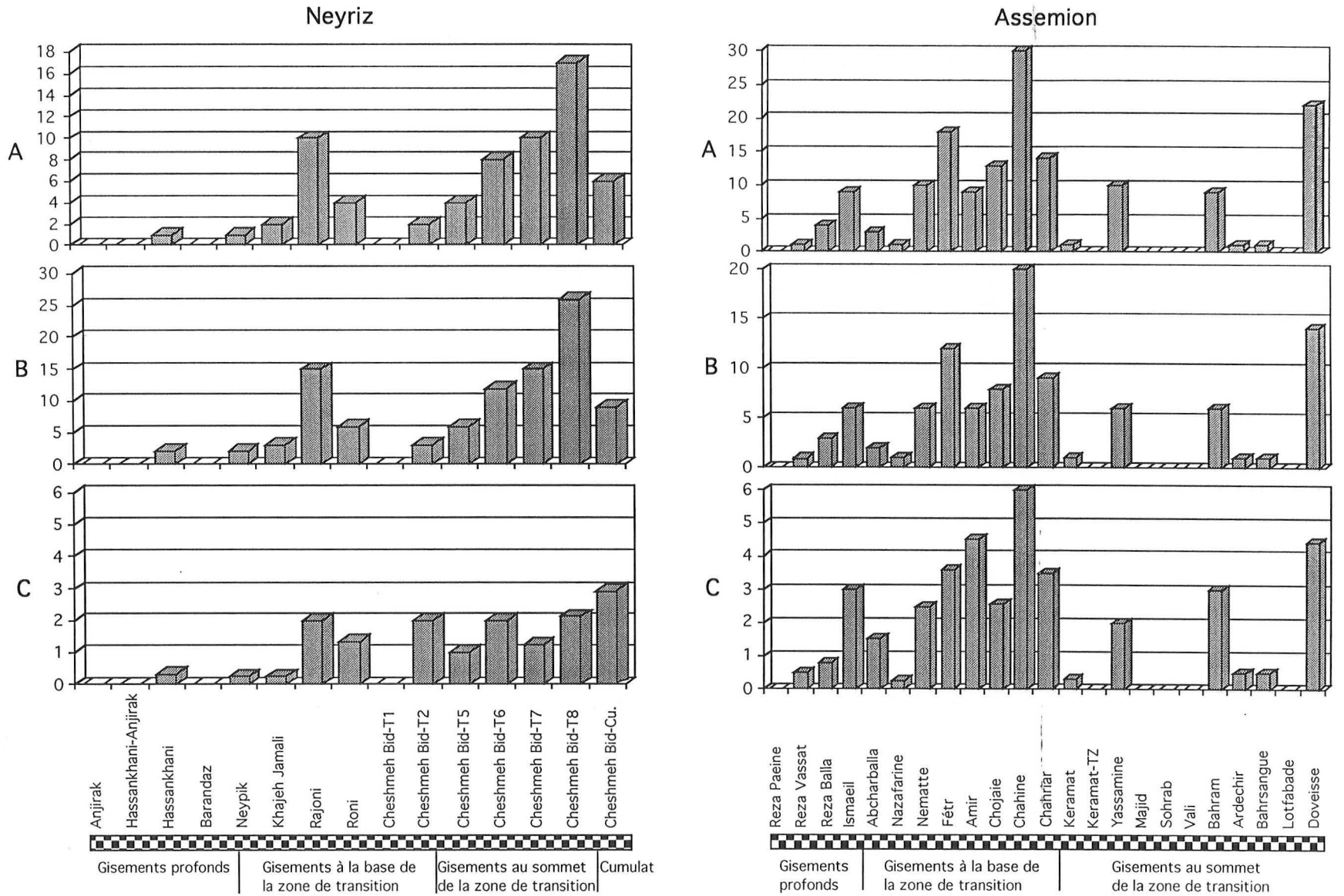


Fig. 5.2. Répartition des MGP dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. A, nombre des MGP observés dans chaque gisement; B, pourcentage de MGP dans un gisement, le pourcentage est obtenu par rapport au nombre total de MGP observés dans le massif; C, nombre moyen de MGP observé par échantillons dans un gisement, on considère tous les échantillons, stériles et hôtes de MGP pour calcul. Noter la distribution distincte des MGP dans les deux massifs avec la stratigraphie.

conditions physico-chimiques différentes, surtout eu égard des teneurs différentes en EGP et en soufre. La comparaison entre la figure 5.2 et le tableau 5.2 montre que le nombre des MGP par échantillon dans les gisements riches en MGP est plus élevé que celle des gisements plus pauvres en MGP. Dans les gisements les plus riches en MGP, la majorité des échantillons contiennent des MGP, autrement dit la distribution de ces minéraux entre les échantillons de chromitites n'est pas aléatoire.

Gisement	N.E.O.	N.E.C.P.	%N.E.C.P.	N.P.	N.P./E.C.	N.P./E.O.	min_max
indices à la base des cumulats							
Cheshmeh Bid-cu	2	1	50	6	6	3	0_6
gisements sommitals (zone de transition)							
Cheshmeh Bid-T8	8	5	62,5	17	3,4	2,1	0_5
Cheshmeh Bid-T7	8	5	62,5	10	2	1,3	0_3
Cheshmeh Bid-T6	4	3	75	8	2,7	2	0_4
Cheshmeh Bid-T5	4	3	75	4	1,3	1	0_2
gisements basals (zone de transition)							
Cheshmeh Bid-T2	1	1	100	2	2	2	2_2
Cheshmeh Bid-T1	1	0	0	0	0	0	0_0
Roni	3	3	100	4	1,3	1,3	1_2
Rajoni	5	4	80	10	2,5	2	0_5
Khajeh Jamali	7	2	28,6	2	1	0,3	0_1
gisements profonds (harzburgite profonde)							
Neypik	4	1	25	1	1	0,25	0_1
Barandaz	3	0	0	0	0	0	0_0
Hassankhani	3	1	33,3	1	1	0,33	0_1
Hassankhani-Anjirak	3	0	0	0	0	0	0_0
Anjirak	2	0	0	0	0	0	0_0
Total	58	29	50	65	2,24 *	1,12 **	0_6 ***

Table.5.1. Distribution des minéraux du groupe du platine (MGP) dans les gisements de chromite de Neyriz. N.E.O., nombre d'échanillons observés; N.E.C.P., nombre d'échantillons contenant des MGP; %N.E.C.P., pourcenage d'échantillon renfermant des MGP dans un gisement; N.P., nombre de MGP observé dans un gisement; N.P./E.P., nombre moyen de MGP par échantillon dans observés d'un gisemen; min-max, nombre minimum et nombre maximum de MGP observé dans un gisement. *: nombre moyen des MGP par échantillon dans les échantillons porteurs des MGP dans le massif. **: nombre moyen des MGP par échantillon dans les échantillons observés de massif. ***: nombre minimum et nombre maximum de MGP observés dans le massif.

Gisement	N.E.O.	N.E.C.P.	%N.E.C.P.	N.P.	N.P./E.C.	N.P./E.O.	min_max
gisements sommitals (zone de transition)							
Doveisse	5	3	60	22	7,3	4,4	0_14
Lotfabade	2	0	0	0	0	0	0_0
Bahrsangue	2	1	50	1	1	0,5	0_1
Ardechir	2	1	50	1	1	0,5	0_1
Bahram	3	3	100	9	3	3	1_5
Vali	2	0	0	0	0	0	0_0
Sohrab	3	0	0	0	0	0	0_0
Majid	2	0	0	0	0	0	0_0
Yassamine	5	4	80	10	2,5	2	0_6
Keramat-TZ	2	0	0	0	0	0	0_0
Keramat	3	1	33,3	1	1	0,3	0_1
gisements basals (zone de transition)							
Chahriar	4	4	100	14	3,5	3,5	1_6
Chahine	5	5	100	30	6	6	1_11
Chojaie	5	3	60	13	4,3	2,6	0_7
Amir	2	2	100	9	4,5	4,5	3_6
Fétr	5	4	80	18	4,5	2,8	0_9
Nematte	4	4	100	10	2,5	2,5	1_5
Nazafarine	4	1	25	1	1	0,25	0_1
Abcharballa	2	2	100	3	1,5	1,5	1_2
gisemens profonds (harzburgite profonde)							
Ismaeil	3	2	66,7	9	4,5	3	0_7
Reza Balla	5	3	60	4	1,3	0,8	0_2
Reza Vassate	2	1	50	1	1	0,5	0_1
Reza Paeine	2	0	0	0	0	0	0_0
Total	74	44	59	156	3,55 *	2,11 **	***0_14

Table.5.2. Distribution des minéraux du groupe du platine (MGP) dans les gisements de chromite d'Assemion. Même légende que pour le ableau 5.1.

Nous avons calculé les surfaces des MGP en mesurant la longueur et la largeur des minéraux. Si on imagine que la surface d'un MGP est un marqueur des teneurs en EGP, on peut distinguer les zones riches des zones pauvres, voir stériles dans les massifs ophiolitiques. Neziraj (1992) a obtenu une bonne corrélation positive entre la surface des MGP et la teneur en (Pt + Pd) en Albanie. Les gisements Chahine et Yassamine sont les plus riches en EGP de la région d'Assemion. A Neyriz, la concentration principale des EGP se situe dans les chromitites du niveau supérieur de l'indice de Cheshmeh Bid du niveau mantéllique. Les chromitites des niveaux inférieurs sont pauvres en EGP (Fig. 5.3). Le plus grand MGP à Assemion possède une surface de 210 micromètres carré (gisement Yassamine, échantillon 23A) et à Neyriz le plus grand MGP a une surface d'environ 476 micromètres carré (gisement de Cheshmeh Bid, échantillon 39N). La division de la surface totale des MGP sur le nombre des échantillons étudiés dans chaque gisement ne change pas la configuration de l'enrichissement en MGP des gisements. Autrement dit la répartition des MGP ou plus précisément des EGP dans les échantillons d'un gisement n'est pas aléatoire (comparer avec les tableaux 5.1 et 5.2).

Pour vérifier les changements de la taille des MGP dans les piles ophiolitiques. nous avons calculé la surface moyenne des MGP en divisant la surface totale des MGP sur le nombre des MGP dans chaque gisement (Fig. 5.4). Nous observons que dans la région d'Assemion, les gisements du niveau supérieur renferment les MGP de petite taille, mais dans les gisements du niveau inférieur, les MGP les plus gros sont liés aux gisements les plus riches en EGP. Autrement dit plus le nombre de grains dans un gisement est élevé, plus la surface moyenne des grains est grande. Dans la région de Neyriz, nous avons une augmentation quasi régulière de la taille des MGP de bas vers le haut des chromitites mantelliques et puis une diminution brutale en arrivant aux chromitites disséminées des cumulats. Les résultats obtenus montrent que dans un magma riche en EGP, les minéraux du groupe du platine sont de grosse taille. autrement dit dans un magma contenant des EGP les minéraux croissent en volume plus qu'en nombre. Ce modèle de cristallisation résulte soit de la croissance par diffusion des EGP au cours de la formation des chromites, soit d'une préconcentration des EGP dans le magma.

D'après l'étude statistique des MGP dans les séquences ophiolitiques d'Assemion et de Neyriz, nous avons vérifié la répartition des associations polyminérales et des minéraux isolés dans les niveaux stratigraphiques (Fig. 5.5). Nous observons que dans ces deux régions, les MGP des gisements inférieurs forment des plages composites alors que les minéraux isolés se trouvent en majorité dans les chromitites des niveaux supérieurs des séquences. Les gisements Chahine et

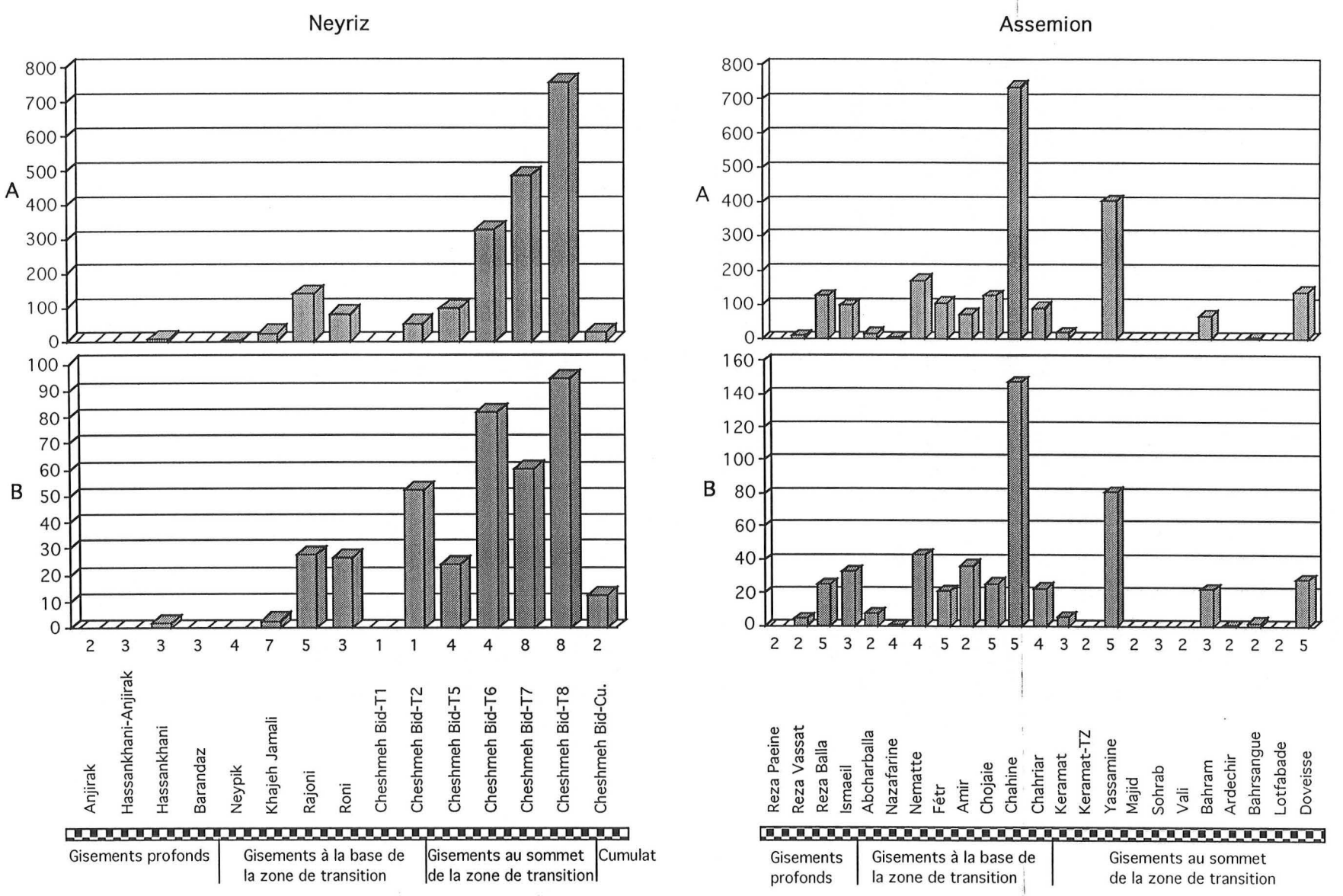


Fig. 5.3. Répartition des surfaces de MGP dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. A, surface totale des MGP calculée pour chaque gisement; B, surface moyenne des MGP (en micromètre carré) par échantillon, il est tenu compte des échantillons stériles et porteurs de MGP. Noter qu'à Neyriz, il existe une bonne corrélation entre la taille des MGP et le nombre de MGP observé. Les chiffres en dessous de chaque gisement correspondent aux échantillons observés pour un gisement.

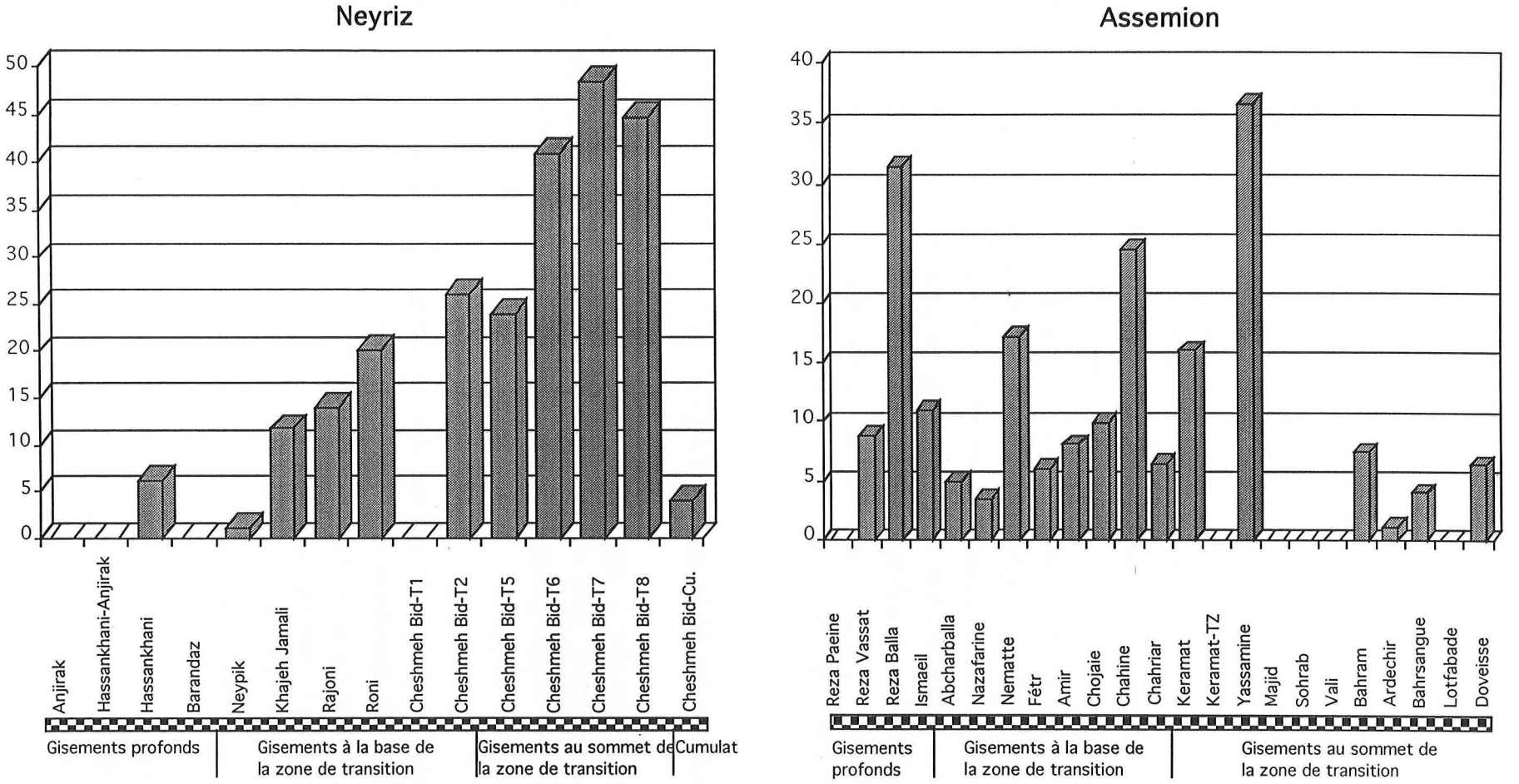


Fig. 5.4. Surface moyenne des MGP (en micromètre carré) dans les gisements de chromite du massif de Neyriz et d'Assemion.

Fétr dans la région d'Assemion sont des exceptions. Nous n'avons jusqu'à présent aucune explication à ce mode d'occurrence des MGP dans ces massifs.

Pour vérifier le changement de la nature des MGP dans les niveaux différents des massifs, nous avons subdivisé les MGP en laurites + erlichmanite, alliages, sulfoarséniures et minéraux formant des solutions solides entre EGP et les éléments de transition (Fe, Ni, Cu). Nous observons dans la figure 5.6 que dans le massif de Neyriz les alliages se trouvent plutôt associées aux chromitites du niveau inférieur de l'ophiolite. Cette situation peut s'expliquer par une augmentation de la fugacité en soufre dans les niveaux supérieurs qui permet la formation des sulfures au dépens des alliages. Les sulfoarséniures dans la région de Neyriz apparaissent dans les chromitites du niveau supérieur de la séquence, alors qu'à Assemion, leur distribution n'est pas systématique et est limitée aux chromitites du niveau inférieur de la séquence. une différence en teneur en As des injections multiples de magmas peut expliquer ce phénomène à Assemion. Le pourcentage des minéraux du type solutions solides dans les chromitites d'Assemion est plus élevé que dans les chromitites de Neyriz. Les minéraux formant des solutions solides à Assemion sont plutôt des sulfures alors que à Neyriz ce sont plutôt des alliages, ce qui indique la différence de la fugacité en soufre dans deux régions. Les solutions solides se trouvent dans tous les niveaux des deux massifs.

5.1.2. Répartition des MGP au sein des gisements

Pour mieux comprendre le mode de distribution des minéraux du groupe du platine dans les chromitites, nous avons étudié la répartition des MGP dans les échantillons étudiés de chaque gisement et surtout la répartition des MGP dans les chromitites de différentes textures.

Les minéraux du groupe du platine sont de petite taille (Fig. 5.7A). Les minéraux de grande taille constituent un faible pourcentage des MGP. Environ 67% des platinoïdes à Assemion et et 51% à Neyriz ont une surface inférieur de 10 micromètres carrés. Nous observons une diminution brutale du nombre des MGP au delà de cette surface. La comparaison des MGP dans les deux massifs montre que les MGP de Neyriz sont de plus grosse taille par rapport aux MGP d'Assemion.

Malgré la distribution non-systématique des minéraux du groupe du platine entre les échantillons de chromitites, la majorité des échantillons dans les deux régions renferment un ou deux MGP et le pourcentage des échantillons qui contiennent

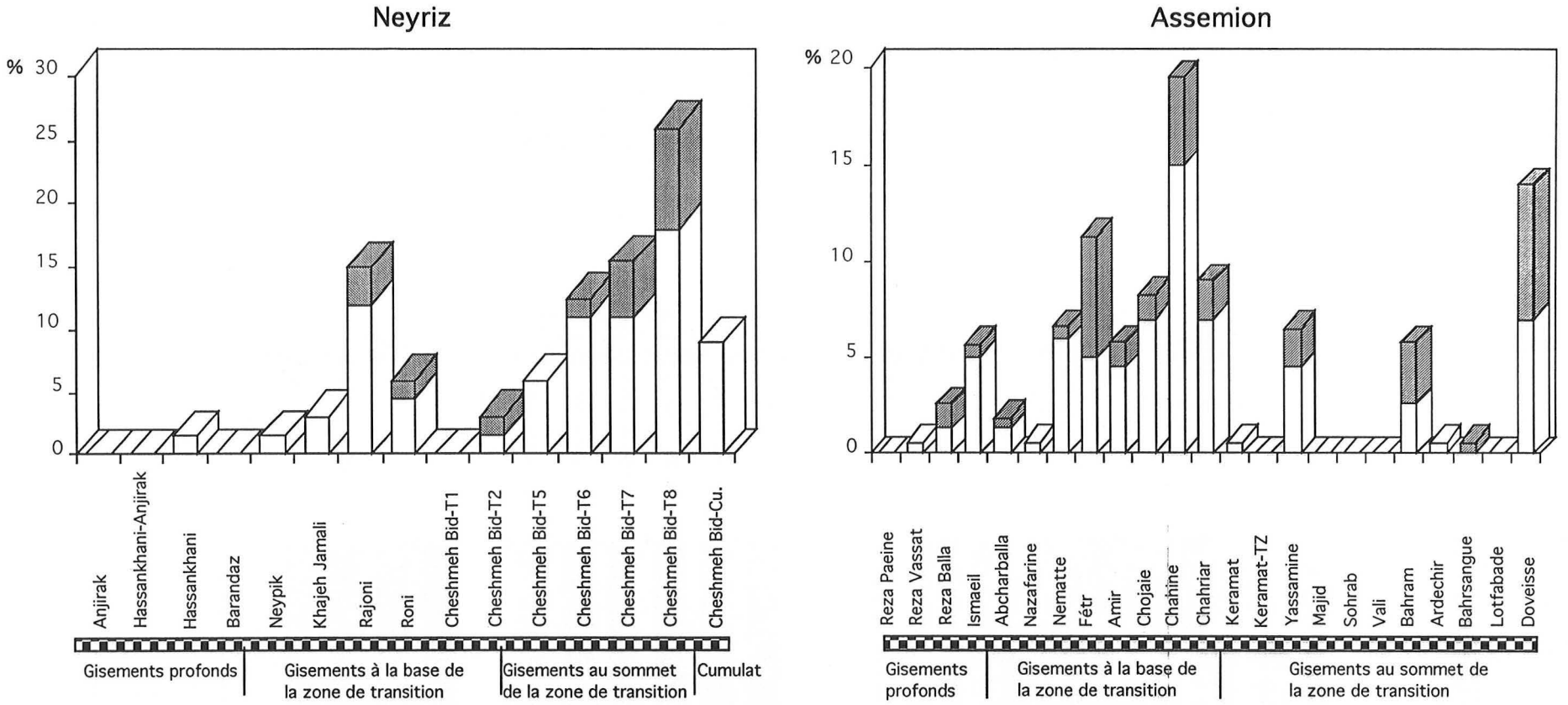


Fig. 5.5. Pourcentage d'inclusions monophasées (en gris) et polyphasées (en blanc) porteuses de MGP dans les gisements de chromite de Neyriz et d'Assemion. Le pourcentage d'inclusion dans chaque gisement est calculé par rapport au nombre total d'inclusions observées dans chaque massif.

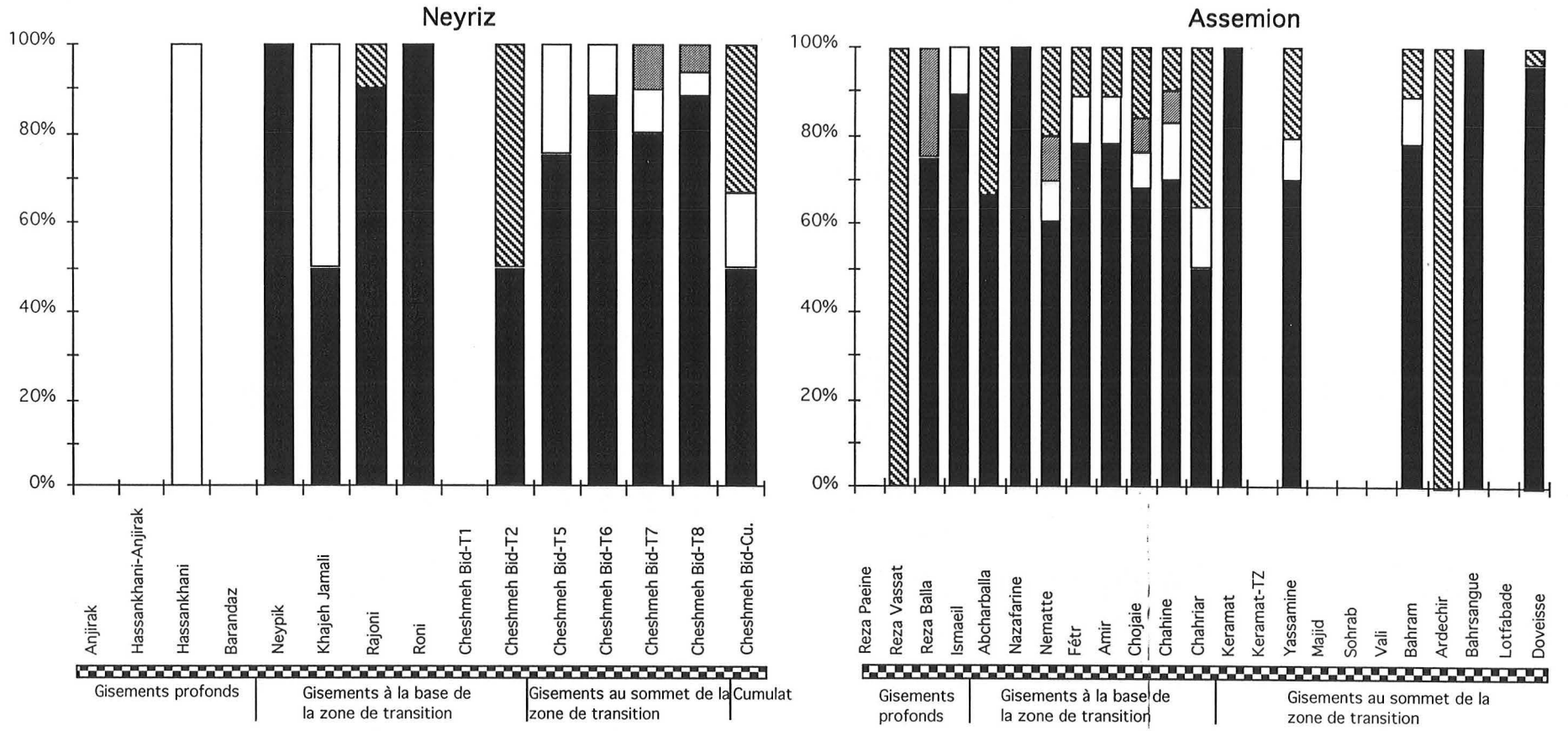


Fig. 5.6. Distribution des principaux groupes de MGP dans les gisements de Neyriz et d'Assemion en fonction de la profondeur. Sulfures, laurite et erlichmanite (noir); alliages (blanc); sulfoarséniures, hollingworthite et irarsite (gris); minéraux formant des solutions solides entre MB et EGP (rayé). Noter l'importance des alliages à Neyriz et celle des solutions solides de MB et d'EGP à Assemion.

plusieurs des MGP diminue au fur et à mesure qu'augmente le nombres de MGP (Fig. 5.7B). Cette situation est plus régulière dans les chromitites de Neyriz par rapport aux chromitites d'Assemion. Les échantillons qui contiennent plusieurs MGP dans la région d'Assemion sont plus nombreux que ceux de Neyriz. Le plus riche échantillon en MGP à Assemion contient 14 MGP (échantillon 38A, indice de Doveisse) et le plus riche échantillon à Neyriz n'en contient que 6 MGP (échantillon 18N, indice de Cheshmeh Bid).

Nous avons fait l'échantillonnage à travers les gisements de chromite, donc la position des échantillons nous permet de faire un travail statistique sur la distribution des MGP au sein d'un gisement. Nous n'avons pas trouvé de distribution systématique entre le nombre ou le volume des MGP et la position des échantillons par rapport à la distance de la bordure des gisements de chromitite. La seule relation que nous avons pu mettre en évidence est entre le nombre des MGP et la texture des chromitites. Les chromitites massives renferment plus de MGP que les chromitites disséminées (table. 5.3). Ce mode de répartition des MGP a été signalé dans les chromitites par différents auteurs (Legendre 1982, Talkington et Lipin 1986). Le nombre moyen des MGP en passant des chromitites massives aux chromitites disséminées diminue brutalement. Les probabilités de trouver des MGP dans les chromitites massives sont plus fortes de 3,65 à Assemion et 4,03 à Neyriz que par rapport aux chromitites disséminées. Les chromitites nodulaires ne contiennent pas de minéraux du groupe du platine. Dans un échantillon rubané de Neyriz nous avons trouvé un MGP.

Nous avons calculé également le nombre des MGP par échantillon par rapport au pourcentage de chromite dans les roches à spinelles disséminées. Le nombre des MGP augmente avec l'augmentation du volume des chromites dans les chromitites. Cette observation est plus évidente dans les chromitites d'Assemion (table. 5.4).

Pour mieux comprendre la répartition des EGP entre les chromitites massives et les chromitites disséminées et calculer la surface moyenne des MGP dans chaque type de roches, nous avons mesuré la surface totale des MGP dans les échantillons de chromitites (table 5.5). Dans la région d'Assemion, une partie remarquable de la surface totale est observée dans les roches disséminées et la surface moyenne (la surface totale/la surface totale des chromitites étudiées) des MGP dans ces roches est plus grande que celle des chromitites massives, alors que dans la région de Neyriz la surface totale des MGP dans les chromitites disséminées est beaucoup plus faible par rapport à la surface totale des MGP dans les chromitites massives. Egalement la surface moyenne des MGP dans les roches disséminées est plus faible que celle des

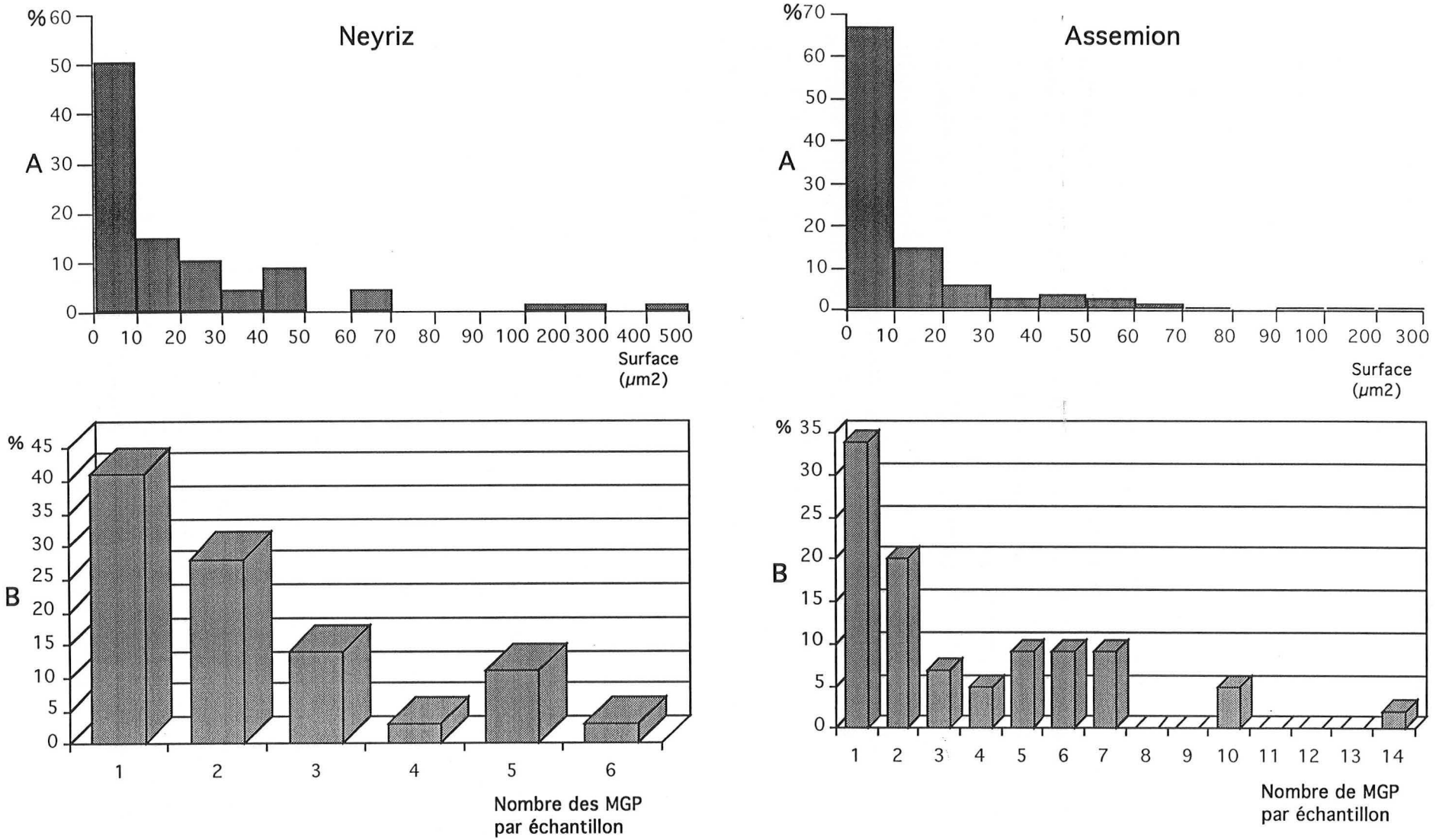


Fig. 5.7. A; Répartition statistique de la taille des MGP dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. La surface des grains a été assimilée à un rectangle. Noter la prédominance des minéraux de petite taille dans les deux massifs, mais plus particulièrement à Assemion. B; Proportion d'échantillons renfermant un ou plusieurs MGP dans les gisements de chromite dans deux massifs étudiés. Noter la prédominance d'échantillons qui ne renferme qu'un seul MGP, et l'hétérogénéité dans la distribution des MGP à Assemion par rapport à Neyriz. L'échantillon 18N (chromite disséminée à la base des cumulats) avec 6 grains de MGP à Neyriz et l'échantillon 38A (gisement Doveisse) avec 14 MGP à Assemion renferment le plus grand nombre de MGP.

Assemion

Texture	N.E.O.	N.E.C.P.	%N.E.C.P.	N.P.	N.P./E.C.	N.P./E.O.	min_max
Massive	39	29	74,4	125	4,3	3,2	0_14
Disséminée	34	15	44,1	30	2	0,88	0_6
Nodulaire	0	0	0	0	0	0	0_0
Rubanée	1	0	0	0	0	0	0_0

Neyriz

Texture	N.E.O.	N.E.C.P.	%N.E.C.P.	N.P.	N.P./E.C.	N.P./E.O.	min_max
Massive	40	23	57,5	53	2,3	1,33	0_5
Disséminée	15	5	33,3	11	2,2	0,73	0_6
Disséminée*	13	4	30,8	5	1,25	0,38	0_3
Nodulaire	2	0	0	0	0	0	0_0
Rubanée	1	1	100	1	1	1	1_1

Table. 5.3. Distribution des minéraux du groupe du platine (MGP) selon la texture des chromitites dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. Même légende que pour le tableau 5.1. Disséminéé*: chromitites disséminées en excluant les chromitites dans les cumulats.

Assemion

Texture (%)	N.E.O.	N.E.C.P.	%N.E.C.P.	N.P.	N.P./E.C.	N.P./E.O.	min_max
0-40	4	2	50	2	1	0,5	0_2
41-60	21	10	47,6	14	1,4	0,67	0_3
61-80	9	3	33,3	14	4,7	1,56	0_6

Neyriz

Texture (%)	N.E.O.	N.E.C.P.	%N.E.C.P.	N.P.	N.P./E.C.	N.P./E.O.	min_max
0-40	2	1	50	6	6	3	0_6
0-40 *	1	0	0	0	0	0	0_0
41-60	8	3	37,5	4	1,3	0,63	0_3
41-60 *	7	3	42,9	4	1,3	0,71	0_3
61-80	5	0	0	1	0	0,2	0_1

Table. 5.4. Distribution des MGP dans les chromitites à texture disséminée en fonction du pourcentage de chromite de (0 à 80%) dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. Voir tableau 5.1. pour légende. Noter que le nombre observé augmente avec la proportion de chromite dans la roche. *: en excluant les chromitites dans les cumulats.

MGP des roches massives. Dans un deuxième stade, nous avons soustrait la surface totale des MGP du gisement Yassamine de la surface totale des MGP dans la région d'Assemion. les chromitites de ce gisement sont du type disséminées. Ces chromitites renferment 10 MGP avec une surface de 402,72 micromètre carré de surface totale des chromitites disséminées (566,54 micromètre carré). Dans ce cas la surface moyenne des MGP dans les roches disséminées est plus faible que celle des chromitites massives. Elle est de 7,69 micromètre carré et est proche de la surface moyenne des chromitites disséminées de la région de Neyriz (6,87 micromètre carré).

Massif	nombre MGP	surface Totale	S.T.M.	S.T.D.	S.M.M	S.M.D.
Assemion	156	2184,21	1617,67	566,54	12,94	18,88
Neyriz	65	1996,42	1920,86	75,56	36,24	6,87

Table. 5.5. Surface des MGP observés dans les chromitites selon la texture des minérais. La surface des MGP a été estimée à celle d'un rectangle. STM, surface des MGP dans les chromitites massives; STD, surface des MGP dans les chromitites disséminées; SMM, surface moyenne des MGP dans les chromitites massives; SMD, surface moyenne des MGP dans lse chromitites disséminées.

Lorsque le nombre des MGP dans les échantillons ne semble indiquer aucune idée sur la teneur des EGP, nous avons calculé dans un stade ultime, la surface moyenne des MGP pour 1 cm^2 d'échantillon dans chacun des massifs (table 5.6). Dans la région d'Assemion la surface moyenne des MGP par cm^2 est de 4.26, c'est à dire un MGP de dimension 2,06 x 2,06 micromètre carré et dans la région de Neyriz la surface moyenne des MGP est 5,41, c'est à dire un MGP de dimension 2.33 x 2.33 micromètre carré.

La même valeur obtenue dans les deux ophiolites, nous suggère que les teneurs initiales en EGP dans les magmas formant des chromitites ophiolitiques sont voisines. Mais les conditions physico-chimiques du milieu de formation peut changer le mode d'occurrence des MGP, en particulier la fugacité en soufre joue un rôle important. dans la répartition des MGP. Dans l'ophiolite d'Assemion à cause d'une fugacité plus forte en soufre par rapport à l'ophiolite de Neyriz, les MGP pouvaient se former dans

les endroits plus nombreux. Donc les MGP dans cette région ont cristallisés en plus grand nombre par rapport aux platinoïdes de Neyriz.

Massif	nombre de MGP	S.T.Pt	nombre d'échantillons	S.T.Ch	S.M.Pt.	T.M.Pt
Assemion	156	2184,2	74	449,68	4,86	2,2
Neyriz	65	1996,4	58	388,8	5,13	2,26

Table. 5.6. Relation entre la surface des MGP et celle des chromitites hôtes. Les surfaces ont été assimilées à des rectangles. STPt, surface totale des MGP observés; STCh, surface totale des chromitites hôtes des MGP; SMPt, surface moyenne de MGP en micromètre carré qui pourrait être observée dans une chromitite d'un centimètre carré; TMPt, taille moyenne de MGP qui pourrait être observée dans une chromitite d'un centimètre carré.

5.1.3. Répartition des MGP par rapport aux chromites

Nous avons trouvé une assez bonne corrélation entre la taille des MGP et la taille des spinelles hôtes dans les chromitites de la région d'Assemion. Cette corrélation est plus forte quand on compare la taille totale des inclusions (les assemblages polyminérales) avec la taille des spinelles. Dans les chromitites de la région de Neyriz, nous n'avons trouvé aucune relation entre la taille des MGP ou bien entre la taille des inclusions polyminérales et la taille des spinelles (Fig. 5.8). Autrement dit les grosses inclusions (ou les MGP isolés) peuvent exister dans les chromitites de petite taille et au contraire les petites inclusions (ou les MGP isolés) peuvent exister dans les chromites de taille plus grande. Dans les chromitites de Neyriz, la majorité des inclusions de MGP se trouvent dans les chromitites dont la taille varie de 0,5 à 1,5 mm. L'existence d'une assez bonne corrélation entre la taille des spinelles et les minéraux du groupe du platine inclus dans les chromitites d'Assemion montre que la concentration des EGP dans la chromite obéit à une règle. Soit ces corrélations sont les témoins des conditions physico-chimiques du milieu de formation de ces minéraux, soit ceci est un marqueur de l'homogénéité en EGP dans le liquide parent formant les gisements de chromite d'Assemion. La présence des corrélations positives entre la taille des MGP et celle de spinelles n'est pas compatible avec l'hypothèse suivant laquelle les MGP servent des germes à la croissance des spinelles.

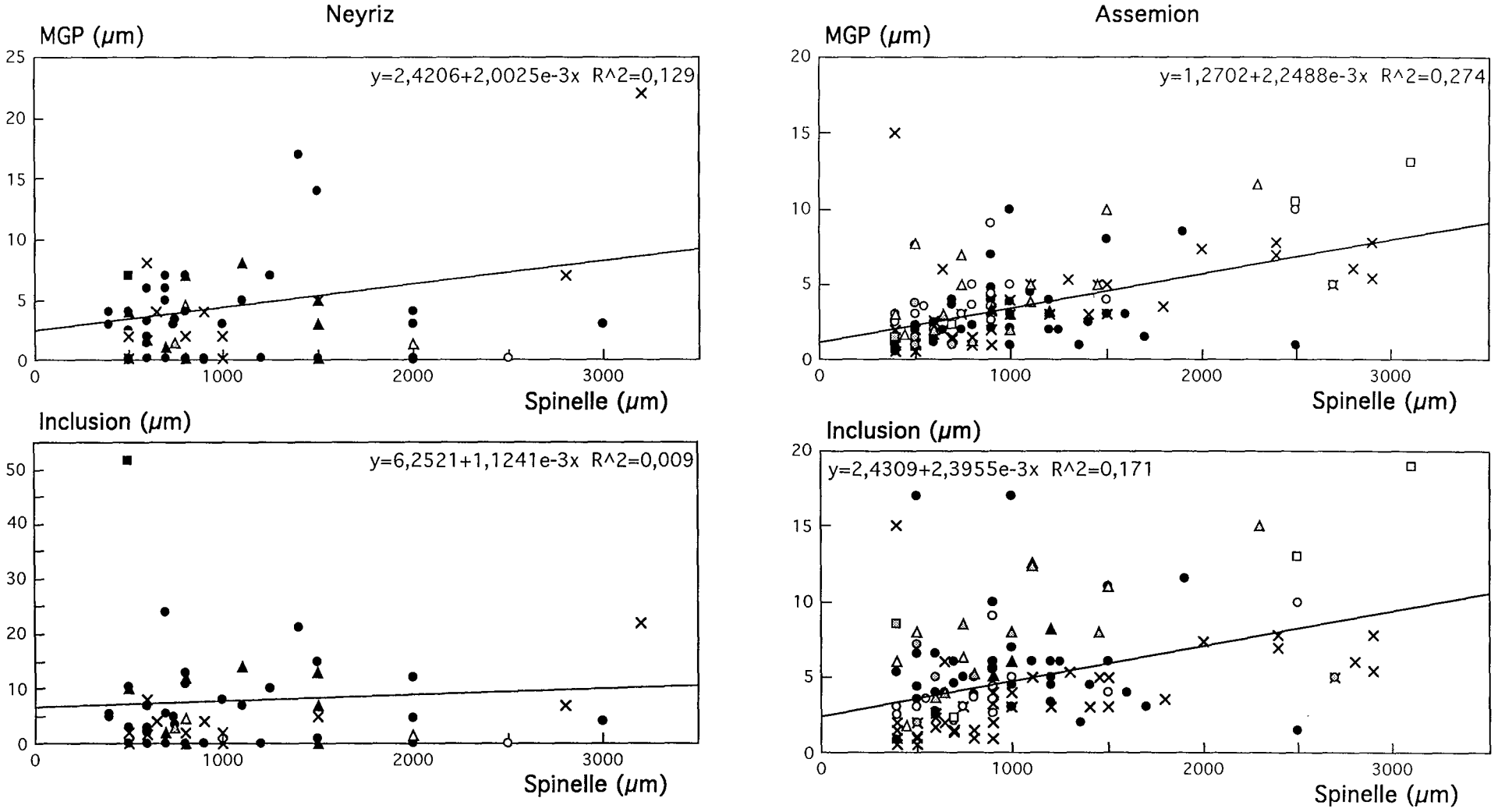


Fig. 5.8. Taille des MGP et des inclusions en fonction de la aille des grains de chromite hôte dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. Noter qu'une corrélation positive est en mise en évidence à Assemion qui pourrait être le signe d'une croissance commune. Inclusions monophasées (croix); inclusions biphasées: 1MGP+1silicate (cercle noir), 1MGP+1SMB (cercle gris), 2MGP (cercle vide); inclusions triphasées: 1MGP+2silicates (triangle noir), 1MGP+1SMB+1silicate (triangle gris), MGP $\geq$ 2 (triangle vide); inclusions quadriphasées: 1MGP+1SMB+2silicates (carré noir), MGP $\geq$ 2 (carré vide).

Nous avons également observé une assez bonne corrélation entre la taille des MGP et celle des inclusions les contenant. Cette corrélation est plus forte quand on élimine les MGP isolés et lorsqu'on fait la corrélation entre les MGP et les inclusions polyphasées. Cette corrélation est moins forte dans les chromitites de Neyriz par rapport aux chromitites d'Assemion (Fig. 5.9). L'existence de cette relation peut s'expliquer par la coexistence des assemblages polyphasés pendant la croissance de la chromite hôte.

Pour mieux comprendre le mode de cristallisation des minéraux du groupe du platine dans les spinelles hôtes, nous avons aussi comparé la taille des MGP et celles des inclusions avec leurs positions dans le minéral hôte. En première approche, nous avons fait la comparaison entre la taille des MGP et celles des inclusions avec leur distance respective par rapport à la bordure du spinelle (D.B.). Cette comparaison ne montre aucune relation entre eux (Fig. 5.10), mais la comparaison de la taille des inclusions et surtout celles des MGP avec le rapport de la distance à la bordure sur la taille du spinelle (D.B./Sp) dans les chromitites de la région d'Assemion donne une corrélation assez bonne montrant une diminution de la taille des MGP avec l'augmentation de ce rapport, autrement dit les MGP de grande taille se trouvent plutôt vers la périphérie des spinelles hôtes. Dans les chromitites de Neyriz nous n'avons pas observé ces corrélations (Fig. 5.11).

Dans une deuxième étape, nous avons fait des comparaisons entre la taille des MGP et celles des inclusions avec leur distance à la bordure du spinelle et avec le rapport D.B./Sp dans chaque gisement dans les massifs. Dans le massif d'Assemion les corrélations obtenues dans les différents gisements sont plus fortes que celles obtenues pour l'ensemble des MGP et des inclusions de la région, surtout quand nous avons comparé la taille des MGP avec le rapport D.B./Sp, nous avons obtenu de très bonnes corrélations. Dans le massif ophiolitique de Neyriz, les indices Cheshmeh Bid T6, Cheshmeh Bid T2, Roni, Rajoni et Khajeh Jamali montrent d'assez bonne corrélations. Dans les tableaux 5.7 et 5.8 sont indiquées les équations obtenues ainsi que leurs coefficients de corrélation pour chacun des différents gisements de ces deux massifs étudiés.

Comme les laurites et les erlichmanites forment la majorité des MGP dans les massifs ophioliiques, nous avons d'abord fait une comparaison entre la taille de ces minéraux et le rapport D.B./Sp pour chaque gisement. Dans ce cas, nous avons également observé de bonnes corrélations dans le massif d'Assemion. A Neyriz les corrélations sont moins fortes par rapport à Assemion (Table. 5.9A). Ensuite pour éliminer l'effet des minéraux accompagnants les MGP, nous avons étudié la

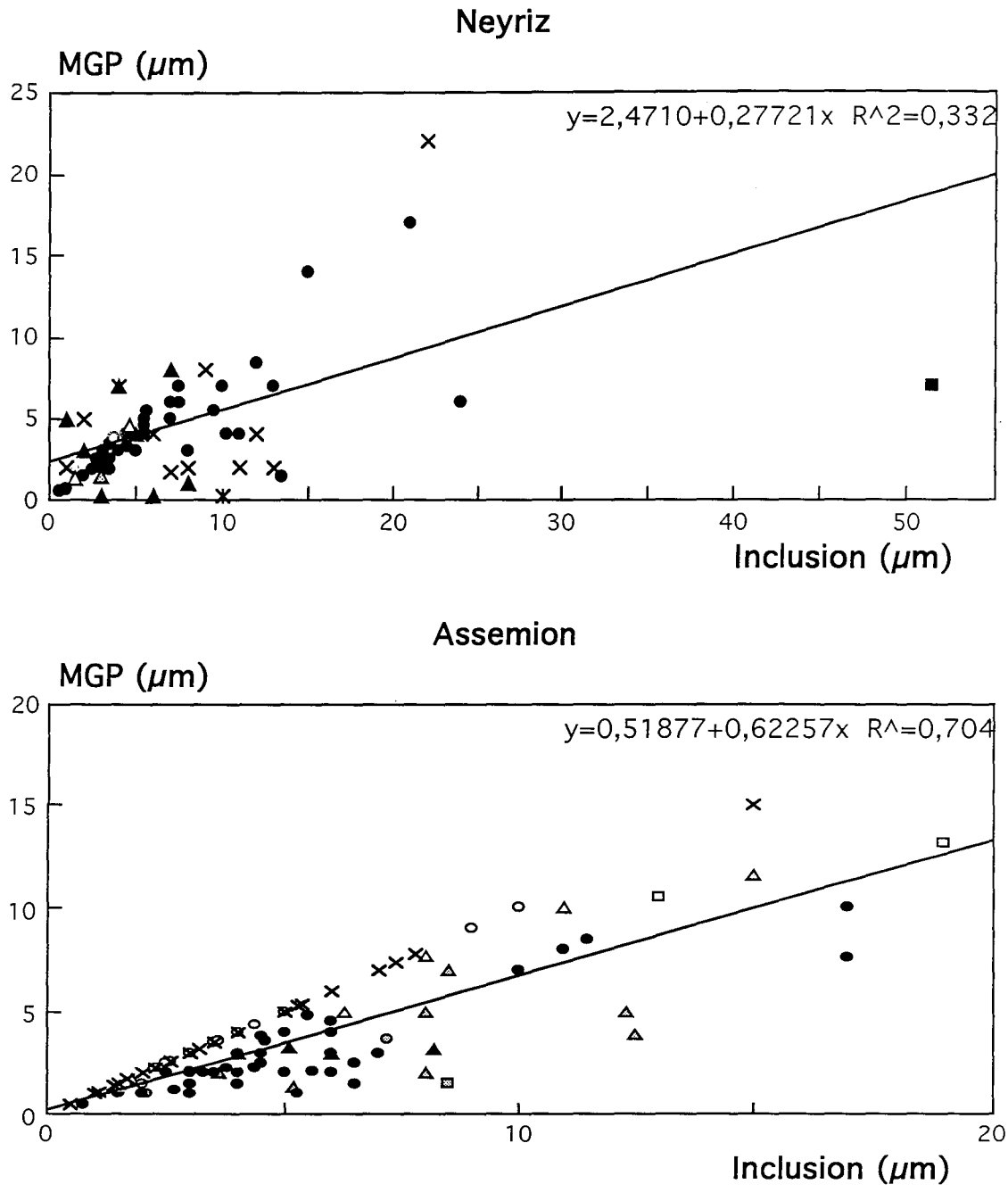


Fig. 5.9. Corrélation entre la taille des MGP et celle des inclusions hôtes dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. Même lédende que pour la figure 5.8.

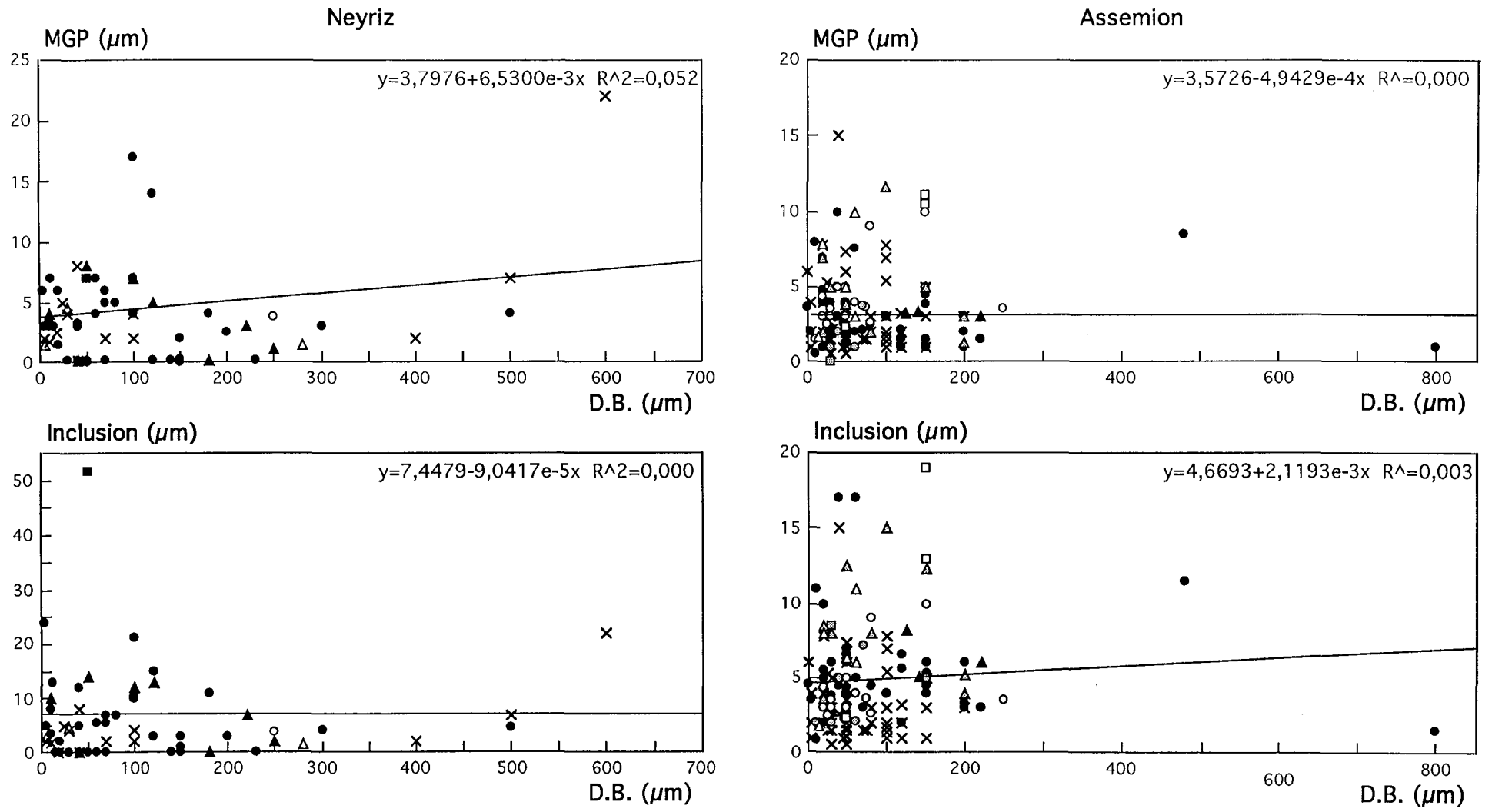


Fig.5.10. Relation entre la taille des MGP et la distance du MGP vis à vis de la bordure du grain de chromite hôte (D.B.) dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. Même légende que pour la figure 5.8. Noter l'absence de corrélation.

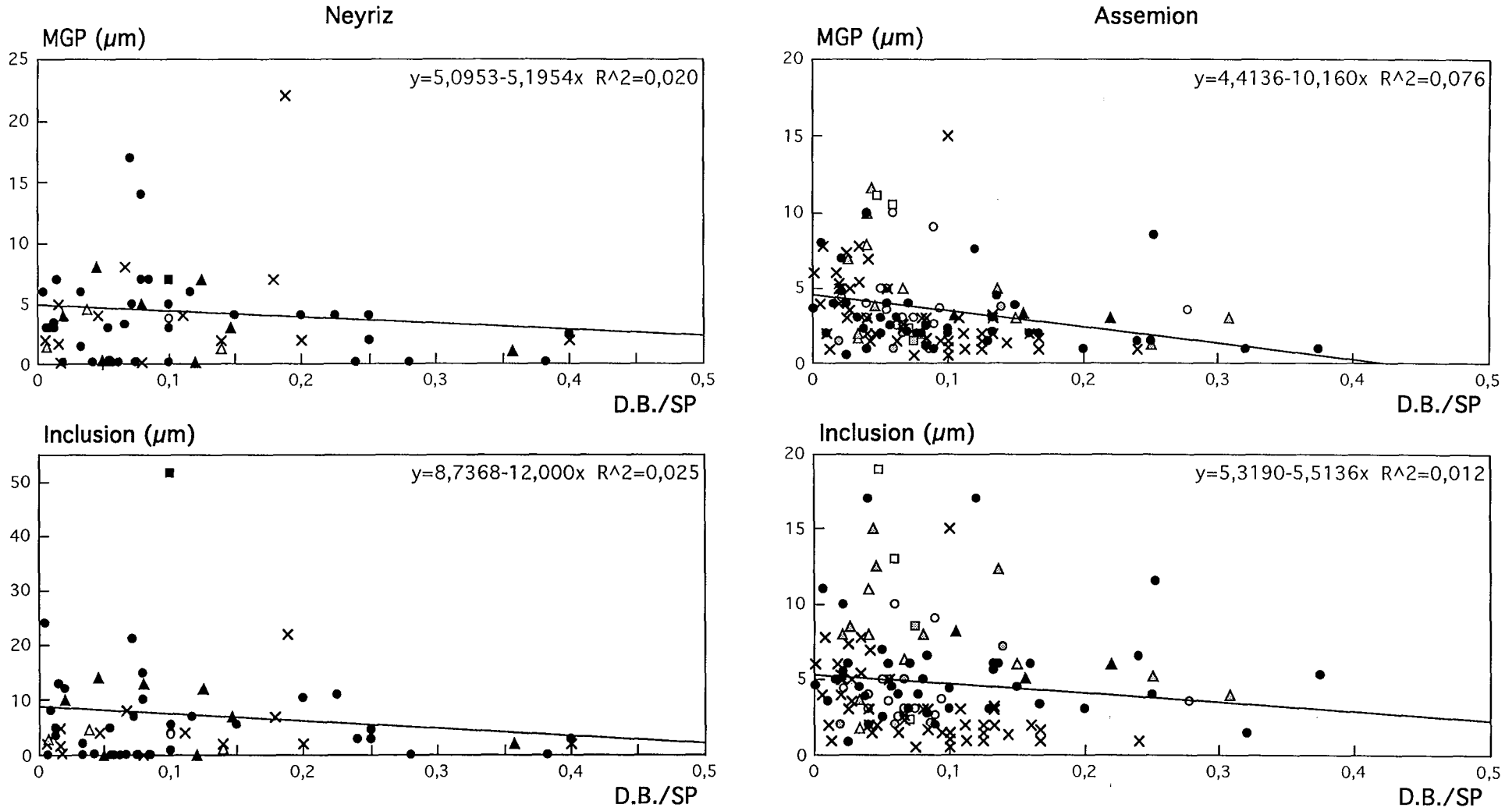


Fig. 5.11. Relation entre la taille des MGP et le rapport entre la distance du MGP à la bordure et la taille du grain de chromite hôte (D.B./Sp) dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. Même légende que pour la figure 5.8.

comparaison entre la taille des laurites et celles des erlichmanites qui sont présents en minéraux isolés avec le rapport D.B./Sp. Dans ce cas, nous avons observé une très bonne corrélation entre la taille des minéraux avec le rapport D.B./Sp. Les coefficients de corrélations sont en majorité proches de 1 (Table. 5.9B). C'est à dire que les minéraux de groupe du platine de grande taille sont présents vers la périphérie des minéraux hôtes et au contraire les minéraux de petite taille se trouvent le plus souvent vers le centre des spinelles.

A

Gisement	nombre des MGP	A1 Pt-D.B.		A2 In-D.B.	
Cheshmeh Bid-cu	6	Y=1,7737-(1,0022e-2)X	R^2=0,012	Y=2,5927+(6,1961e-2)X	R^2=0,223
Cheshmeh Bid-T8	17	Y=2,3047+(1,7422e-2)X	R^2=0,381	Y=2,3047+(1,7422e-2)X	R^2=0,381
Cheshmeh Bid-T7	10	Y=4,5523+(1,3942e-2)X	R^2=0,016	Y=5,0526+(2,1471e-2)X	R^2=0,024
Cheshmeh Bid-T6	8	Y=7,8895-(2,0810e-2)X	R^2=0,178	Y=9,6757-(2,0182e-2)X	R^2=0,145
Cheshmeh Bid-T5	4	Y=7,7810-(3,9769e-2)X	R^2=0,832	Y=28,608-(0,1022e-2)X	R^2=0,068
Roni	4	Y=4,2332+(1,7271e-4)X	R^2=0,000	Y=7,8290+(4,3178e-3)X	R^2=0,005
Rajoni	10	Y=3,9964-(4,5137e-3)X	R^2=0,135	Y=6,6030-(9,8429e-3)X	R^2=0,219

B

Gisement	nombre des MGP	B1 Pt-D.B./Sp		B2 In-D.B./Sp	
Cheshmeh Bid-cu	6	Y=1,7684-5,5500X	R^2=0,016	Y=2,6278+34,250X	R^2=0,293
Cheshmeh Bid-T8	17	Y=3,5454+16,402X	R^2=0,064	Y=6,1214+10,976X	R^2=0,023
Cheshmeh Bid-T7	10	Y=6,9482-15,262X	R^2=0,059	Y=8,1187-16,597X	R^2=0,045
Cheshmeh Bid-T6	8	Y=8,2146-22,152X	R^2=0,300	Y=10,780-26,837X	R^2=0,382
Cheshmeh Bid-T5	4	Y=4,7917-2,7782X	R^2=0,006	Y=20,474-2,8440X	R^2=0,000
Roni	4	Y=5,8073-10,833X	R^2=0,343	Y=11,215-20,627X	R^2=0,301
Rajoni	10	Y=3,39944-6,226X	R^2=0,112	Y=6,6865-14,283X	R^2=0,202

Table. 5.7. Equations et coefficients des corrélations obtenues pour des gisements de Neyriz entre la taille des MGP (Pt) (A1), la taille des inclusions renfermant des MGP (In) (A2) et la distance des inclusions par rapport à la bordure du grain de chromite (D.B.); entre la taille des MGP (Pt) (B1), la taille des inclusions renfermant des MGP (In) (B2) et le rapport obtenu entre la distance séparant l'inclusion de la bordure du grain de chromite et la taille du grain de chromite (D.B.)/Sp. En ce qui concerne les autres gisements, le nombre de MGP observé est insuffisant pour réaliser une étude statistique. Taille des minéraux est en micromètre.

A

Gisement	nombre de MGP ou inclusion	A1 Pt-D.B.		A2 In-D.B.	
Doveisse	22	Y=2,4690-(2,0393e-3)X	R^2=0,052	Y=3,1730-(1,6376e-3)X	R^2=0,025
Bahram	9	Y=1,0900+(6,4000e-2)X	R^2=0,094	Y=1,0314+(8,0286e-2)X	R^2=0,180
Yassamine	10	Y=7,7163-(5,1145e-2)X	R^2=0,116	Y=9,2895-(3,0646e-2)X	R^2=0,049
Chahriar	14	Y=3,1994-(1,6908e-2)X	R^2=0,224	Y=4,7553-(1,9490e-2)X	R^2=0,099
Chahine	30	Y=5,5157-(8,2977e-3)X	R^2=0,037	Y=6,4564+(1,2844e-2)X	R^2=0,024
Chojaie	13	Y=2,4082+(1,3905e-2)X	R^2=0,040	Y=4,3852+(2,1325e-2)X	R^2=0,019
Amir	9	Y=3,8482-(2,7899e-2)X	R^2=0,127	Y=4,1837+(1,9611e-2)X	R^2=0,022
Fétr	18	Y=3,1332-(1,6048e-2)X	R^2=0,273	Y=3,4215-(7,3588e-2)X	R^2=0,027
Nematte	10	Y=3,9527-(1,0234e-3)X	R^2=0,001	Y=7,2463+(3,8889e-3)X	R^2=0,007
Abcharballa	3	Y=8,0000-(2,5000e-2)X	R^2=0,893	Y=1,0000+(1,0000e-2)X	R^2=1,000
Ismaeil	9	Y=3,7014-(1,5644e-3)X	R^2=0,022	Y=4,6079+(5,5698e-3)X	R^2=0,032
Reza Balla	4	Y=11,549-(5,9278e-2)X	R^2=0,559	Y=7,3600+(4,0000e-3)X	R^2=0,001

B

Gisement	nombre de MGP ou inclusion	B1 Pt-D.B./Sp		B2 In-D.B./Sp	
Doveisse	22	Y=3,0893-7,7271X	R^2=0,226	Y=3,8895-(8,1299e-2)X	R^2=0,088
Bahram	9	Y=4,1058-47,781X	R^2=0,306	Y=0,728570+0,446400X	R^2=0,535
Yassamine	10	Y=8,1140-36,367X	R^2=0,243	Y=4,90280+0,6083300X	R^2=0,172
Chahriar	14	Y=3,2401-11,315X	R^2=0,322	Y=3,5769+(4,1758e-2)X	R^2=0,006
Chahine	30	Y=6,1832-21,403X	R^2=0,239	Y=6,6206+(7,2547e-2)X	R^2=0,012
Chojaie	13	Y=2,3663+10,694X	R^2=0,079	Y=3,741400+27,10200X	R^2=0,104
Amir	9	Y=3,6955-13,892X	R^2=0,250	Y=3,959100+16,13500X	R^2=0,117
Fétr	18	Y=3,1871-11,109X	R^2=0,326	Y=3,714500-8,077500X	R^2=0,082
Nematte	10	Y=5,1977-15,402X	R^2=0,237	Y=8,538500-9,466100X	R^2=0,051
Abcharballa	3	Y=4,1531-8,6505X	R^2=0,893	Y=2,538500+3,461500X	R^2=1,000
Ismaeil	9	Y=3,8858-2,8992X	R^2=0,059	Y=5,4340-(2,3810e-2)X	R^2=0,001
Reza Balla	4	Y=11,568-44,921X	R^2=0,993	Y=11,10000-1,360000X	R^2=0,045

Table. 5.8. Equations et coefficients des corrélations obtenues pour des gisements d'Assemion. Même légende que pour le tableau 5.7.

Ce mode d'occurrence montre que les MGP se forment plutôt à la fin de la cristallisation de la chromie hôte. Ce changement de la taille des MGP également suggére la contemporanéité de la formation des MGP inclus et des chromites hôtes.

Afin de vérifier la position des MGP par rapport aux minéraux hôtes, nous avons divisé le spinelle aux trois zone en utilisant du rappor D.B./Sp: la zone de bordure (0<D.B./Sp<0,05), la zone intermédiaire (0,05<D.B./Sp<0,3) et la zone centrale (0,3<D.B./Sp). La majorité des MGP dans les deux massifs se trouvent le plus souvent dans la zone de bordure (45% en Assemion et 31% à Neyriz) et dans la zone intermédiaire (52% en Assemion et 63% à Neyriz) plutôt que dans la zone centrale (4% à Assemion et 6% à Neyriz).

Comme les teneurs en Os et Ir des laurites sont de bons marqueurs de la fugacité en soufre du miliue de formation des MGP, elles peuvent donc indiquer l'évolution chimique des MGP. Dans ce but nous avons comparé la composition des laurites dans les différentes zones des spinelles. La comparaison de la composition chimique des laurites dans les deux massifs montre une différence entre les minéraux inclus dans les différentes zones. Les laurites deviennent plus riches en Ru de la bordure vers le centre des spinelles. La différence quasi-régulière de la chimie des laurites ou bien la variation cryptique de la composition des laurites est un témoin de la cristallisation des laurites dans les différents stades de la croissance des chromites.

5.2. Distribution des différentes phases au sein des inclusions

Les MGP apparaissent généralement sous forme d'association polyminérale. 80% à Neyriz et 69% à Assemion. Ces associations polyminérales peuvent comporter deux, trois ou quatre composants (Table. 10). L'étude des paragènes nous permet de préciser les conditions physico-chimiques du milieu de formation (nous discuterons sur ces conditions dans le chapitre VII). Les MGP sont souvent automorphes, c'est le cas de 82% des minéraux du groupe du platine de Neyriz et 79% des MGP d'Assemion.

5.2.1. Les inclusions monophasées

Les inclusions monophasées ou bien les MGP isolés se trouvent dans un vaste domaine allant du centre vers la bordure de la chromite. Ces inclusions constituent 31% et 20% de la totalité des MGP des massifs d'Assemion et de Neyriz respectivement. Elles sont principalement automorphes, 90% des ces minéraux à Assemion et 83% à Neyriz, donc le pourcentage des minéraux monophasés

Assemion

A

Gisement	nombre de MGP	Pt-D.B/Sp	
Doveisse	21	Y=3,0893-7,7270X	R^2=0,226
Bahram	7	Y=5,6719-79,712X	R^2=0,760
Yassamine	7	Y=9,5936-41,797X	R^2=0,390
Chahriar	7	Y=3,4057-10,969X	R^2=0,365
Chahine	21	Y=6,2349-21,182X	R^2=0,258
Chojaie	9	Y=2,6104-3,8860X	R^2=0,027
Amir	7	Y=3,5019-12,393X	R^2=0,210
Fétr	14	Y=3,3772-11,917X	R^2=0,360
Nematte	6	Y=6,8604-25,475X	R^2=0,795
Ismaeil	8	Y=3,8858-2,8992X	R^2=0,059
Reza Balla	3	Y=10,266-38,610X	R^2=1,000

B

Gisement	nombre de MGP	Pt-D.B/Sp	
Doveisse	11	Y=4,3328-20,780X	R^2=0,432
Bahram	4	Y=5,7776-74,460X	R^2=0,833
Yassamine	3	Y=14,180-69,177X	R^2=0,619
Chahine	6	Y=7,7918-48,204X	R^2=0,734
Fétr	10	Y=4,6773-29,941X	R^2=0,656

Neyriz

A

Gisement	nombre de MGP	Pt-D.B/Sp	
Cheshmeh Bid-cu	3	Y=1,7779-6,2950X	R^2=0,088
Cheshmeh Bid-T8	16	Y=3,9436+15,640X	R^2=0,057
Cheshmeh Bid-T7	8	Y=8,6763-25,046X	R^2=0,157
Cheshmeh Bid-T6	7	Y=9,0194-23,641X	R^2=0,375
Cheshmeh Bid-T5	3	Y=3,5371+15,403X	R^2=0,024
Roni	4	Y=5,8073-10,833X	R^2=0,343
Rajoni	9	Y=4,2466-5,8996X	R^2=0,125

B

Gisement	nombre de MGP	Pt-D.B/Sp	
Cheshmeh Bid-T8	4	Y=1,4227+83,949X	R^2=0,705

Table. 5.9. A, équations et corrélations obtenues pour des gisements de Neyriz et d'Assemion entre la taille des laurites et erlichmanites et le rapport obtenu entre la distance séparant l'inclusion de la bordure du grain de chromite et la taille du grain de chromite (D.B.)/Sp; B, équations et corrélations obtenus pour des gisements de Neyriz et d'Assemion entre la taille des laurites et erlichmanites et le rapport (D.B.)/Sp en éliminant les inclusions polyphasées. En ce qui concerne les autres gisements, le nombre de MGP observé est insuffisant pour réaliser une étude statistique. Taille des minéraux est en micromètre.

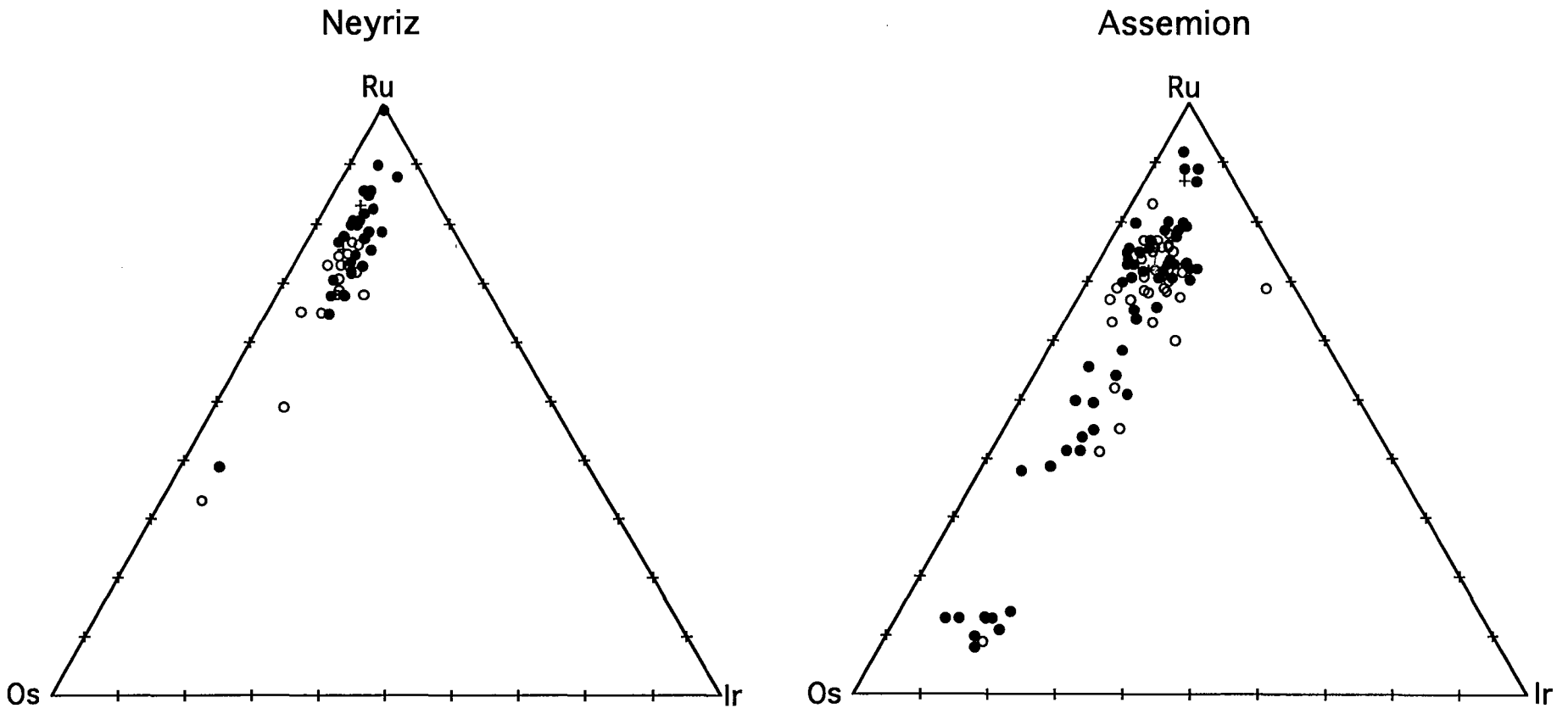


Fig.12. Variation de la composition des laurites et des erlichmanites en fonction de leur position dans le grain de chromite dans les gisements de Neyriz et d'Assemion. Croix, MGP au coeur; cercles pleins, MGP dans la zone intermédiare; cercles vides, MGP dans la zone de bordure du grain de chromite. Les limites entre les zones sont définies d'après la valeur du rapport: (distance du MGP à la bordure/ taille de la chromite); voir le texte. Noter l'enrichissement des laurites en Os e plus ou moins en Ir des laurites du coeur vers la bordure des grains de chromite. Les erlichmanites en majorité se situent dans la zone intermédiare.

Massif	Types d'inclusions	Pourcentage d'inclusions							Total Assemion	Total Neyriz
Assemion Neyriz	Inclusion Monophasée	31 20							31	20
	Inclusion biphasée		2mgp	1 mgp 1 smb	1 mgp 1 sil.					
Assemion Neyriz			19 3	5 2	25 51				49	56
	Inclusion triphasée		3 mgp	2 mgp 1 smb	2 mgp 1 sil	1 mgp 1 smb 1 sil	1 mgp 2 sil			
Assemion Neyriz			5	3	3 3	6 2	2 12		14	22
	Inclusion quadriphasée		3 mgp 1 smb	2 mgp 1 smb 1 sil.	1 mgp 1 smb 2 sil.					
Assemion Neyriz			1	4	1 2				6	2
									100	100

Table. 5.10. Distribution des inclusions de MGP selon leurs types, dans les chromites de Neyriz et d'Assemion. mgp, minéraux du groupe du platine; smb, sulfure de métaux de base; sil, silicate.

automorphes est supérieur aux MGP automorphes dans les associations polyminérales. Les minéraux subautomorphes se situent le plus souvent vers le centre des chromites. Ces MGP sont présents dans tous les niveaux stratigraphiques des deux massifs (comparer les Figs. 5.13 et 5.14 avec les Figs. 5.15 et 5.16).

5.2.2. Les inclusions biphasées

Les inclusions biphasées constituent la plus grande partie des inclusions polyphasées des MGP (respectivement 49% et 56% de la totalité des minéraux du groupe du platine des massif d'Assemion et de Neyriz). La diversité des assemblages biphasées dans la région d'Assemion est plus forte qu'à Neyriz (table. 5.10). La diversité des assemblages biphasées des MGP dans le massif d'Assemion peut s'expliquer par une plus forte fugacité en soufre. Une grande quantité de soufre dans le système minéralisant est responsable de la cristallisation en abondance des sulfures à Assemion. Nous n'avons pas trouvé de relation entre le type des assemblages minéralogiques ou bien les minéraux accompagnant les MGP et la position stratigraphique dans les piles ophiolitiques. En Albanie, Neziraj (1992) a observé un changement dans les silicates accompagnant les MGP avec la stratigraphie. En revanche les assemblages minéralogique des MGP montre une répartition évolative à l'échelle d'un grain de chromite.

Les silicates accompagnant les MGP sont des pyroxènes, des amphiboles, des serpentines et des chlorites et les sulfures associés sont des sulfures de Ni, des sulfures de Ni-Fe et des sulfures de Cu. L'association MGP-silicate est la plus fréquente dans les deux massifs. D'une façon générale, les silicates sont petits et subautomorphes. Dans les assemblages polyminérales, les silicates sont en croissance épitaxiale sur les MGP. Plus les silicates sont de petite taille, plus le rapport longueur/largeur des minéraux est grand.

Comme les MGP monophasées, les MGP subautomorphes biphasées se situent le plus souvent vers le centre des chromites hôtes (Figs. 5.15 et 5.16). Ils sont présents dans les trois zones de la chromite, mais nous observons dans les figures 5.18 et 5.19 que les inclusions du type MGP-MGP se trouvent en général vers le centre des minéraux hôtes et du type MGP-SMB se situent le plus souvent vers la bordure des chromites. L'augmentation de la fugacité en soufre peut expliquer cette répartition des assemblages. Les inclusions du type platinoïde-silicate sont présent dans les trois zone de la chromite.

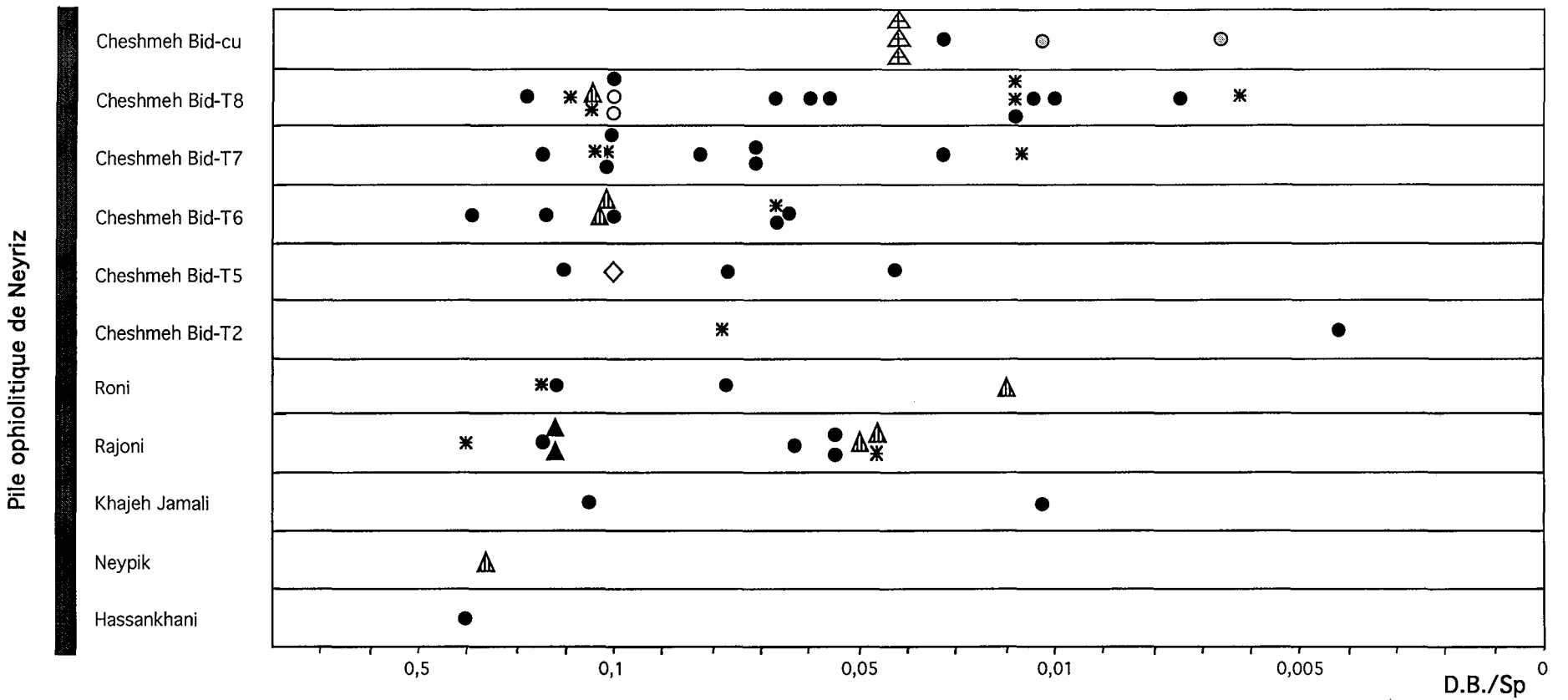


Fig. 5.13. Relation entre la nature des inclusions et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Neyriz. (D.B.)/Sp exprime le rapport entre la distance de l'inclusion à la bordure et la taille du grain de chromite. mgp, minéraux du groupe du platine; smb, sulfure de métaux de base; sil, silicate.

monophasé
mgp

biphasé
mgp+sil
mgp+mgp
mgp+smb

triphasé
mgp+mgp+sil
mgp+mgp+smb
mgp+sil+smb
mgp+sil+sil
mgp+mgp+mgp

quadriphasé
mgp+mgp+mgp+smb
mgp+mgp+sil+smb
mgp+sil+sil+smb

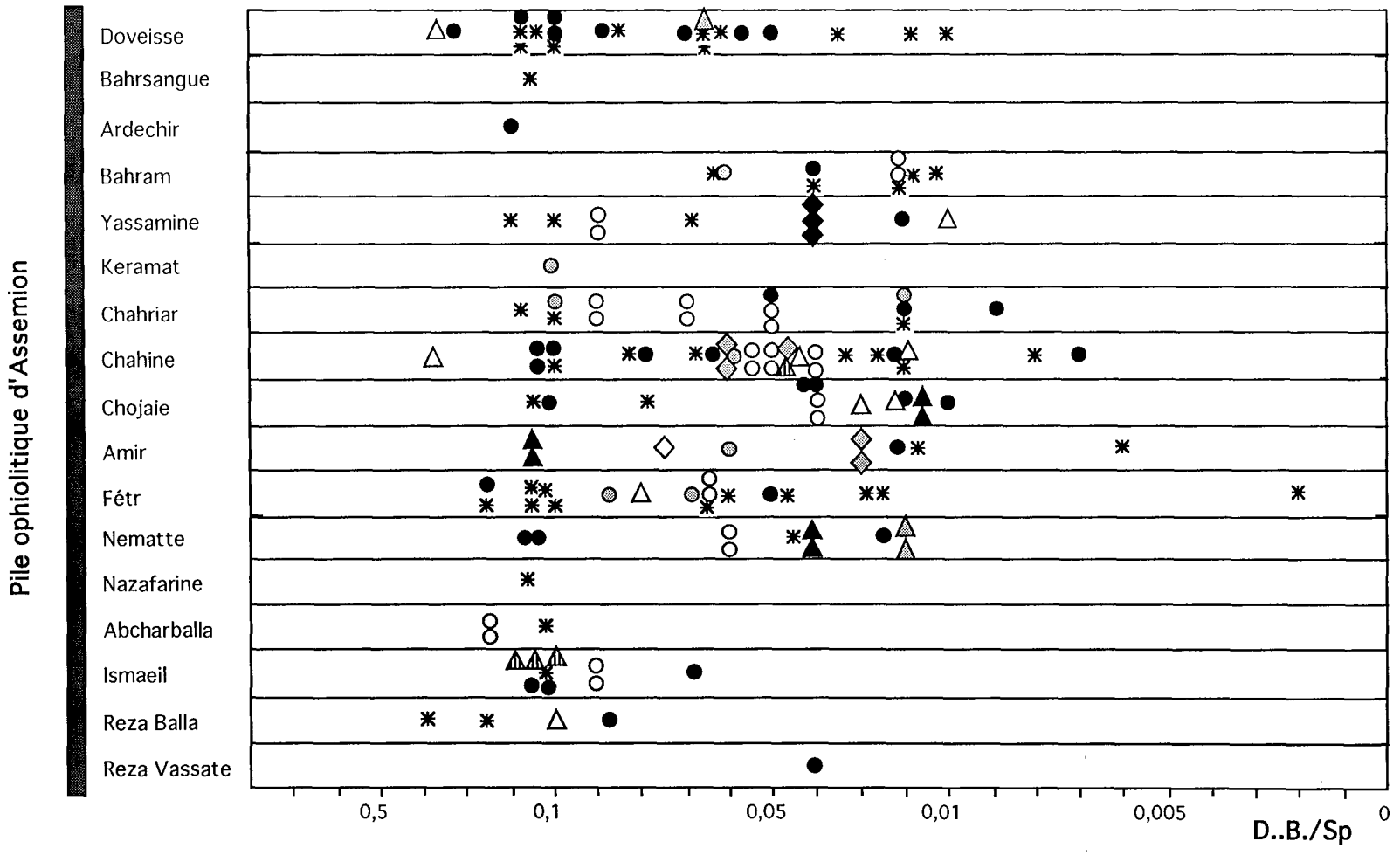


Fig. 5.14. Relation entre la nature des inclusions et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Assemion. Même légende que pour la figure 5.13.

5.2.3. Les inclusions triphasées

Comme pour les inclusions biphasées, la diversité des assemblages triphasées des MGP dans les chromitites du massif d'Assemion est plus forte que celle des assemblages triphasées dans les chromitites de Neyriz. Le pourcentage des associations contenant des sulfures de métaux de base dans la région d'Assemion est beaucoup plus élevé que celle de la région de Neyriz (Table. 5.10). Nous observons que les associations minérales à trois ou quatre composant se trouvent en général dans les gisements les plus riches en MGP (Fig. 5.15 et 5.16). Les gisements moins riches en MGP contiennent le plus souvent des MGP monophasées ou biphasées. Dans ces figures, il est évident que les assemblages minéralogiques les plus complexes et surtout celles contenant les sulfures de métaux de base se situent préférablemen vers la bordure des spinelles. Ce qui indique un changement du type d'assemblage en fonction de leur position dans la chromite hôte, ou bien l'évolution du type d'assemblage corresponde aux changements des conditions physico-chimiques du miliue de formation des inclusions lors de la cristallisation de la chromite hôte.

5.2.4. Les inclusions quadriphasées

Les inclusions quadriphasées sont rares dans les chromitites de Neyriz. nous n'avons trouvé qu'un seul MGP dans une inclusion de quatre composant (moins de 2% de la totalité des MGP de cette région). Dans le massif d'Assemion, dix inclusions quadriphasées ont été recencées, soit 7% de la totalité des MGP de cette région. Elles sont également plus diversifiées qu'à Neyriz (Table. 5.10). Les inclusions quadriphasées dans le massif d'Assemion appartiennent aux gisements Amir, Chahine et Yassamine qui sont très riches en MGP (Fig. 5.14). Lorsque les associations quadriphasées contiennent des sulfures de métaux de base, elles se situent à la périphérie des chromites hôtes. Nous pouvons suggérer que les assemblages les plus composites se forment dans les gisements riches en EGP sous une forte fugacité en soufre durant les dernières stades de croissance de la chromite.

5.3. Conclusions générales sur la distribution des MGP

La modalité d'occurrence des minéraux du groupe du platine dans les deux massifs étudiés n'est pas la même. Il existe des hiatus dans la cristallisation des MGP. Il est proposé soit une formation en plusieurs étapes, soit des changements brutaux des paramètres physico-chimiques lors de la formation des MGP dans les chromitites à Assemion.

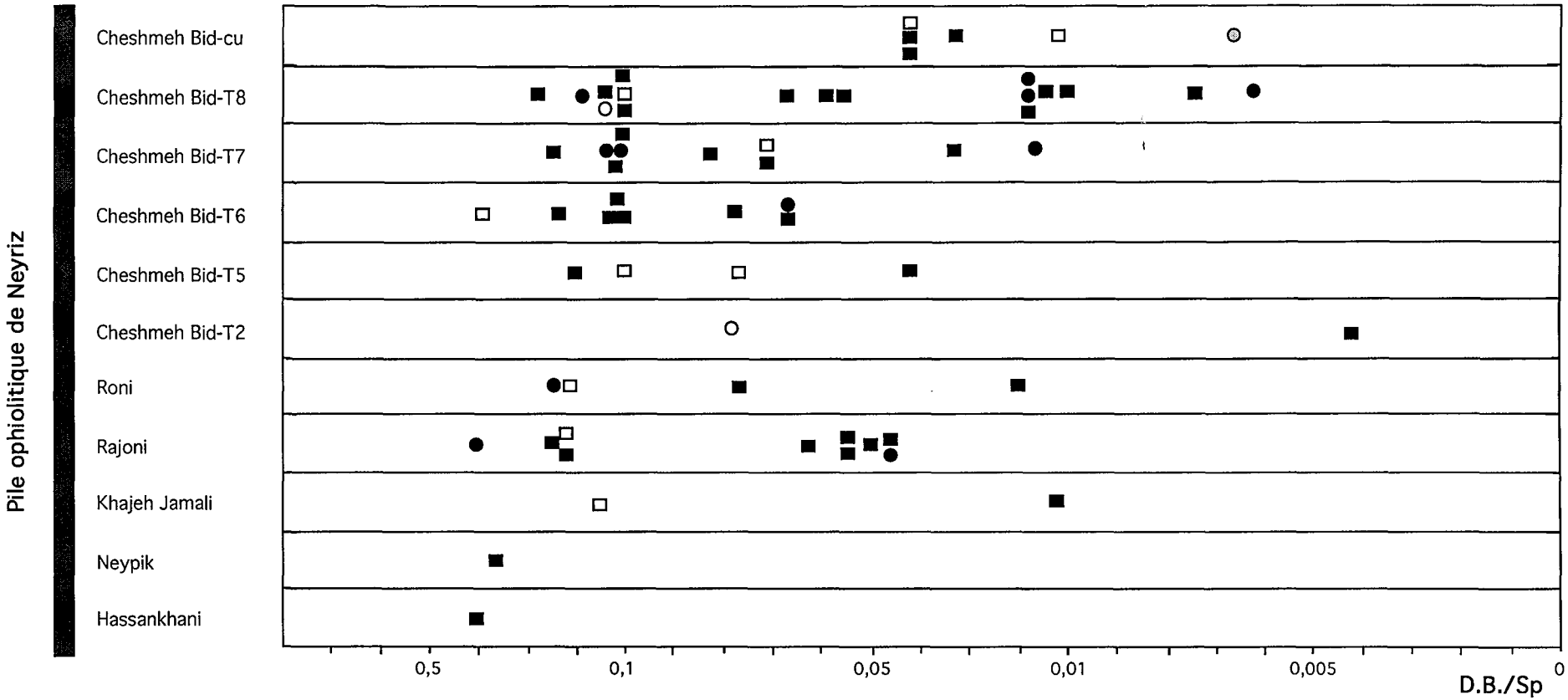


Fig. 5.15. Relation entre la morphologie des MGP et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Neyriz. (D.B.)/Sp exprime le rapport entre la distance de l'inclusion à la bordure et la taille du grain de chromite. Cercles, mgp isolés; Carrés, mgp dans inclusion pluriphasée.

monophasé		polyphasé	
automorphe	●	automorphe	■
subautomorphe	○	subautomorphe	□

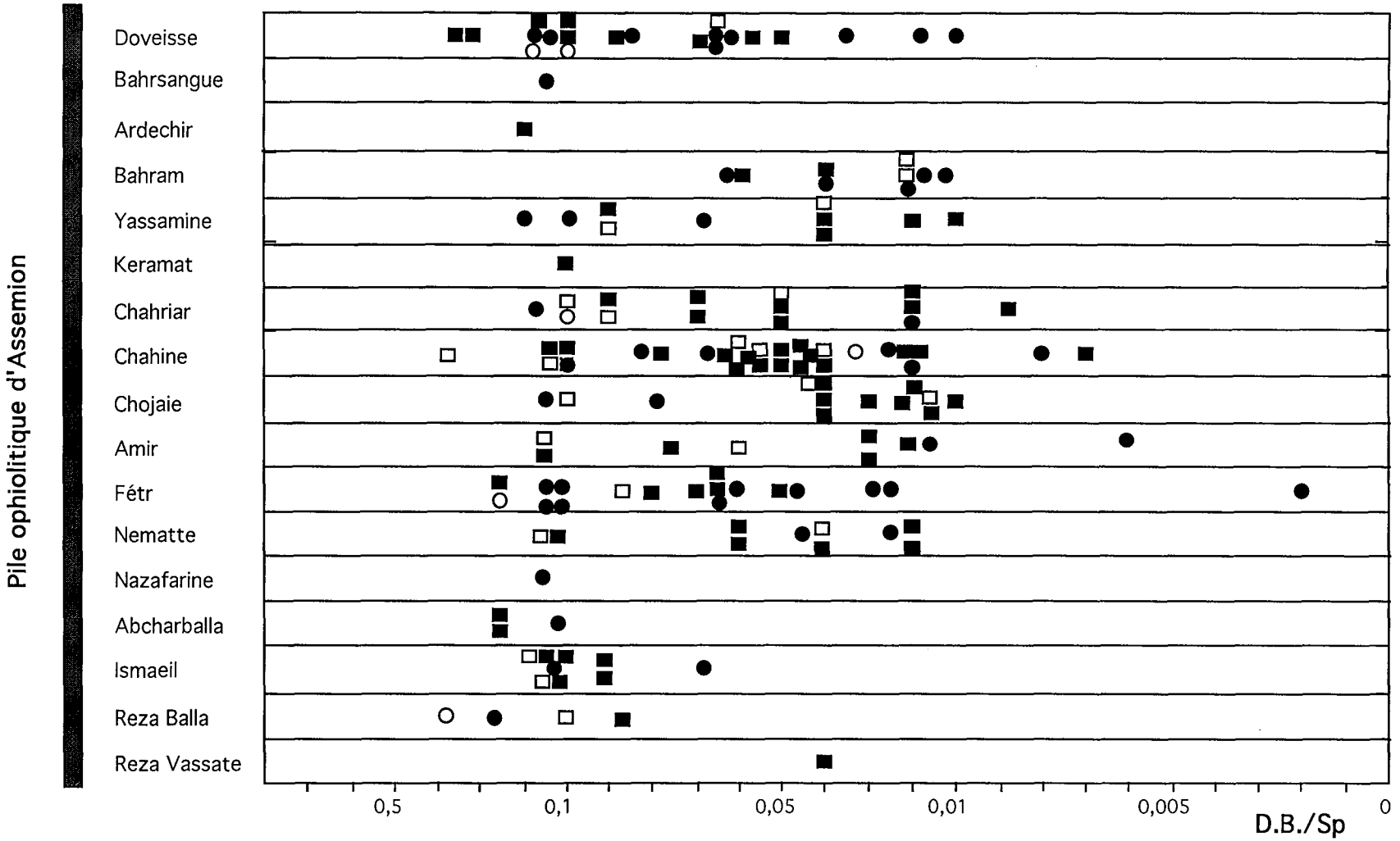


Fig. 5.16. Relation entre la morphologie des MGP et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Assemion. Même légende que pour la figure 5.15.

Les gisements de chromite au niveau inférieur du massif de Neyriz sont pauvres en MGP. Ce qui indique que les conditions nécessaires à la formation des minéraux du groupe du platine dans ces gisements ne sont pas réunies.

La répartition des EGP dans les échantillons d'un gisement n'est pas aléatoire. Les gisements riches en EGP contiennent les plus gros MGP. Il est proposé soit une diffusion des EGP au cours de la formation des chromites, soit une préconcentration de ces éléments dans le magma formant les gisements de chromite.

Les minéraux du groupe du platine à Neyriz sont de plus grosse taille que ceux d'Assemion. Sous forte fugacité en soufre, les MGP croissent en plus grand nombre (le cas d'Assemion).

Les chromitites massives renferment plus de MGP que les chromitites disséminées. Le nombre des MGP augmente avec l'augmentation du nombre de chromites dans les roches. Il n'y a aucun rapport entre le nombre ou le volume des minéraux du groupe du platine dans un échantillon et la position de l'échantillon dans le gisement.

Malgré la différence du nombre des MGP par échantillon dans les deux massifs, la surface moyenne par cm^2 d'échantillon est voisine, autrement dit les teneur en EGP sont proche dans les deux ophiolites.

L'existence d'une bonne corrélation entre la taille de MGP et celle de la chromite hôte, également l'existence d'une bonne corrélation entre la taille des MGP et celle des inclusions qui les renferment suggère la coprécipitation des phases en assemblages polyminérales pendant la croissance de la chromite.

La majorité des platinoïdes se situent dans la zone intermédiaire ou à la périphérie des chromites. Il y a les corrélations entre la taille des platinoïdes et le rapport D.B./Sp pour chaque gisement. Cequi suggère que les MGP seforment plutôt à la fin de la crisallisation de chromite hôte.

Il existe une variation cryptique dans la chimie des laurites. Ce qui indique que la cristallisation des laurites se fait à des stades différents au cours de la croissance de chromite.

Les MGP monophasés sont plus automorphes par rapport à ceux qui participent aux assemblages polyminérales. Les minéraux subautomorphes se situent le plus souvent vers le centre des chromites hôtes.

Les associations minérales les plus complexes, et surtout ceux qui contiennent les sulfures de métaux de base se trouvent le plus souvent vers la périphérie de la chromite. L'augmentation de la fugacité en soufre peut expliquer cette répartition.

Les gisements moins riches en EGP contiennent les MGP mono ou biphasés et au contraire les assemblages plus complexes se trouvent dans les gisements de chromite plus riches en EGP.

Lorsque les associations quadriphasés contiennent les sulfures de métaux de base, celles-ci se situent à la périphérie de la chromite. Elles se forment dans les derniers stades de la croissance de chromite. Les assemblages quadriphasés sont plus abondants dans la région d'Assemion qu'à Neyriz.

Chapitre VI

Géochimie des éléments du groupe du platine

6.1. Présentation générale des éléments du groupe du platine (EGP)

Les éléments du groupe du platine (Ru, Rh, Pd, Os, Ir et Pt) constituent avec le fer, le nickel et le cobalt le groupe VIII de la classification périodique. Ils sont subdivisés en deux groupes de masses atomiques très différentes: les platinoïdes légers (Ru, Rh et Pd) et les platinoïdes lourds (Os, Ir et Pt). Le Tableau 6.1 indique quelques propriétés physico-chimiques de ces éléments. Les EGP sont des éléments sidérophiles et chalcophiles. Les données experimentales montrent que Os, Ir et Pt sont plus sidérophiles que Ru, Rh et Pd. Le caractère sidérophile diminue depuis l'Os jusju'au Pd: Os≥Ir>Pt>Ru>Rh>Pd (Fleet et al. 1991, Crocket et al. 1992). Les EGP se concentrent dans les phases métalliques des chondrites (Wasson et Kallemeyn 1988). En présence de soufre, ils sont fortement concentrés dans la phase sulfurée (Campbell et Barnes 1984). Sur la base de l'association géochimique des éléments du groupe du platine, Barnes et al. (1985) divisent ces éléments en deux sous-groupes: les éléments du groupe IPGE (Os, Ir et Ru), considérés comme compatibles et les éléments du groupe PPGE (Pt, Pd et Rh) qui sont considérés comme incompatibles lors du fractionnement magmatique.

	Numéro atomique	Poids atomique	Rayon atomique (°A)	Système Cristallin	Densité à 20 °C	Point de fusion en °C
Ru	44	101,7	1,34	Hexagonal Cph	12,45	2310
Rh	45	102,9	1,34	Cubique Fcc	12,41	1960
Pd	46	106,7	1,37	Cubique Fcc	12,02	1552
Os	76	190,2	1,35	Hexagonal Cph	22,61	3045
Ir	77	193,1	1,36	Cubique Fcc	22,65	2443
Pt	78	195,2	1,38	Cubique Fcc	21,45	1769

Table. 6.1. Propriétés physicochimiques des éléments du groupe du platine d'après Mertie (1969).

Les éléments du groupe du platine sont très recherchés pour l'industrie. Ils sont caractérisés par une bonne résistance aux hautes températures, donc ils s'utilisent

pour la fabrication des alliages très réfractaires. Egalement en raison de leurs coefficients de dilatation thermique très faible, ils s'utilisent dans les appareils électroniques. En tant qu'excellents catalyseurs de réaction, les EGP sont utilisés abondamment dans les industries chimiques et pétrochimiques. On les utilise également en médecine et dans la fabrication de bijoux.

6.2. Teneurs en EGP des chromitites

Page et al. (1979) sont les seuls auteurs qui ont analysé la teneur en EGP des chromitites d'Iran. Ils ont déterminé les concentrations de Pt, Pd et Rh dans les chromitites et les roches ophiolitiques dans les régions d'Esfandagheh-Abdasht et d'Assemion (mines de Faryab). Pour mieux comprendre la distribution des EGP entre les chromitites des différents niveaux des séquences ophiolitiques d'Assemion et de Neyriz et également pour faire une comparaison entre leurs distributions et le mode de cristallisation des MGP dans les chromites, nous avons analysé huit échantillons. Ces échantillons été sélectionnés selon: 1) leur position stratigraphique dans les massifs; 2) la minéralogie de leurs platinoïdes. L'échantillon n° 42A sans MGP servira de référence lors de la comparaison des spectres. Les échantillons ont été analysés pour leurs teneurs en EGP, Au, Re par le technique dite du bouton de nickel "Nickel Sulfide Fire Assey (NSFA)" par XRAL Laboratories, Toronto, Canada. Le seuil de détection pour Ir est 0,1 ppb et celui des autres EGP est de 1 ppb.

Les teneurs obtenues en EGP, Au et Re sur les chromitites d'Iran sont reportées dans le tableau 6.2. La concentration en EGP dans les chromitites de Neyriz varie de 246,80 à 469 ppb et dans celles d'Assemion de 164,5 à 217,3 ppb. Comme le montre le tableau 6.2, les chromitites de Neyriz sont plus riches en IPGE et Au que celles du massif d'Assemion. En revanche les gisements Doveisse et Sohrab du massif d'Assemion sont les plus enrichis en Pt et Pd. La différence entre les teneurs en EGP des deux massifs peut s'interpréter par des teneurs initiales en EGP des magmas parents distinctes ou par des processus de différentiation magmatique distincts. Le domaine de variations des teneurs en EGP (total) des chromitites de Neyriz est plus vaste que celui d'Assemion. Les valeurs moyennes sont respectivement 337±95 et 190±20 ppb pour les massifs de Neyriz et Assemion. La teneur moyenne en Rh dans les deux massifs est quasiment égale. Les rapports moyens de Pd/Ir dans les chromitites des deux massifs (0,16±0,11 à Neyriz et 0,65±0,91 à Assemion) sont plus élevées que ceux des chromitites des autres ophiolites, c'est à dire Pd/Ir ≈ 0,1 (Barnes et al. 1985). Dans le gisement de Sohrab, ce rapport atteint 2,46. La plus forte fugacité en soufre pourrait expliquer cette différence. Les échantillons de la région d'Assemion

Massif	Gisement	Echan.	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Re	Total EGP	IPGE/PPGE *	Pd/Ir	Pt/(Pt+Pd)
Assemion	Doveisse	38A	7	58,9	72	12	17	22	11	<1	188,9	2,704	0,374	0,436
	Sohrab	42A	37	20,3	63	13	34	50	4	<1	217,3	1,24	2,463	0,405
	Chahine	36A	32	51,6	73	10	2	7	12	<1	175,6	8,242	0,136	0,222
	Fétr	48A	71	45,5	30	6	4	8	12	<1	164,5	8,139	0,176	0,333
	Ismaeil	47A	68	56,8	63	8	4	8	21	<1	207,8	9,39	0,141	0,333
		moyen	43±23,92	46,62±13,95	60,2±15,64	9,8±2,56	12,2±12,14	19±16,47	12±5,4	<1	190,82±19,58	5,943±3,3	0,658±0,907	0,346±0,074
Neyriz	Cheshmeh Bid T8	1N	67	47,8	102	9	6	15	66	<1	246,8	7,227	0,314	0,286
	Cheshmeh Bid T2	51N	116	167	162	7	9	8	11	<1	469	18,542	0,048	0,529
	Hassankhani	45N	59	66,3	141	13	8	8	32	<1	295,3	9,183	0,121	0,5
		moyen	80,67±25,2	93,7±52,38	135±24,86	9,67±2,49	7,67±1,25	10,33±3,01	36,33±22,66	<1	337,03±95,39	11,651±4,94	0,161±0,112	0,438±0,108

Table. 6.2. Concentrations en roche totale des éléments du groupe du platine, or et rhenium (en ppb) dans les chromitites des massifs de Neyriz et d'Assemion. IPGGE/PPGE *: le rapport (Ru+Os+Ir)/(Pt+Pd+Rh).

possèdent un rapport Pt/(Pt+Pd)<0,5. Ces valeurs sont inférieures à la moyenne des données [Pt/(Pt+Pd)=0,63] de Page et al. (1979). Les teneurs moyennes des trois éléments analysés Pt (26), Pd (15) et Rh (18) par ces auteurs dans les chromitites d'Assemion montrent des différences avec nos données sur les chromitites de cette région (cf. Tableau 6.2). En revanche, dans leur étude, les valeurs maximales de Pt, Pd et Rh du gisement Doveisse sont comparables à nos données.

La Fig. 6.1 montre les teneurs en EGP et Au des deux massifs étudiés. Le minimum de concentration en EGP du massif d'Assemion est lié au gisement de Fétr (échantillon 48A) avec une teneur totale de 164,5 ppb à la base de la zone de transition, alors qu'à Neyriz la teneur minimale en EGP est observée dans un échantillon du gisement du Tunnel 8 de Cheshmeh Bid (échantillon 1N) avec une teneur totale de 246,8 ppb au sommet de la zone de transition. Au contraire la concentration maximum en EGP a été trouvée dans le gisement de Sohrab (échantillon 42A) avec une concentration totale de 217,3 ppb au sommet de la zone de transition d'Assemion et à Neyriz dans le Tunnel 2 du gisement Cheshmeh Bid (échantillon 51N) à la base de la zone de transition. L'échantillon de Sohrab (42A) dépourvu de MGP, bien que renfermant un grand nombre de SMB montre une teneur maximale de (Pt+Pd+Rh)=97 ppb et une valeur minimum en (Os+Ir+Ru)=120,3 ppb. Il faut pondérer cette affirmation par le fait que le soufre peut causer des variations importantes dans les proportions relatives en EGP.

Comme le montre, la figure 6.1, les variations en EGP ne sont pas les mêmes dans les deux massifs. A Assemion, les teneurs totales en EGP des différents niveaux du massif ne montre pas de grandes différences. On observe au plus un léger enrichissement dans la proportion des éléments depuis la base vers le sommet de la zone de transition. Dans ce massif, on note également que la teneur en Os diminue de la base vers le sommet alors que l'on n'observe pas des variations régulières et significatives dans les concentrations en Ir et Ru.

A l'opposé à Neyriz, il y a un enrichissement très fort en IPGE du gisement profond (Hassankhani) vers la base de la zone de transition (Cheshmeh Bid Tunnel 2), puis une décroissance en IPEG vers le sommet de la zone de transition (Cheshmeh Bid Tunnel 8). Ce qui semble indiquer un décalage dans le système minéralisant à Neyriz. La phase de minéralisation en EGP pourrait être comparée à la phase de minéralisation en chrome (cf. chapitre III). En général les gisements sommitaux de la zone de transition de deux massifs montrent un enrichissement en PPGE (à l'exception de Pt à Neyriz). Une fugacité plus forte en soufre pourrait expliquer cette situation.

Les variations de concentration en Au dans les deux massifs sont également différentes. A Assemion, la variation en Au n'a aucune relation avec la variation en

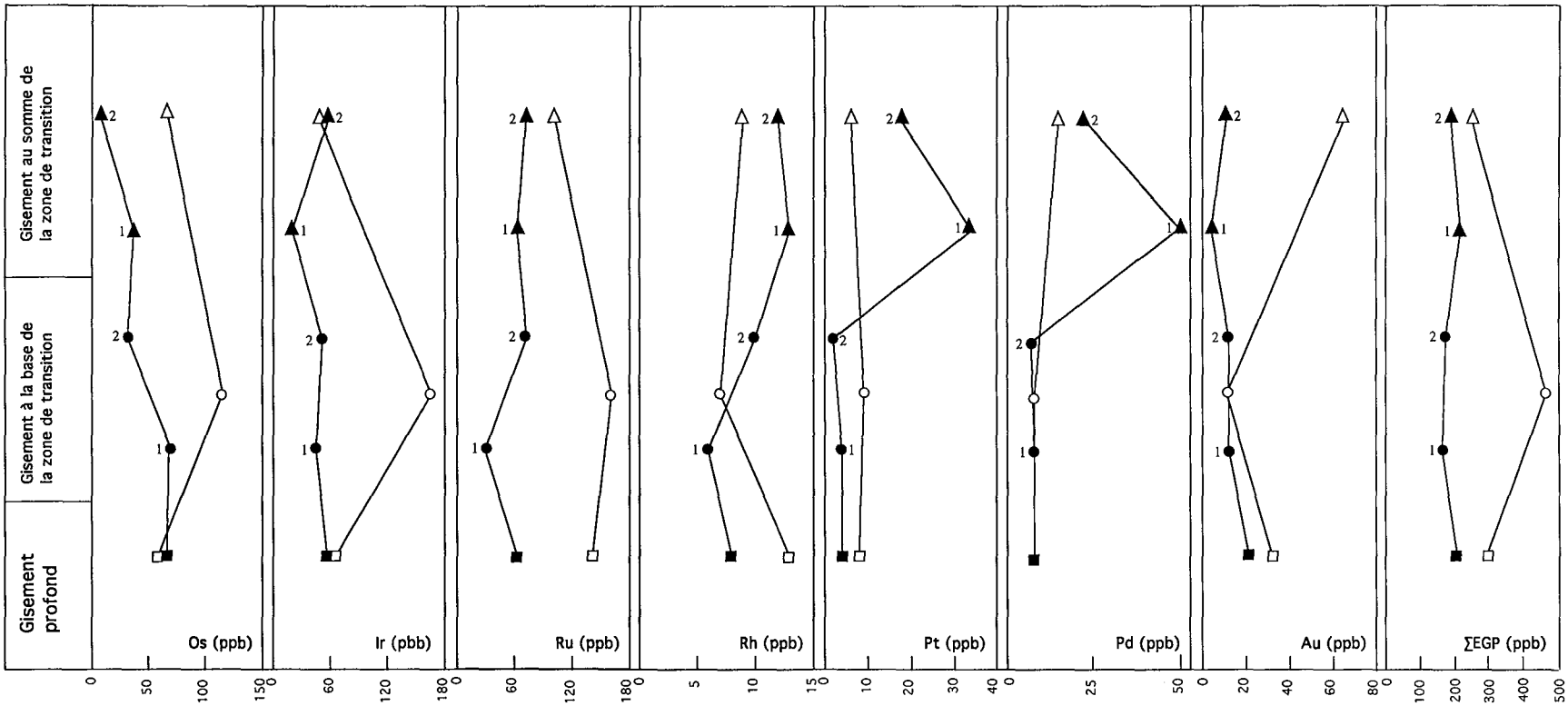


Fig. 6.1. Variations des concentrations en EGP et Au dans les chromitites des massifs d'Assemion (symboles pleins) et de Neyriz (symboles vides). Gisements profonds (carré), Assemion: Ismaeil, Neyriz: Hassankhani; gisements à la base de la zone de transition (cercle), Assemion: 1-Fétr, 2-Chahine, Neyriz: cheshmeh Bid Tunnel 2; gisements au sommet de la zone de transition (triangle), Assemion: 1-Sohrab, 2-Doveisse, Neyriz: Cheshmeh Bid Tunnel 8.

teneur d'autres éléments. On peut noter que les gisements des niveaux profonds sont plus riches en Au par rapport aux gisements sommitaux. A Neyriz, la variation de la teneur en Au est inverse par rapport à celles des IPGE. La concentration maximum en Au est observée dans le tunnel 8 du gisement de Cheshmeh Bid au sommet de la zone de transition.

L'évolution des rapports d'un EGP sur la somme des six EGP sont à mettre plus ou moins en parallèle avec la minéralogie des échantillons. Les phases porteuses jouent un rôle prépondérant dans la concentration des EGP. A Assemion, un rapport Os/∑EGP plus élevé dans les échantillons 47A (Ismaeil) et 48A (Fétr) (Fig. 6.2) est dû à la présence d'erlichmanites et d'alliages Os (Table. 6.3). Dans les trois autres échantillons d'Assemion, nous n'avons observé que dans un échantillon de Doveisse. une erlichmanite. Une légère augmentation du rapport Ir/∑EGP est observée des gisements profonds vers les gisements sommitaux (à l'exception de Sohrab). La présence de l'alliage d'Ir à Fétr et des sulfures formant des solutions solides entre Ni et Ir peuvent expliquer cet enrichissement. Un accroissement du rapport Ru/∑EGP dans les analyses en roche totale dans les échantillons 36A de Chahine et 38A de Doveisse peut s'expliquer par la présence de l'alliage de Fe-Ru et des laurites dans l'échantillon 36A et par les nombreuses laurites dans l'échantillon 38A. A Neyriz. une augmentation légère du rapport Os/∑EGP depuis les gisements profonds vers le sommet du massif peut s'expliquer par la présence d'erlichmanite et l'enrichissement en Os des laurites dans les gisements sommitaux (cf. chapitre IV). Par contre la minéralogie de l'échantillon du Tunnel 2 de Cheshmeh Bid (échantillon 51N) ne correspond pas tout à fait avec les rapports obtenus pour Ir et Ru sur ∑EGP. L'enrichissement en Ir observé dans l'analyse en roche totale n'est pas exprimé dans la minéralogie de l'échantillon. Probablement l'effet pépite "nugget effect" qui est signalé par plusieurs auteurs dans les analyses en roche totale des EGP peut également jouer un rôle important dans la mesure des teneurs en EGP dans nos échantillons.

Dans les deux massifs étudiés les gisements sommitaux ont des rapports Pt/∑EGP, Pd/∑EGP et Rh/∑EGP plus élevés que ceux des gisements profonds et en conséquence le rapport IPGE/PPGE [(Ru+Os+Ir)/(Pt+Pd+Rh)] diminue en passant des gisements profonds vers les gisements sommitaux (sauf le gisement Cheshmeh Bid Tunnel 2). Le rapport Pd/Ir augmente également vers les gisements sommitaux. Une fugacité plus forte en soufre peut expliquer l'enrichissement relatif des PPGE sur les IPGE dans ces gisements sommitaux. Dans le gisement de Sohrab, on note également un fort enrichissement en Pt et Pd qui peut s'interpréter de la même façon. Sans doute l'enrichissement en Pt et Pd est lié à un accroissement de l'activité en soufre dans le milieu de formation de chromitite, ceci se traduit par la présence de SMB dans ce gisement. Une substitution isomorphique de EGP dans le réseau des

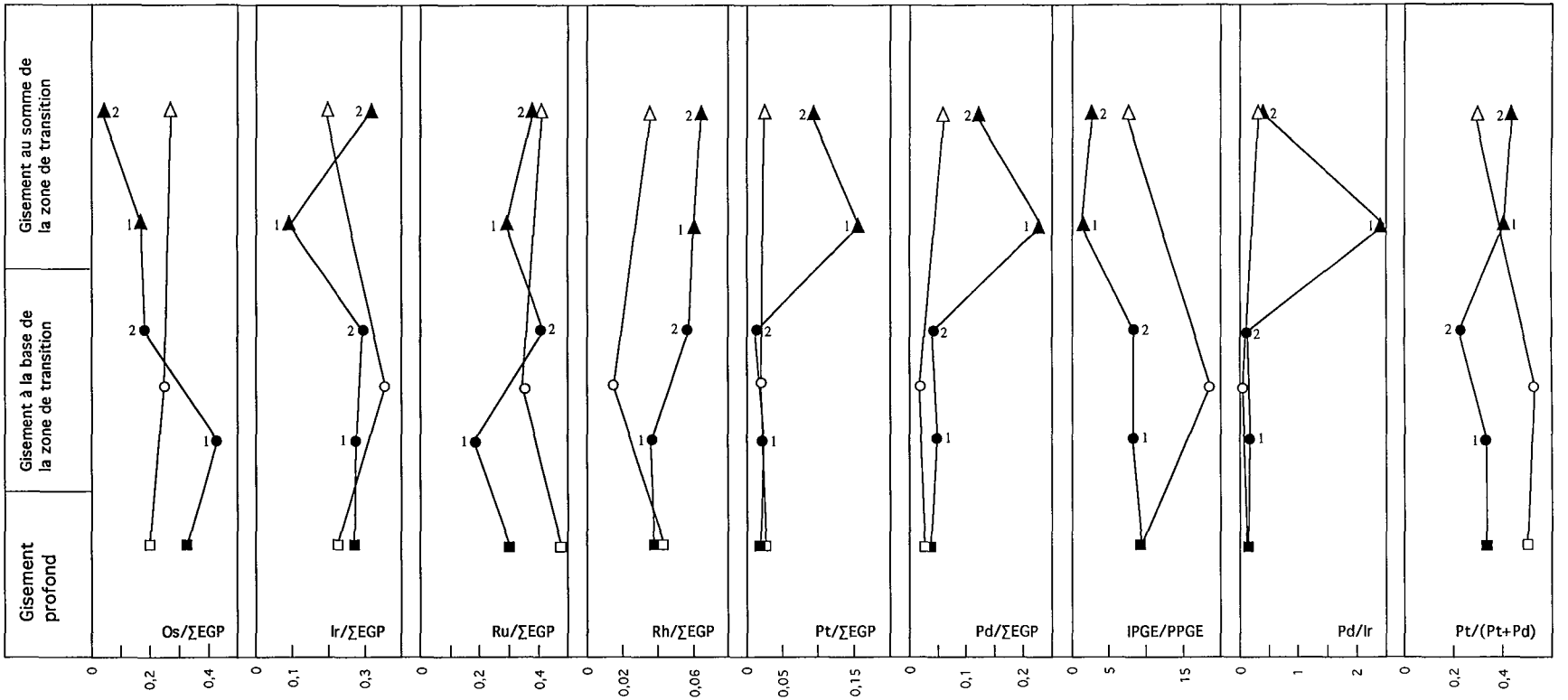


Fig. 6.2. Variations des éléments du groupe du platine sur la somme des six EGP, et des rapports IPGE/PPGE (Ru+Os+Ir/Pt+Pd+Rh), Pd/Ir et Pt/(Pt+Pd) dans les chromitites des massifs d'Assemion (symboles pleins) et de Neyriz (symboles vides). Même légende que pour la figure 6.1.

Massif	Gisement	Echan.	Laurite	Erlichmanite	Ruthéniridosmine	Iridium	Osmium	Palladium	Alliage Rh-Ir	Alliage Fe-Ru	Hollingworthite	Sulfure Ni-Ir
Assemion	Doveisse	38A	12	1								1
	Sohrab	42A										
	Chahine	36A	3						1	1	1	1
	Fétr	48A	6	1		1		1				
	Ismaeil	47A	3	3			1					
Neyriz	Cheshmeh Bid T8	1N	5									
	Cheshmeh Bid T2	51N	1							1		
	Hassankhani	45N			1							

Table. 6.3. MGP présents dans les échantillons analysés. Les chiffres indiquent le nombre des minéraux observés sous le microscope métallographique.

SMB est proposé pour expliquer cet enrichissement. Comme l'indiquent, les données (table. 6.2), les deux éléments Pt et Pd ont une tendance plus forte que les trois IPGE à rentrer dans le réseau des SMB.

L'évolution du rapport Pt/(Pt+Pd) depuis les gisements de la base vers les gisements au sommet de la zone de transition des deux massifs est différente. A Assemion ce rapport augmente, alors que à Neyriz ce rapport diminue vers le sommet du massif.

Les teneurs en rhodium en roche totale sont compatible avec les analyses des laurites et des erlichmanites notamment le rapport Rh/$\sum$EGP plus élevé des échantillons d'Assemion par rapport à celui des échantillons de Neyriz est souligné par les teneurs plus élevés en Rh des laurites d'Assemion (cf. chapitre IV). Par contre les valeurs élevées en Pt et Pd dans les analyses en roche totale peuvent s'interpréter par la substitution isomorphiques de ces éléments dans le réseau des SMB.

Les valeurs normalisées en EGP et Au aux chondrites sont présentées dans la figure 6.3. Nous avons utilisé les concentrations moyennes des chondrites d' Anders et Grevesse (1989) pour la normalisation. Ces valeurs, exprimées en ppb, sont les suivantes:

Os (486) , Ir (481) , Ru (712) , Rh (134) , Pt (990) , Pd (560) , Au (140)

Toutes les patrons indiquent que les EGP et Au sont appauvris par rapport aux chondrites et en particulier le platineet. Ce qui caractéristique les roches ophiolitiques et l'appauvrissement en Pt et Pd par rapport aux IPGE (Barnes et al. 1985). Les spectres varient selon le sont gisement échantillonné, mais également du massif hôte. L'échantillon 38A de Doveisse présente un appauvrissement très fort en Os par rapport aux autres échantillons. En revanche l'échantillon 42A de Sohrab qui ne contient aucun MGP, ne montre pas d'appauvrissement important en Pt et Pd par rapport aux autres échantillons.

6.3. Comparaison avec autres chromitites des ophiolites de la littérature

Les patrons des EGP normalisés aux chondrites dans les chromitites ophiolitiques ont des pentes négatives, alors que les chromitites des complexes stratifiés présentent souvent des patrons à pentes positives. Nous pouvons avancer deux hypothèses : soit les manteaux parentaux ont des compositions différentes, soit les procédés de concentration de la chromite dans les deux environnements sont différents. Il a été proposé que le manteau hétérogène en EGP (Pattou et Lorand 1996). Les conditions de formation des chromitites ont sans doute des rôles

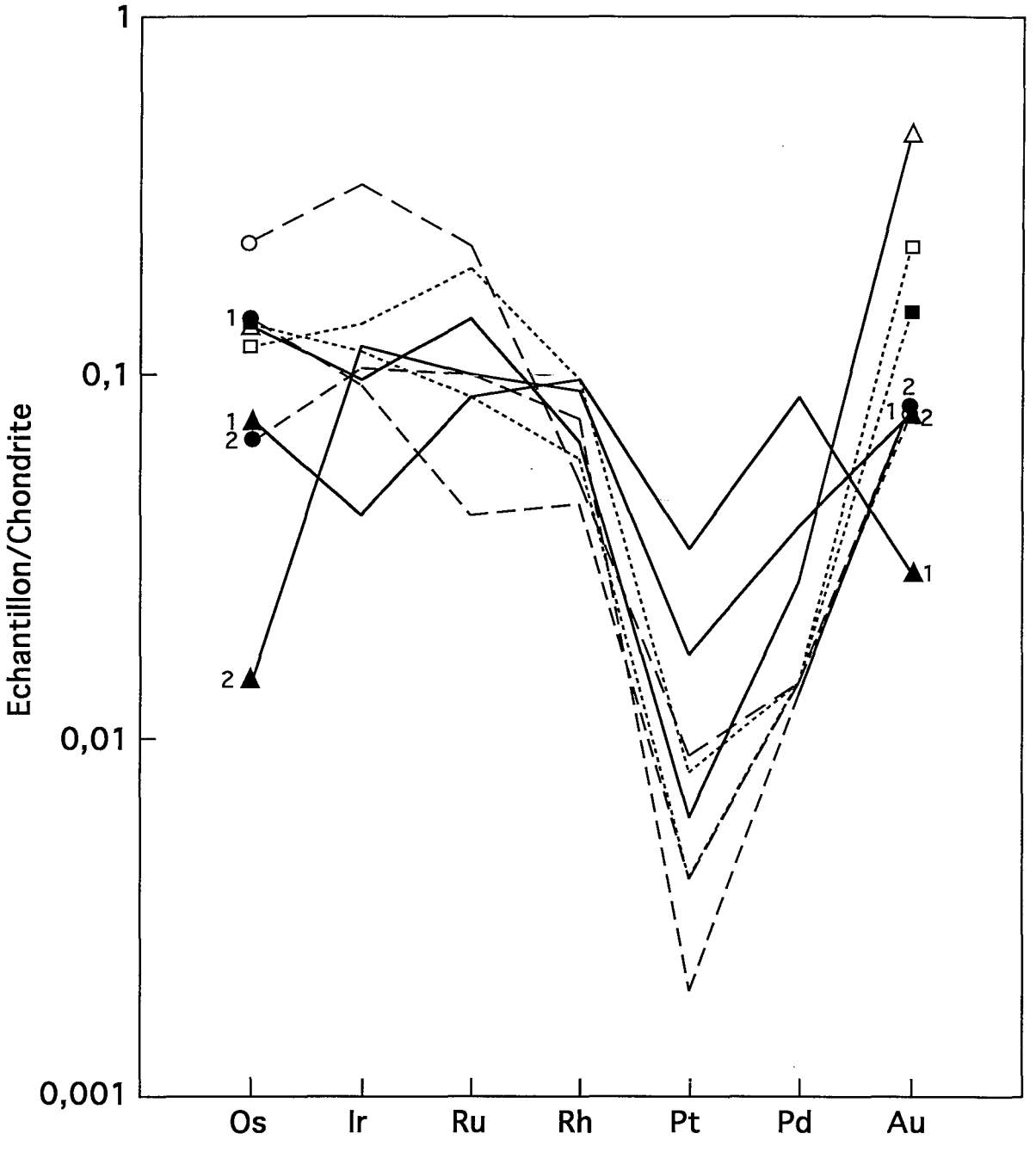


Fig. 6.3. Patron normalisé aux chondrites d'après Anders et Grevesse (1989) des éléments du groupe du platine dans les chromitites d'Assemion (symboles pleins) et de Neyriz (symboles vides). Même légende que pour la figure 6.1.

importants dans la répartition des EGP dans les deux environnements. Naldrett et Von Gruenewaldt (1989) insistent sur le rôle du soufre dans le système magmatique.

Barnes et al. (1985) présentent des données sur le fractionnement des EGP dans différentes séries magmatiques en utilisant le rapport Pd/Ir pour une meilleure visualisation du fractionnement des EGP. Les komatiites sont modérément fractionnées (Pd/Ir=10), les komatiites à pyroxène sont légèrement plus fractionnées (Pd/Ir=30), alors que les basaltes continentaux et océaniques sont très fractionnés (Pd/Ir=100). Les chromitites ophiolitiques (Pd/Ir=0,1) sont nettement moins fractionnées que les chromitites du JM Reef du complexe de Stillwater (Pd/Ir=865).

En utilisant le rapport Pd/Ir comme témoin du fractionnement magmatique des roches magmatiques, on peut noter que les chromitites étudiées, et surtout les chromitites d'Assemion sont plus fractionnées que dans les autres chromitites ophiolitiques (Pd/Ir=0,1). Les valeurs moyennes de ce rapport sont plus élevés : 0,66 ±0,90 à Assemion et 0,16 ± 0,11 à Neyriz.

Pour la comparaison des patrons d'EGP des chromitites du Zagros avec les autres ophiolites nous avons utilisé le champ des roches ophiolitiques de Talkington et Watkinson (1986). A l'exception de trois valeurs (Os à Doveisse, Ru à Fétr et Pt à Chahine) qui montrent un appauvrissement plus fort par rapport aux autres ophiolites, les autres données tombent dans ce champ (Fig. 6.4).

6.4. Etude isotopique

6.4.1. Technique analytique

Le but de l'étude isotopique est de préciser l'origine de la minéralisation en EGP, Nous avons appliqué la méthode spectromètrie de masse à thermo-ionisation (SMTI) pour la détermination du rapport $^{187}Os/^{186}Os$ dans les échantillons. Nous avons sélectionné un échantillon dans la région de Neyriz (17N) et deux dans le massif d'Assemion (35A et 40A). Pour la mise en solution des échantillons, nous avons utilisé la technique de fusion avec du peroxide de sodium. Ce procédé de dissolution est écrit en détail par Morgan et Walker (1989) et Marcantonio (1994), le procédé est le suivant:

Dans une première étape, on ajoute le spike ^{185}Re au creuset de nickel et on sèche le liquide à 90 °C sur une plaque électrique. Après le séchage, on ajoute le spike ^{190}Os avec l'éthanol (le rapport spike/éthanol est environ de 1) et on sèche

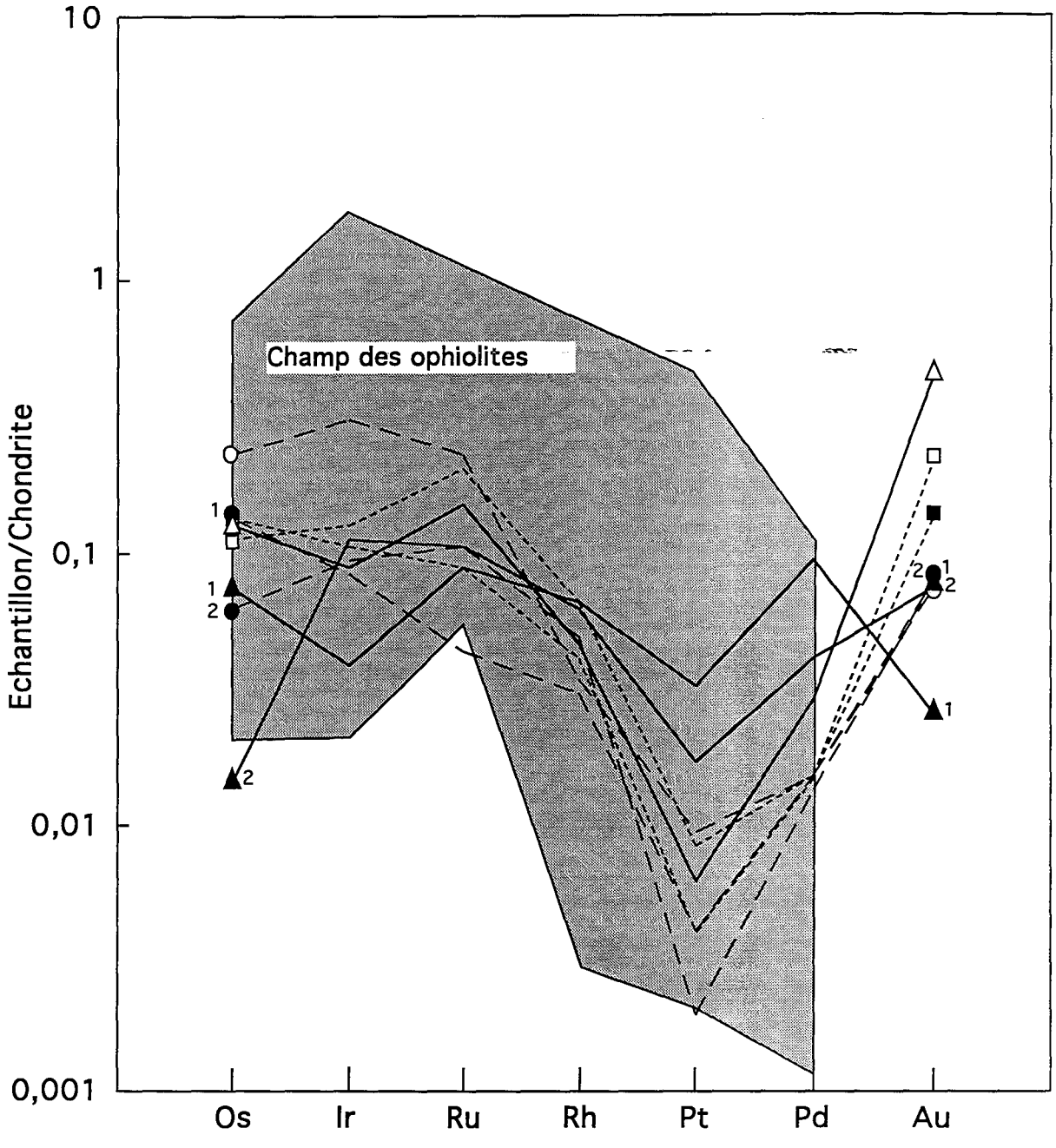


Fig. 6.4. Patrons normalisés aux chondrites d'après Naldrett et Duke (1980) des éléments du groupe du platine dans les chromitites d'Assemion (symboles pleins) et de Neyriz (symboles vides). Le champ des ophiolites d'après Talkington et Watkinson (1986) en grisé est également représenté. Même légende que pour la figure 6.1.

lentement la solution jusqu'à 90 °C. Avant le séchage complet, on ajoute 1ml d'eau distillée et deux pastilles de NaOH et puis on sèche la solution à 90°C.

Dans une deuxième étape, après le séchage complet de la solution, on ajoute 2g de NaOH dans le creuset et on fond à 327 °C pendant une heure. Après le refroidissement du creuset, on ajoute 0,5g d'échantillon en poudre et 2g du NaOH et on fond à 352 °C pendant une heure. Après le refroidissement, on ajoute de nouveau 2g de Na_2O_2 au mélange et on continue la fusion à 552 °C pendant une heure. Le résidu de fusion est facilement soluble dans l'eau. Environ 15ml de l'eau distillée est ajoutée au creuset. Après refroidissement, on ajoute H_2SO_4 5N.

Dans une troisième étape, on procède à la préconcentration de la solution, avec premièrement la séparation d'Os, pour ce faire, on chauffe la solution et on utilise CrO_3 comme oxydant. L'Os forme du OsO_4 qui est transporté par un flux gazeux de N_2 et est concentré dans un récipient contenant H_2O_2 puis après préconcentration, on collecte Os dans une solution de 1,5ml de HBr 9N. Ensuite, cette solution est chauffée pendant une nuit à 110 °C pour que l'Os se combine sous forme d' hexabromosmate $(OsBr_6)^{-2}$. Le lendemain, on séche complètement la solution, puis, on effectue une microdistallation en ajoutant une goutte d'une solution contenant CrO_3(Cr VI) sur l'échantillon dans un bécher conique; enfin, on ajoute une goutte de HBr 9N pour piéger l'Os dans la solution de HBr. Cette nouvelle solution est prête pour l'analyse spectrale. Les analyses sont effectuées sur le Finnigan MAT 262 du service des analyses isotopiques du CRPG-CNRS à Nancy sous la responsabilité de L. Reisberg.

6.4.2. Discussion sur les résultats

L'osmium est un élément du groupe du platine, les isotopes de cet élément peuvent donner des informations sur l'origine des EGP et également sur la position géotectonique des ophiolites. D'une part, dans les échantillons, la teneur en Re est très faible par rapport aux teneurs en Os et d'autre part, pour des roches d'environ 100 Ma., la décroissance radiogénique du ^{187}Re vers l' ^{187}Os ($l = (1.64 \pm 0,05) * 10^{-11}$ a^{-1}, Lindner et al. 1989) ne change pas notoirement le rapport radiogénique original de l'Os donc, nous supposons les rapports radiogéniques obtenus commes des rapports initiaux en Os.

Le rapport $^{187}Os/^{186}Os$ est déterminé par la mesure du rapport $^{187}Os/^{188}Os$, puis ce rapport est normalisé par rapport à $^{186}Os/^{188}Os = 0,12035$ (Luck et Allègre 1983). Nous utilisons le rapport $^{188}Os/^{192}Os = 0,308271$ (Luck et ALlègre 1991) pour la correction du fractionnement des masses en mesurant les rapports des différents isotopes.

Le rapport initial en $^{187}Os/^{186}Os$ est de 0,805 pour 4,55 Ga (Luck et Allègre 1983). Ce même rapport est obtenu pour les météorites. Le manteau est supposé être

un système fermé pour l'évolution isotopique de Os pour les deux raisons suivantes: a) le caractère sidérophile de l'osmium (Os est un élément compatible lors de la fusion partielle du manteau supérieur); b) le faible volume de croûte par rapport au manteau (Luck et Allègre 1991). Les ophiolites appartenant aux rides médio-océaniques ont des rapports isotopiques de 1,05-1,06 proches du "Bulk Earth" (Luck et Allègre 1991).

Les valeurs initiales des rapports $^{187}Os/^{186}Os$ des échantillons et leurs concentrations d'Os sont reportées dans le tableau 6.4. Ces rapports suggèrent un magma d'origine mantellique dans un environnement de ride médio-océanique indemnes de contamination crustale. La correction du blanc est environ de 1.5% pour tous les échantillons. La différence des valeurs radiogéniques des deux échantillons du massif d'Assemion peut s'interpréter par un changement des conditions de la formation des magmas parents pour les gisements des différents niveaux. Ce changement est également évident lors de la genèse des MGP dans les différents gisements de chromite (Voir chapitre 5). Les données isotopiques indiquent que les gisements à la base de la zone de transition, riches en Cr et en MGP, se sont formées à partir d'un manteau plus appauvri que les gisements des niveaux supérieurs. Sur la figure 6.5, on compare nos données avec celles des autres complexes de roches mafiques et ultramafiques. On ne peut déterminer l'âge précis des chromitites directement à l'aide des rapports radiogéniques de l'Os. Pour les dater, on devrait utiliser plusieurs autres rapports isotopiques.

Région	Echantillon	187Os/188Os	187Os/186Os	Concentration Os
Assemion	35A	0,12381	1,029	120,82 ppb
Assemion	40A	0,12815	1,065	102,83 ppb
Neyriz	17N	0,12741	1,059	105,32 ppb

Table. 6.4. Valeurs isotopiques d'osmium dans les chromitites d'Assemion et de Neyriz.

Malgré la différence entre les valeurs isotopiques de l'Os de deux échantillons, nous n'observons jamais de valeurs très élevées laissant supposer une quelconque assimilation de croûte continentale (Lambert et al. 1989, Martin 1989, Dickin et al. 1992). Certains auteurs ont essayé d'expliquer les valeurs isotopiques inférieures à celle de la "Bulk Earth"(1,05) par une croûte océanique recyclée, mais nous n'avons aucun argument qui supporte cette hypothèse.

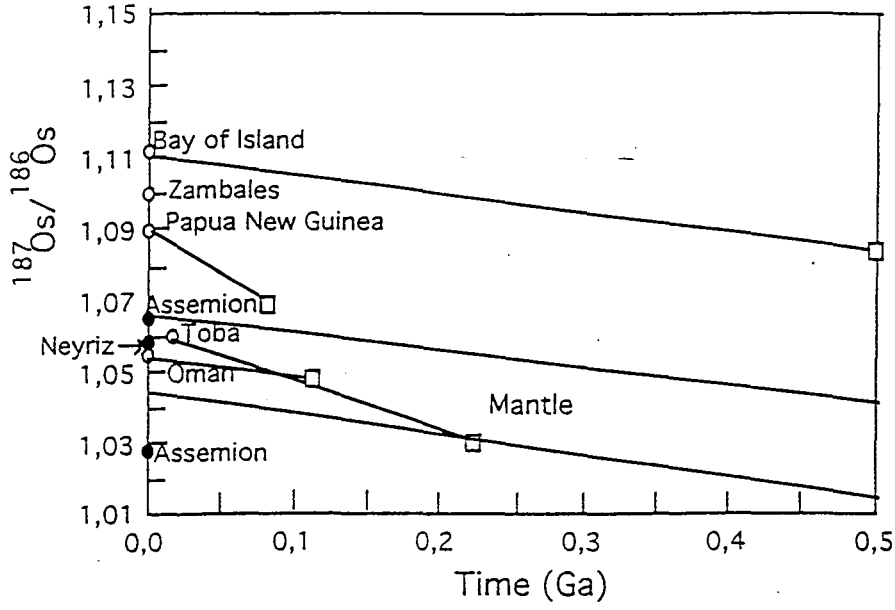


Fig. 6.5. Compositions isotopiques d'osmium de quelques complexes mafiques et ultramafiques par rapport à la variation isotopique d'osmium du manteau. Les cercles vides montrent les valeurs actuelles. Les carrés vides correspondent aux valeurs isotopiques d'osmium lors de la formation des complexes (Luck et Allègre, 1991). Les cercles pleins représentent les compositions isotopiques d'osmium dans les chromitites d'Assemion et de Neyriz.

6.5. Conclusions

Les chromitites de Neyriz sont plus riches en EGP que celles du massif d'Assemion avec un domaine de variation plus vaste. Un décalage de concentration des EGP est observé dans le système minéralisant A Neyriz, on observe une augmentation très forte de teneur en EGP en passant des gisements profonds vers les gisements à la base de la zone de transition, puis un appauvrissement très fort en EGP dans le gisement sommital de la zone de transition. Les chromitites de Neyriz sont plus riches en IPGE que les chromitites d'Assemion. En revanche, les gisements sommitaux du massif d'Assemion contiennent les concentrations maximales en Pt et

Pd. Ls teneurs initiales en EGP dans les magmas parents et un mécanisme de différentiation magmatique différent sont responsables des teneurs en EGP dans ces deux massifs. Les variations en IPGE dans les différents niveaux des deux massifs ne sont pas les mêmes. Par contre dans les deux massifs, les gisements sommitaux sont les plus enrichis en Pt et Pd, ce qui semble être controllé par une fugacité plus forte en soufre. Pt et Pd sont probablement inclus dans le réseau des SMB. Les variations des teneurs en Au dans les deux massifs ne sont pas identiques. A Assemion les gisements profonds sont les plus enrichis, alors qu'à Neyriz, on note une corrélation négative entre Au et IPGE. Les courbes obtenues pour les IPGE sont relativement plats et spécifiques pour chaque gisement, alors que pour les PPGE, malgré les niveaux différents de concentration des éléments, les allures des spectres sont uniformes et comparables à celles des autres ophiolites.

L'étude isotopique indique un environnement géodynamique de ride médio-océanique indemne de contamination crustale pour la genèse des chromitites. Les signatures isotopiques du massif d'Assemion indiquent que les gisements à la base de la zone de transition riches en Cr et en MGP se sont formés à partir d'un manteau plus appauvri que les gisements des niveaux supérieurs.

Chapitre VII

Modèle de mise en place de la minéralisation en éléments du groupe du platine

7.1. Les conditions de formation des MGP

Elles ont été estimées à partir des paragenèses observées dans les chromitites. Les températures ont été déterminées à partir du géothermomètre spinelle-olivine. Nous avons appliqué la formule développée par Fabriès (1984) à partir de la calibration et des données thermodynamiques de Sack (1982) :

$$\frac{1096{,}6 + 9490A + 7200B + 1000\,[(1-2C)(1+2C)+(C)^2]}{1{,}987 \mathrm{Ln} K_D + 0{,}516 + 3{,}92A + 1{,}3B}$$

avec $A = Cr/\sum M^{3+}$, $B = Fe^{3+}/\sum M^{3+}$, $C = Ol_{X}Fe^{2+}$ et $K_D = \dfrac{Ol_{X}Mg * Sp_{X}Fe}{Ol_{X}Fe * Sp_{X}Mg}$

Les températures obtenues par ce géothermomètre varient de 1115 °C à 1190 °C, (1153 ± 26 °C) pour les chromitites de Neyriz et de 1137 °C à 1177 °C, (1160 ± 17 °C) pour celles d'Assemion. Un fait remarquable est que les variations de température dans les deux régions correspondent à la position stratigraphique des gisements dans les séquences ophiolitiques, autrement dit les températures les plus élevées ont été relevées dans les gisements les plus profonds.

Région	Gisement	Echantillon	Température °C
Neyriz	Neypik	22N	1190
Neyriz	Rajoni	5N	1163
Neyriz	Rajoni	20N	1163
Neyriz	Cheshmeh Bid-T8	10N	(1115-1135)
Assemion	Reza Vassate	1A	1177
Assemion	Chojaie	22A	1152
Assemion	Chahriar	11A	(1164-1176)
Assemion	Bahram	3A	1131

Nous avons appliqué également les géothermométres de Fabriès (1979) et de Roeder et al. (1979). Les températures obtenues sont alors beaucoup plus basses. c'est à dire de l'ordre de 700 à 800 °C pour le géothermomètre de Fabriès (1979) et de 600 à 700 °C pour celui de Roeder et al. (1979).

Les températures obtenues à partir de la calibration de Sack (1982) peuvent être considérées comme les températures initiales de la formation de la chromite. Une température de 1275 °C a également été proposée pour la température de formation des chromitites dans le complexe de Stillwater (Talkington et Lipin 1986).

En se basant sur la coexistence des pargasites avec les platinoïdes, nous pouvons proposer une température voisine de 1050 °C pour la formation des MGP

car d'après Holloway (1973), le maximum de stabilité de la pargasite se situe vers 1050 °C pour une pression de 7 kbar. Une température de 1000 °C a été proposée pour la formation des gisements de chromite profonds d'Albanie (Ohnenstetter et al. 1991).

A une température de 1050 °C, on obtient une activité en soufre aux environs de 10^{-2} (Fig. 7.1). Comme la figure le montre, les sulfures de Os et d'Ir se forment sous une plus forte fugacité en soufre que ceux de Ru (laurite). Donc sous ces conditions de températures et de fS_2, la laurite peut se former en équilibre avec les alliages d'Os-Ir.

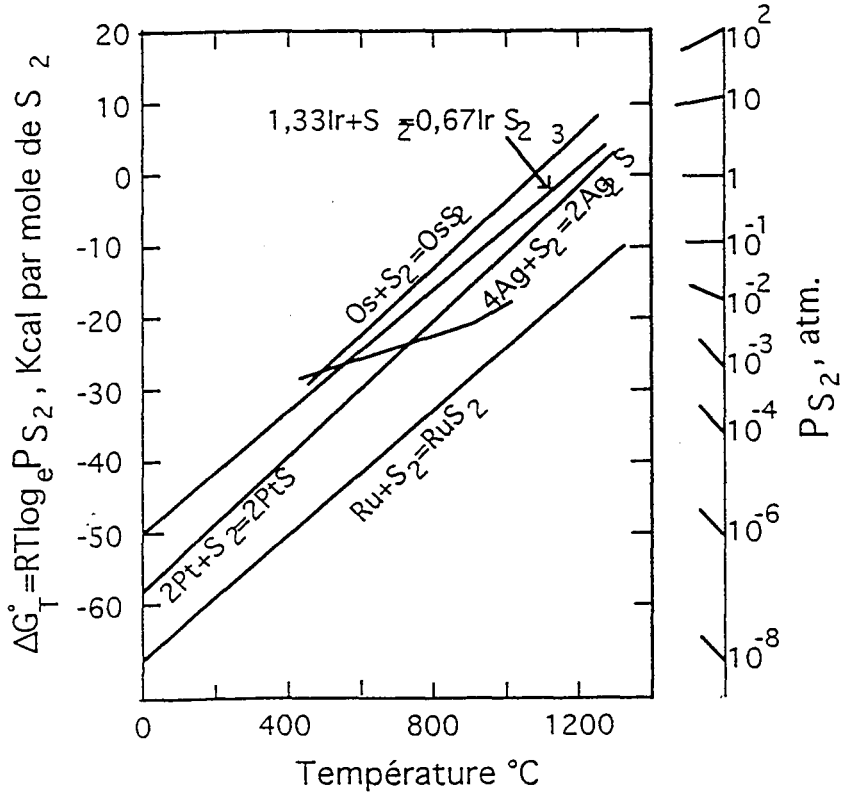


Fig.7.1. Energies libres de Gibbs pour la formation de quelques minéraux du groupe du platine et de l'argent en fonction de la fugacité en soufre et de la température. D'après Westland (1981).

Selon les données expérimentales de Peregoedova (1998) (Fig. 4.9), des alliages de palladium et de rhodium peuvent coexister avec la laurite pour une fugacité en soufre de 10^{-2} à une température d'environ 1100 °C. Ces conditions de températures, déduites de paragenèses impliquant les platinoïdes, sont proches de celles obtenues par le géothermomètre spinelle-olivine. Neziraj (1992) propose des températures de 830 °C à 850 °C pour la coexistence d'alliages de palladium avec la laurite. Après la formation des MGP, la chromite peut jouer le rôle d'un isolant pour les protéger des réactions chimiques ultérieures, tant magmatiques qu' hydrothermales (Stockman et Hlava 1984).

L'augmentation de la fugacité en soufre ou la diminution de températures provoque l'entrée de l'Os et de l'Ir dans la laurite (Legendre 1982). Nežiraj (1992) propose que la coprécipitation simultanée de la chromite et de la laurite s'effectue entre 1200 et 900 °C. Ceci est compatible avec les conditions de températures déterminées précédemment et aussi avec la disposition et la nature des sulfures de Ru, Os et Ir dans les grains de chromites. La prédominance de l'osmium sur l'iridium dans le réseau des laurites peut s'interpréter par un effet de structure, car ceci existe bien pour les alliages de Os-Ir-Ru (Legendre 1982). Lorsque le système minéralisant devient de plus en riche en soufre les erlichmanites, les minéraux formant des solutions solides et les SMB coprécipitent avec les laurites.

La présence des clinopyroxènes riches en Ca et des hydrosilicates en inclusion dans les chromitites avec les platinoïdes suggère l'existence de fluides riches en éléments volatils lors de la formation des chromites et platinoïdes.

Si les alliages des métaux de base sont des phases secondaires par rapport à la formation des chromites, ces paragenèses ne donnent donc pas une idée précise de la fugacité en oxygène du milieu de formation initial. Legendre (1982) propose des fugacités en oxygène variant de $10^{-14,5}$ à $10^{-8,6}$ en supposant que le nickel métal est primaire dans ses échantillons.

Sur la base des données expérimentales existantes et de la coexistence des minéraux dans les échantillons d'Iran, nous proposons les conditions suivantes:

- Une température de l'ordre de 1050 °C;
- une fugacité en soufre d'environ 10^{-2};
- une pression de 7 kbars;
- la présence d'une phase fluide riche en éléments volatils.

7.2. Une revue des modèles proposés pour la formation des MGP

Plusieurs auteurs ont proposé un modèle sur la formation des minéraux du

groupe du platine (MGP) dans les chromitites. Trois hypothèses principales sont retenues :

- (1) Les MGP sont les produits d'exsolution des EGP à partir de la chromite (Gijbels et al. 1974, Naldrett et Cabri 1976, Wolf et Agiorgitis 1978). Cette hypothèse a été proposée sur la base des corrélations positives entre Os, Ir, Ru avec Cr dans les chromitites. Selon cette hypothèse, les EGP entrent dans la structure des chromites à hautes températures. Les MGP se forment ensuite lors de l'évolution subsolidus des chromites.

- (2) Les MGP sont des minéraux magmatiques primaires, piégés de façon mécanique par la chromite (Hiemstra 1979, Legendre 1982, Talkington et al. 1983, Augé 1988). Selon cette hypothèse, les MGP sont piégés lors de la formation des chromites. Pour expliquer la cristallisation des MGP, plusieurs processus peuvent être retenus. Hiemstra (1979) insiste sur le rôle prépondérant du fer métal dans le procédé de concentration des EGP dans les niveaux chromifères du complexe de Bushveld. Il propose que l'augmentation de la fugacité en oxygène peut libérer le fer des EGP. Le fer ainsi libéré entre dans la composition des autres minéraux. Legendre (1982) suggère quant à lui un rôle similaire pour le nickel métal. Le nickel concentre les EGP sous une faible fugacité d'oxygène. En augmentant l'activité en oxygène, le nickel s'oxyde et libère les EGP. Les EGP forment des alliages ou des sulfures en fonction de la fugacité en soufre du milieu de formation. Le nickel quant à lui entre dans le réseau des silicates associés.

- (3) Les EGP sont remobilisés et leur précipitation est attribuée au fonctionnement d'un système hydrothermal, notamment lors de la serpentinisation (Snetsinger 1973, Stumpfl et Tarkian 1976, Tanguay et al. 1990, Watkinson et Ohnenstetter, 1992).

Les relations texturales entre MGP et chromite permettent d'écarter la première hypothèse. En effet, La forme des inclusions, le caractère automorphe des MGP, l'absence d'une disposition préférentielle des inclusions en fonction des orientations cristallographiques de la chromite ne militent pas en faveur d'un processus d'exsolution. De plus, celui-ci n'explique pas la localisation préférentielle des inclusions vers la périphérie des chromites, ainsi que la diversité des assemblages minéralogiques qui évoluent du cœur vers la périphérie des chromites, et de bas en haut de la séquence ophiolitique.

La plupart des arguments exposés plus haut peuvent être également pris en compte pour ne pas retenir l'incorporation mécanique des MGP dans la chromite.

Notamment, cette hypothèse n'explique pas pourquoi on observe une évolution graduelle de la nature et de la compostion des MGP, et de leur association paragénétique (présence ou non d'alliages, de SMB, de solutions solides) en fonction de leur position dans les chromites hôtes, et aussi des gisements profonds aux gisements les plus superficiels. Par ailleurs, on pourrait imaginer que cristallisant précocément, certains MGP soit inclus dans la chromite et que d'autres échappent au piégeage et se trouvent dans la zone interstitielle entre les chromites. De même, pourquoi les MGP et notamment les plus gros sont-ils situés préférentiellement à la périphérie des chromites s'ils ont servi de germe à la nucléation des chromites?

La disposition et l'évolution des paragenèses à MGP ne militent pas non plus en faveur d'une altération hydrothermale ou météorique qui aurait concentré les EGP. Les MGP sont situés dans des zones souvent très saines des chromites loin de toute fissure. On ne voit pas trace d'altération des MGP, bien que des processus d'altération aient existé comme en témoigne la présence de chlorite et serpentine. Toutefois on envisage que peu d'échanges de matière ont eu lieu entre les inclusions et la chromite hôte au cours des transformations secondaires. La présence d'un fluide minéralisant piégé dans l'inclusion au moment de la formation des MGP a pu conduire, avec la diminution de températures, à la recristallisation des silicates (Cogill et Wilson 1993).

7.3. Proposition d'un modèle de mise en place de la minéralisation en EGP

Les études minéralogiques et statistiques sur la distribution des minéraux du groupe du platine (MGP) nous permettent de proposer un modèle de mise en place de la minéralisation en EGP lors de la cristallisation de la chromite. Ceci illustre notamment un processus de fractionnement des EGP qui accompagne la mise en place des gisements de chromite de bas en haut dans les deux piles ophiolitiques étudiées. Ce fractionnement est illustré par la répartition et par l'évolution cryptique des MGP et phases associées au sein des chromites et dans les différents niveaux de chromite. L'évolution des EGP sur roche totale avec la stratigraphie confirme cette évolution.

Rappelons tout d'abord que l'on a longtemps considéré que la minéralisation en EGP dans les complexes ophiolitiques est limitée aux minéralisations en Ru, Os et Ir. Les minéralisations en IEGP se traduisent dans un diagramme de répartition des EGP par des spectres monotones avec une pente négative (Page et al. 1982, 1983, 1984, Page et Talkington 1984). Ceci peut indiquer que les conditions nécessaires pour la précipitation de Pt, de Pd et de Rh et pour la formation des minéraux hôtes de ces éléments ne sont pas réunies lors de la cristallisation des principaux corps de

chromite des massifs ophiolitiques.

La présence de minéralisations en Pt et Pd a été découverte récemment dans plusieurs ophiolites (Thetford, Barnes et al. 1985; Shetland Islands, Prichard et al. 1986, Gunn 1989; Troodos, McEldulf et Stumpfl 1989, Albanie, Ohnenstetter et al. 1991; Al'Ays en Arabie Saudite, Prichard et al. 1996; Nelle Calédonie). Il semble que les chromitites riches en Pt soient situées à la partie supérieure du manteau ou à la base des cumulats. Ainsi, les IPGE seraient concentrés dans les premières chromitites à se former dans le manteau ophiolitique avant que la fS_2 n'augmente de façon significative ou que la température ne décroisse (Fig. 7.1). Une fois les conditions adéquates obtenues, des concentrations de Pt et Pd se forment dans les chromitites du manteau supérieur ou des cumulats et dans les pyroxénites et les gabbros. La minéralisation est alors souvent associée aux sulfures de métaux de base en position interstitielle. Cette minéralisation platinifère des cumulats ophiolitiques montre des ressemblances avec les minéralisations en EGP des complexes stratifiés (Neziraj 1992).

Pour Naldrett et Von Gruenewaldt (1989), les teneurs en Pt et Pd plus élevées dans les chromitites des complexes stratifiés par rapport aux chromitites ophiolitiques sont attribuées à une forte fugacité en soufre. L'association sulfures-platinoïdes a été soulignée par plusieurs auteurs dans les chromitites des complexes stratifiés et dans les chromitites des ophiolites. Egalement dans les gisements de sulfures massifs, les minéraux du groupe du platine sont abondants. Mais on sait aussi que les EGP entrent en solution solide dans les sulfures de métaux de base. En effet, un liquide sulfuré riche en Fe-Ni-Cu peut jouer le rôle d'un collecteur pour les EGP (Campbell et al. 1983, Barnes et al. 1985, Coghill et Wilson 1993). Ce mode de concentration des platinoïdes dans une matte sulfurée existe sûrement mais il semble qu' il soit simplifié. En effet, les teneurs les plus élevées en EGP et les valeurs les plus fortes du rapport (Pt+Pd)/(Ru+Os+Ir) peuvent se trouver dans des chromitites de complexes stratifiés renfermant peu de sulfures ou même dans des chromitites que ne contiennent pas de sulfures. Alors les anomalies en Pt et Pd ne peuvent pas être liées à la concentration des EGP dans les sulfures. Il y a cristallisation directe de MGP à partir du magma qui sont ensuite piégés dans les chromites (Nixon et al. 1990). La cristallisation directe des MGP à partir d'une phase fluide, qui peut être localement accompagnée par la remobilisation des EGP à partir du réseau des sulfures de métaux de base (Ohnenstetter 1992) est compatible avec l'agencement des platinoïdes par rapport aux sulfures et aux chromites.

Le modèle que l'on propose retient d'abord la fusion du manteau supérieur. Ce processus permet de concentrer les EGP dans un liquide silicaté à partir de la fusion du manteau et notamment des microphases sulfurées qui sont parmi les seules à

concentrer les EGP dans le manteau (Pattou et Lorand 1996). Lors de l'ascension du magma dans le manteau résiduel plusieurs phases successives de réactions du magma ascendant avec le manteau et/ou de cristallisation vont se dérouler.

Les processus de cristallisation majeurs commencent avec le dépôt des chromitites profondes, à la base de la pile ophiolitique. Ces chromitites sont parmi les plus pauvres en EGP et en MGP, car les conditions ne sont pas encore réunies pour le dépôt des minéralisations en EGP. Ces dernières apparaissent donc tardives par rapport aux processus minéralisant conduisant à la formation des premières chromitites. Les premiers MGP sont des alliages se formant à hautes températures et des laurites riches en ruthénium.

Une diminution de la température ou une augmentation de l'activité en soufre sont nécessaires pour la cristallisation des autres espèces de MGP (Figs. 7.1 et 4.9). La cristallisation de chromite provoque l'augmentation de l'activité en soufre du milieu de formation vers les niveaux supérieurs des ophiolites. Les EGP entrent alors dans des alliages, des sulfures et dans des minéraux formant des solution solides. Ces phases cristallisent en même temps que la chromite. La cristallisation des MGP se ferait directement à partir du magma silicaté. Les sulfures de métaux de base accompagnent progressivement les MGP lorsque la fugacité en soufre du système minéralisant devient suffisante pour leur formation (Fig. 7.2). Cependant, les variations brutales de fS_2 et de température peuvent modifier localement ce schéma.

L'évolution du système minéralisant définie à grande échelle à partir d'une suite de gisements peut être retrouvée à l'échelle d'un grain de chromite. Dans ce cas, le cœur du grain de chromite commence à se former alors que les EGP restent préférentiellement dans le liquide. Cette étape correspond à celle du dépôt des gisements de chromite stérile pauvre en EGP, y compris en IPGE. Puis le grain de chromite va s'accroître en piégeant des MGP et phases associées, donnant les inclusions. Cette cristallisation des chromites en deux stades rend compte du grand nombre de MGP situés à la périphérie des chromites. Dans les massifs étudiés, la cristallisation des MGP correspond à une augmentation de la fugacité en soufre et à une diminution de la température du système minéralisant. Les EGP formeront des MGP selon le franchissement progressif des courbes de saturation en soufre de ces éléments. Ainsi on aura d'abord la cristallisation des laurites avec des alliages de Os et Ir, puis la cristallisation de sulfures de Os et Ir avec d'autres sulfures de métaux de base.

Les MGP qui se forment sont rapidement isolés du magma lors de la croissance de la chromite, ce qui a permis de conserver la plupart de leurs caractéristiques pétrologiques initiales. L'évolution du système minéralisant est enregistrée par les variations cryptiques de la composition des minéraux et des assemblages qui se

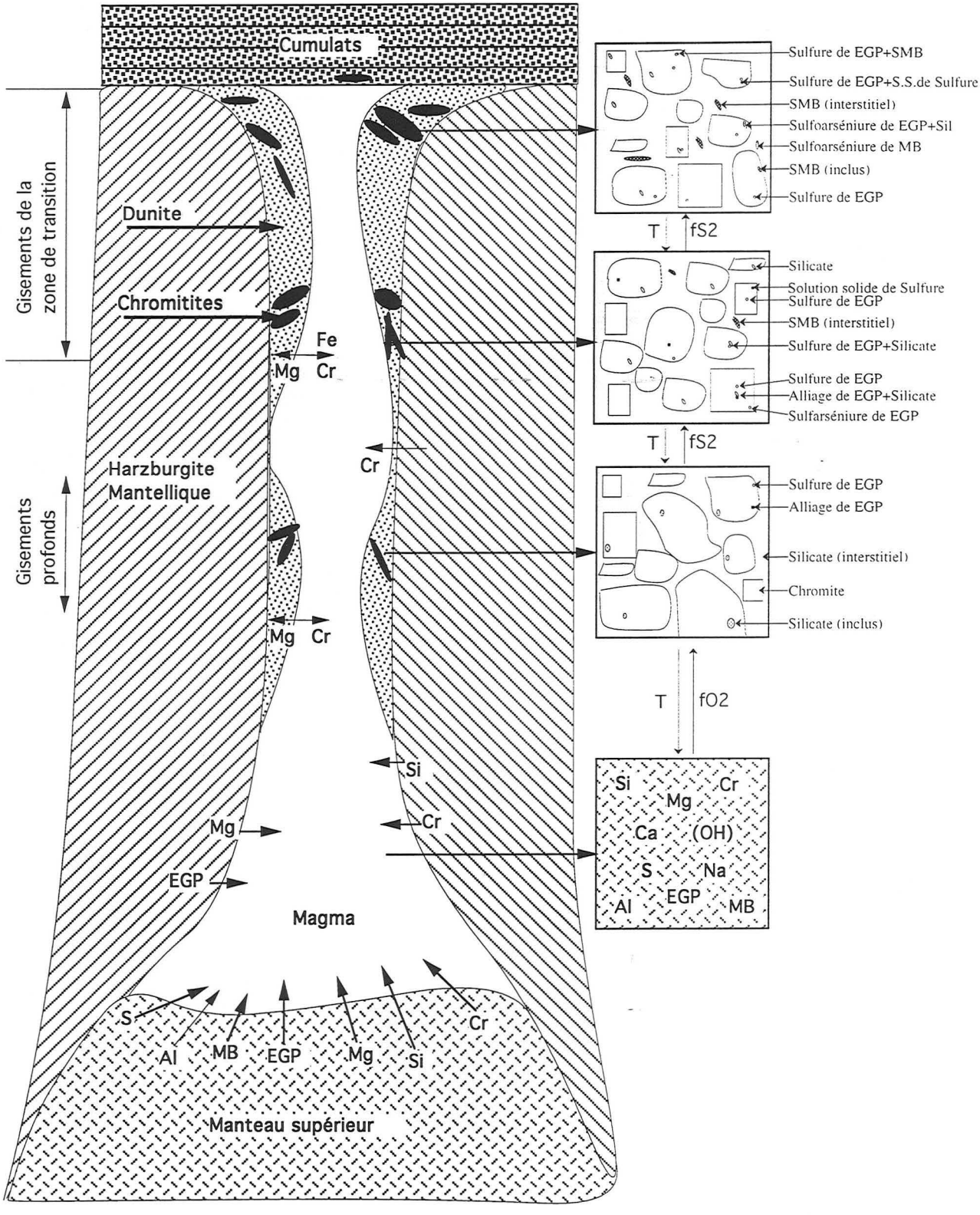


Fig. 7.2. Schéma de la minéralisation en chrome et en éléments du groupe du platine dans un massif ophiolitique. Le chrome et EGP entre dans le magma lors de la fusion partielle du manteau supérieur. La chromite est parmi les minéraux qui cristallisent dans les premiers stades du fractionnement magmatique. Les EGP qui cristallisent dans les mêmes conditions (T, fS_2) sont englobés par la chromite. La minéralisations de différents MGP se réalise aux différents stades correspondant à l'évolution du système minéralisant.

diversifient au fur et à mesure que la température décroît. La composition des chromites varie en parallèle à celle des inclusions, ce qui souligne que chromite et MGP dériveraient du même système minéralisant. Le dernier stade enregistré correspond au piégeage de SMB enrichis en EGP (Fig. 7.3), ce qui correspond encore à des températures de formation assez élevées.

La présence d'eau dans un magma peut diminuer la température de cristallisation des minéraux et la viscosité d'un liquide silicaté. L'existence d'un système riche en éléments volatils est déduite de la présence de minéraux hydroxylés dans les inclusions. La cristallisation de plusieurs variétés de MGP peut être réalisée sous une grande gamme de T et de fS_2 (Augé 1988), parfois avant ou après les SMB. A Neyriz, il semble que la plupart des SMB aient cristallisé après les MGP. Les fluides peuvent également jouer un grand rôle lors de l'ascension du magma et de l'ouverture des fractures. Ces dernières peuvent être les causes de la sursaturation locale de la phase fluide dans un magma (Ohnenstetter 1992). Ce fluide serait également responsable de la cristallisation de chromite dans un stade ultime (Cogill et Wilson 1993) et de l'altération des silicates primaires anhydres en hydrosilicates (Cogill et Wilson 1993). Plusieurs injections de magma à partir d'une source plus ou moins profonde pourraient également expliquer la diversité de composition des gisements observés (Lorand et Ceuleneer 1989, McEldulf et Stumpfl 1991).

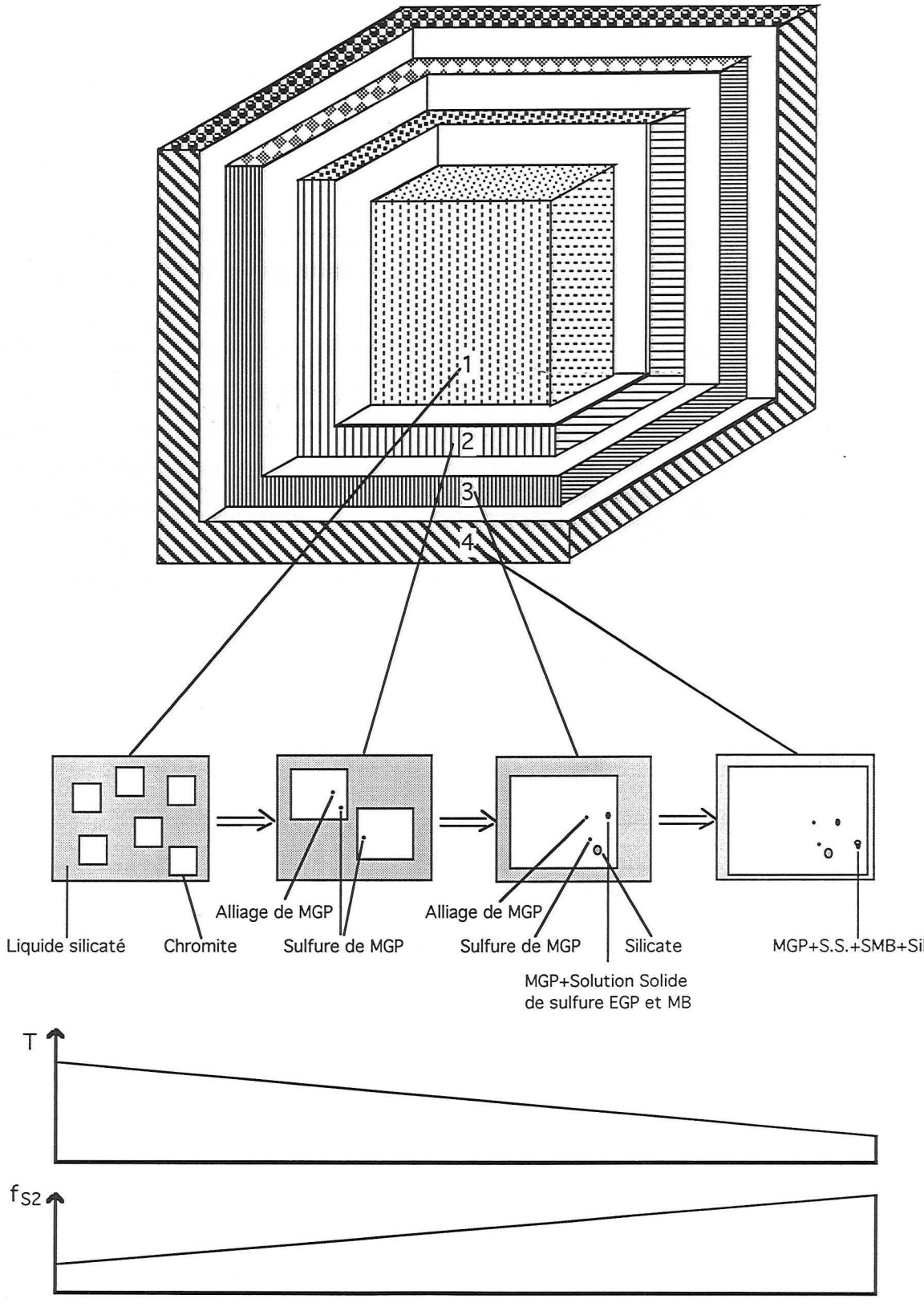


Fig. 7.3. Schéma de la cristallisation de chromite dans les différents stades au cours de l'évolution du système minéralisant. Les MGP, SMB et silicates stables dans le champs de la cristallisation de chromite, se forment et puis se piegent dans la chromite.

Conclusions générales

Conclusions générales

Le but de cette thèse a été de définir les caractéristiques minéralogiques et géochimiques des concentrations en chrome et en éléments du groupe du platine associées aux chromitites des massifs ophiolitiques de Neyriz et d'Assemion de la ceinture orogénique du Zagros en Iran. Le massif ophiolitique d'Assemion et celui de Neyriz dans le secteur d'Abadeh Tashk sont constitués essentiellement de péridotites mantelliques. A Neyriz, une masse dunitique couvre partiellement les tectonites. Les ophiolites étudiées correspondent aux ophiolites du type II de Rocci et al. (1975) et HOT de Boudier et Nicolas (1985). Les ophiolites sont des fragments de la croûte océanique de la Néotéthys au Mésozoïque. L'âge estimé pour l'emplacement de ces ophiolites est Crétacé Supérieur.

Les masses principales des harzburgites profondes dans les deux régions sont très homogènes du point de vue petrologique et de la déformation plastique. Les ophiolites ont subi une déformation cassante intense. Cette dernière déformation est très importante dans l'ophiolite d'Assemion par rapport à celle de Neyriz. Les déformations cassantes ont une action importante sur le déplacement des gisements de chromite.

Les grandes couches de chromitites massives se situent en majorité vers le sommet des harzburgites (Zone de transition). Dans cette zone les filons d'orthopyroxénites les lentilles de dunites et les gisements de chromite accompagnent la harzburgite. Leurs directions sont quasiment parallèles à l'orientation de la foliation des harzburgites.

La composition des minéraux constitutifs des harzburgites ne montre pas de variation remarquable et régulière. Les éléments mineurs des olivines des dunites en lentille au sein des harzburgites qui accompagnent les couches de chromitite montrent des différences notables avec celles des olivines des harzburgites encaissantes. La composition des spinelles des dunites intramantelliques est proche de la composition des spinelles des premières dunites cumulatives et diffère de celle des spinelles des harzburgites. Ces différences de compositions chimiques avec l'existence de contacts très nets entre les dunites accompagnant les couches de chromitites et les harzburgites, nous permettent de suggérer une origine magmatique pour ces dunites. Nous soulignons la différence entre ces dunites et les dunites à pyroxène qui se trouvent dans les zones où le pourcentage des orthopyroxènes de la harzburgite diminue.

Malgré la différence entre la taille des gisements de chromite dans les deux

régions, les morphologies des concentrations sont les mêmes. Le boudinage est caractéristique des concentrations de chromites dans les deux régions étudiées. Ce boudinage s'est formé pendant la déformation plastique mantellique (Cassard et al. 1981, Panayiatou et al. 1986, Leblanc et Nicolas 1992). Les chromitites sont subconcordantes par rapport à la foliation des roches encaissantes d'après la classification de Cassard et al. (1981).

La teneur en chrome des gisements augmente des harzburgites homogènes à la zone de transition. Le domaine de variation de la composition des chromites des gisements est cependant plus grand à Neyriz ($0,59<Cr/(Cr+Al)<0,83$) qu'à Assemion ($0,76<Cr/(Cr+Al)<0,82$). Le jeu contrasté des molécules de magnésiochromite, et chromite, hercynite et spinelle observé à toutes échelles: du minéral au gisement, et d'un gisement à un autre, témoigne de la diversité de mise en place des gisements dans les deux massifs. On déduit de cette approche que le potentiel métallogénique des massifs ophiolitiques semble, plus grand lorsque prédomine le jeu de la molécule de magnésiochromite, en association avec celle de magnésioferrite.

La présence des chromitites à fortes teneurs en Cr, quasiment pures, et également la présence de contacts très nets entre les chromitites et les roches encaissantes suggèrent un phénomène d'immiscibilité de liquides pour la formation des gisements de chromites, puisque un simple procédé de sédimentation ou d'accumulation de cristaux ne peut expliquer les corps de chromite. Le fluide riche en volatiles joue sans aucun doute un rôle très important dans la précipitation de la chromite. L'existence d'inclusions d'amphibole riche en Na, de clinopyroxène riche en Ca et de mica sodique témoignent de la présence d'une phase fluide riche en volatiles lors de la formation des chromites.

Les MGP sont toujours en inclusion dans la chromite, ce qui témoignent une relation génétique entre la concentration en éléments du groupe du platine enrichies en Ru, Os et Ir et la formation de chromite. Le mode de répartition des MGP, les variations cryptiques dans la chimie des MGP, la variation de taille des MGP et l'évolution des assemblages minéralogiques contenant des MGP illustrent le fractionnement des EGP à toute échelle au cours de l'évolution du système minéralisant. Le fractionnement direct du magma qui se fait lors de la cristallisation de chromite hôte.

Les teneurs enregistrées dans les analyses de roche totale correspondent aux différentes paragenèses minérales de MGP observées dans les niveaux différents des deux piles ophiolitiques. Ce qui montre que dans les chriomitites les MGP sont porteurs des EGP. Les teneurs enregistrées indiquent également que les EGP, les plus

fusibles (Pt, Pd et Rh) entrent préférablement dans le réseau de SMB dans les chromitites lorsque les conditions nécessaires pour la formation de MGP riche en PPGE ne sont pas réunies. La diminution du rapport (Ru+Os+Ir)/(Pt+Pd+Rh) en passant des laurites et erlichmanites vers les minéraux formant les solutions solides et vers les sulfures et alliages de métaux de base le témoigne également.

La répartition des éléments du groupe du platine dans les échantillons d'un gisement n'est pas aléatoire. Les gisements les plus riches en EGP contiennent les plus gros MGP. Il existe une relation entre des chromitites et le nombre des MGP, c'est à dire le nombre des MGP augmente avec l'augmentation du nombre de chromite dans les roches.

La fugacité plus forte en soufre dans le système minéralisant du massif d'Assemion par rapport à celui du massif de Neyriz est évidente lorsque l'on compare leur minéralogie et le pourcentage des minéraux du groupe du platine et des minéraux de métaux de base. Cependant l'abondance des sulfures de Ni est un témoin d'une forte teneur en nickel dans les deux systèmes minéralisants.

Les rapports isotopiques $^{186}Os/^{187}Os$ dans les chromitites ont bien une signature mantellique. La différence entre deux rapports radiogéniques obtenus dans des chromitites de niveaux différents du massif d'Assemion peut s'interpréter par un changement des conditions de la formation des magmas parents pour les gisements des différents niveaux. Les données isotopiques indiquent que les gisements des niveaux profonds, riches en MGP, se sont formés à partir d'un manteau plus appauvri que les gisements des niveaux supérieurs.

Planches photographiques

Planche I

Photo n°1: Les laves en coussins qui se trouvent localement dans le mélange coloré. Sud du massif de Neyriz.

Photo n°2: Cherts radiolaritiques montrant un faible litage au Sud du massif de Cheshmeh Bid, Neyriz. L'axe de plissement a une direction Nord-Sud.

Photo n°3: L'unité sédimentaire du mélange coloré au Nord du massif d'Assemion. Rad = cherts radiolaritiques; Calc = calcaires à Globotruncana.

Photo n°4: Harzburgite rubanée et foliée.

Photo n°5: Filon basique (Ba) recoupant la harzburgite profonde (HZ) au Nord-Ouest du massif de Cheshmeh Bid, Neyriz.

Photo n°6: Ceinture de serpentine (Ser) à la périphérie des massifs ultramafiques de Neyriz. La puissance des serpentinites peut atteindre à 50 m. Hz = harzburgite.

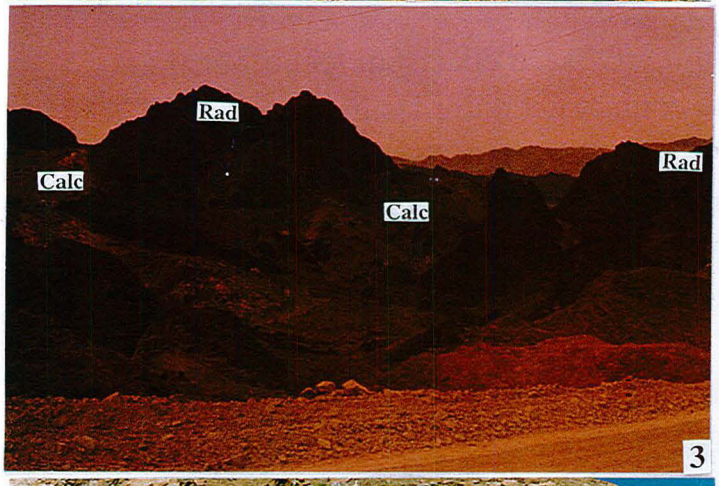
Photo n°7: Filon de magnésite le long d'une faille, montrant l'altération intense des roches ultramafiques dans les zones tectonisées. Mag = magnésite; Ser = serpentinite.

Photo n°8: Mélange coloré au Sud-Est du massif de Cheshmeh Bid, Neyriz. Les cherts radiolaritiques associés aux calcaires recristallisés recouvrent la serpentinite. Rad = chert radiolaritique; Calc = calcaire; Ser = serpentinite.

Planche I

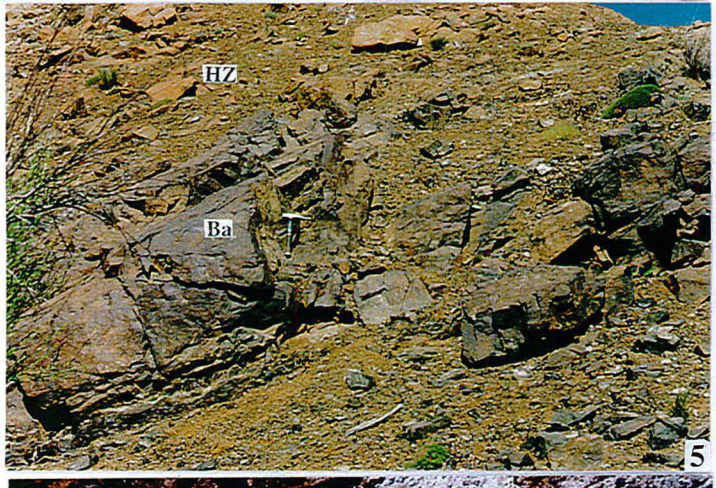
1

2



3

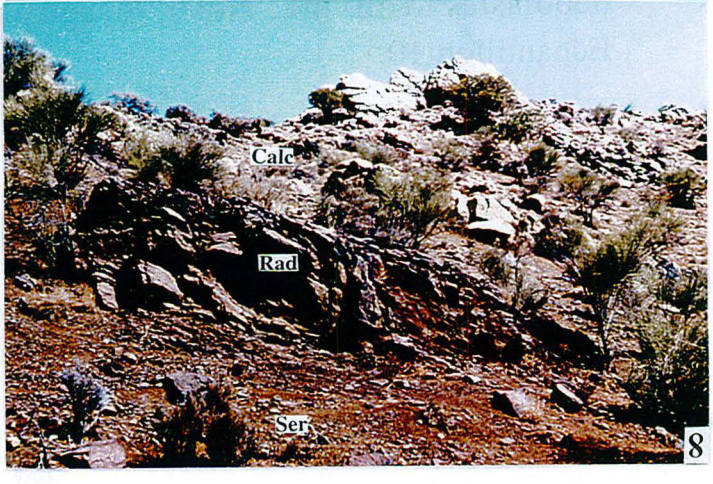
4



5

6

7



8

Planche II

Photo n°1: Lentille dunitique (DU) dans la zone des harzburgites transitionnelles (Hz). La taille des lentilles varie de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres. Noter le contact net entre la dunite et la harzburgite encaissante.

Photo n°2: Lentille d'orthopyroxénite (Opx) dans la zone des harzburgites transitionnelles (HZ). Noter le contact net entre l'orthopyroxénite et la harzburgite encaissante.

Photo n°3: Filon d'orthopyroxénite (Opx) d'épaisseur centimétrique qui recoupe la harzburgite (HZ). Noter le contact net entre les deux roches.

Photo n°4: Différence de couleur entre la harzburgite (HZ) et la dunite (DU) sur le terrain. La dunite a une couleur vert-jaune qui est distinguable de la harzburgite de couleur rouge avec les orthopyroxènes en relief.

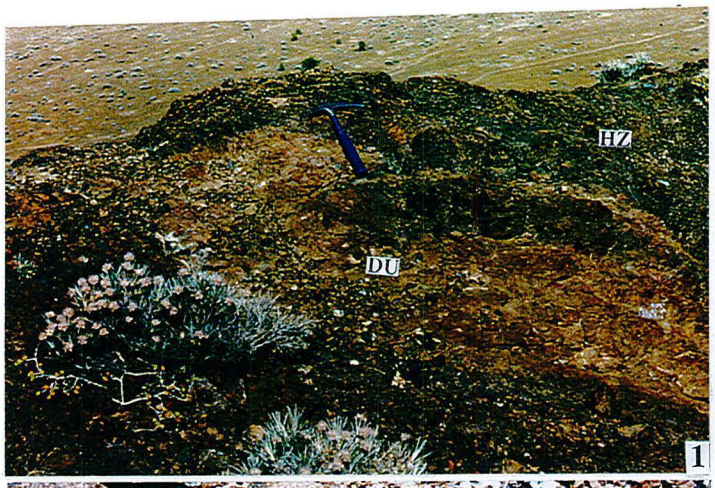
Photo n°5: La dunite (DU) à la base des cumulats en association avec les chromitites disséminées (Cr), Région de Neyriz.

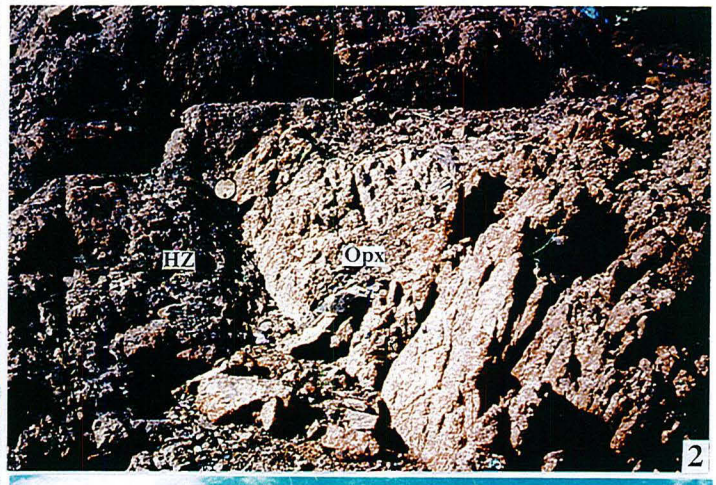
Photo n°6: Spinelle (Sp) amiboïde qui a englobé des cristaux d'olivine (Ol) dans une harzburgite serpentinisée (Ser). Le témoin d'une déformation de haute température. Echantillon 76.

Photo n°7: Harzburgite fraîche à texture porphyroclastique. Ol = olivine; Opx = orthopyroxène; Sp = spinelle. Echantillon 20.

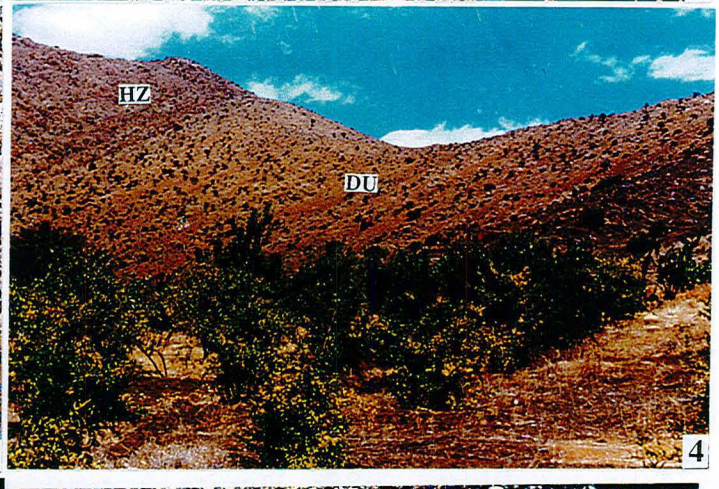
Photo n°8: Harzburgite serpentinisée à texture porphyroclastique. Les porphyroclastes d'olivine (Ol) et d'orthopyroxène (Opx) sont entourés de néoblastes d'olivine. Noter le spinelle (Sp) xénomorphe dans la roche. Echantillon 10.

Planche II


HZ
DU
1

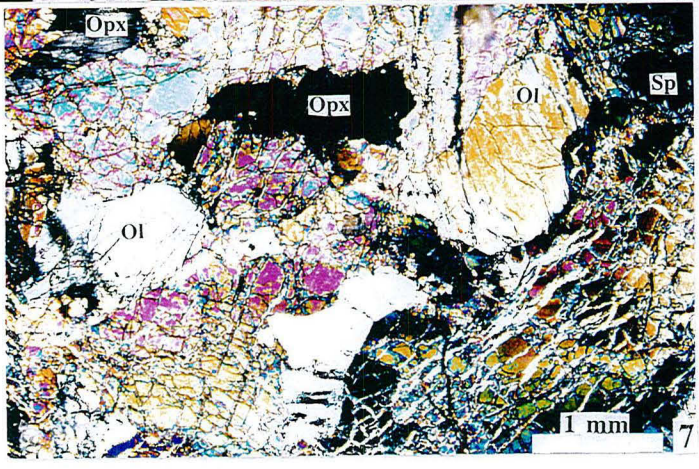

HZ
Opx
2

HZ
Opx
3


HZ
DU
4

Cr
Cr
DU
5

Ol
Ser
Sp
1 mm
6


Opx
Opx
Ol
Sp
Ol
1 mm
7

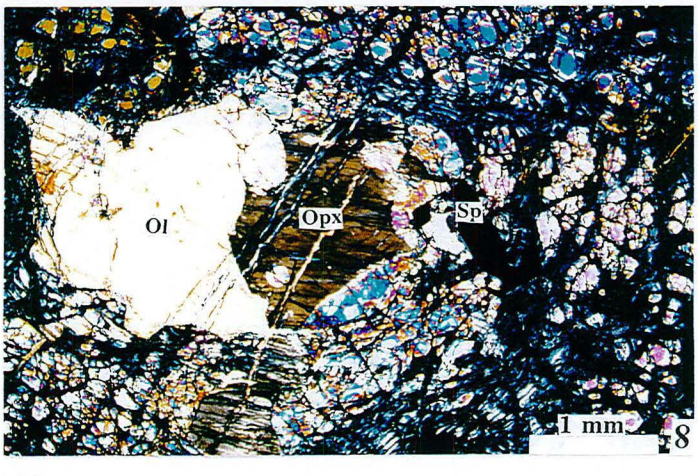

Ol
Opx
Sp
1 mm
8

Planche III

Photo n°1: Harzburgite serpentinisée à texture porphyroclastique. L'orthopyroxène (Opx) montre des "kink-bands". L'olivine (Ol) et le spinelle (Sp) se trouvent en inclusion dans l'orthopyroxène. Echantillon 71.

Photo n°2: Harzburgite à texture porphyroclastique à gros grain. L'orthopyroxène (Opx) de la harzburgite montre des exsolutions de clinopyroxène en lamelles (en blanc). Le spinelle (Sp) se trouve parfois en inclusion dans l'olivine (Ol). Echantillon 22.

Photo n°3: Harzburgite à texture porphyroclastique à gros grain. L'orthopyroxène (Opx) de la harzburgite montre des exsolutions de clinopyroxène (Cpx) en lamelles. L'olivine (Ol) peut se trouver en inclusion dans l'orthopyroxène. Echantillon 19.

Photo n°4: Harzburgite serpentinisée à texture équante -équigranulaire. Les grains d'olivine (Ol) et d'orthopyroxène (Opx) ne sont pas déformés. Echantillon 21.

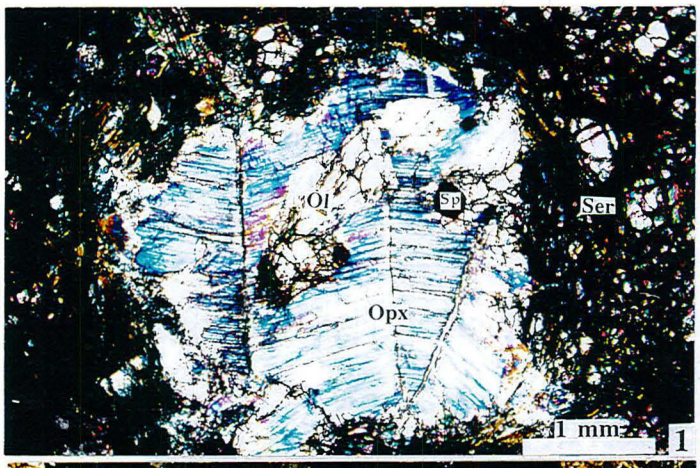
Photo n°5: Dunite à texture granoblastique. Les olivines (Ol) présentent des "kink-bands" larges. indiquant une structure de déformation sous hautes températures. Le spinelle (Sp) se trouve en inclusion dans l'olivine. Echantillon 17.

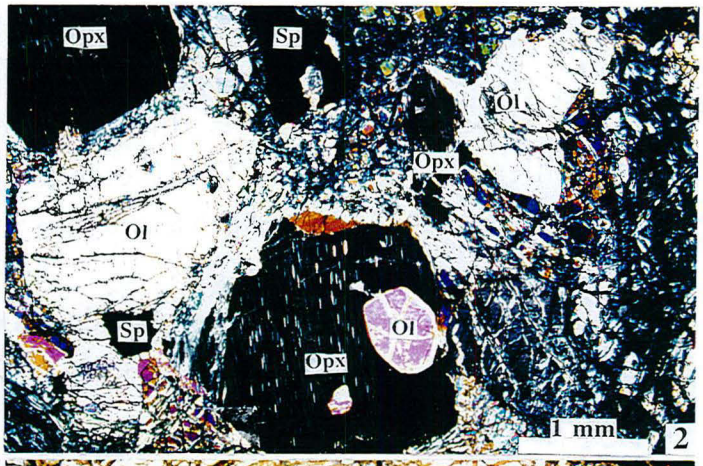
Photo n°6: Dunite fraîche à texture tabulaire. Noter les grains polygonaux et légèrement aplatis d'olivine (Ol). Echantillon 36.

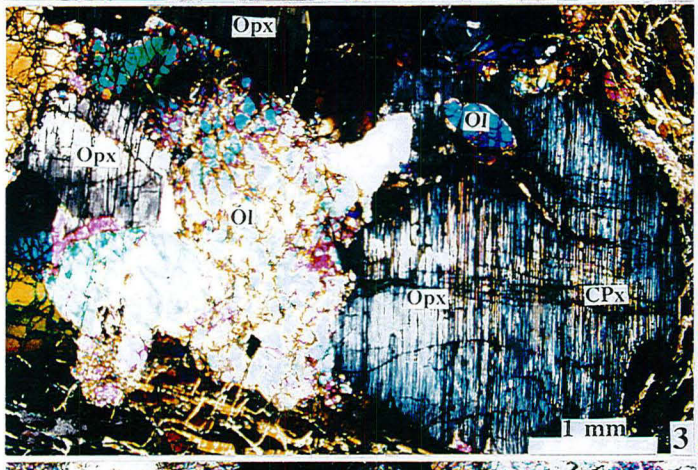
Photo n°7: Dunite de la base des cumulats. Noter les spinelles (Sp) automorphes dans la roche. Echantillon 100.

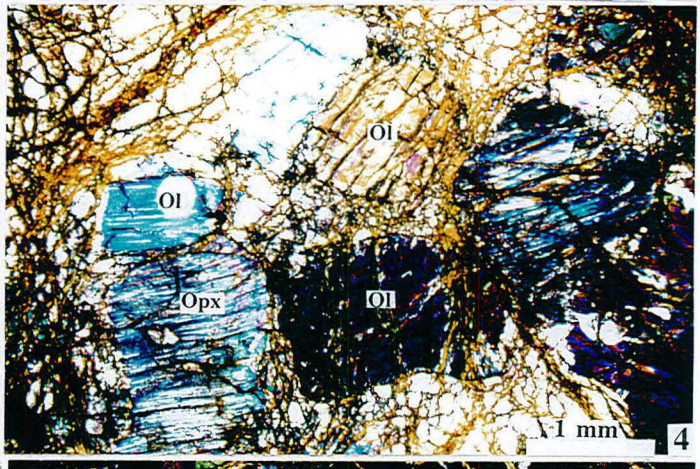
Photo n°8: Dunite à clinopyroxène. La roche a subi une déformation cassante. Ol = olivine; Cpx = clinopyroxène. Echanillon 104.

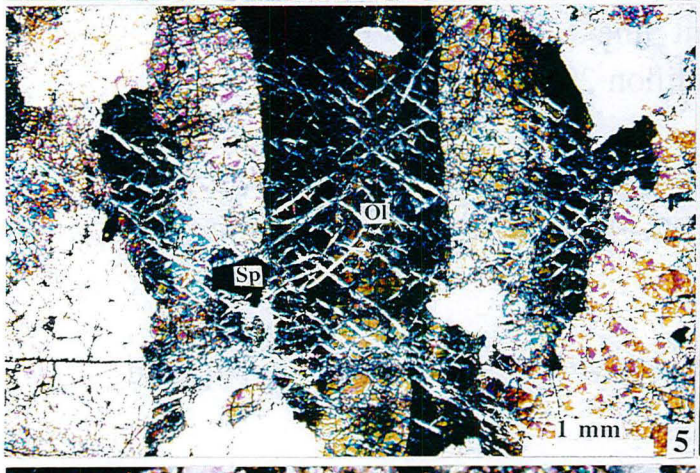
Planche III

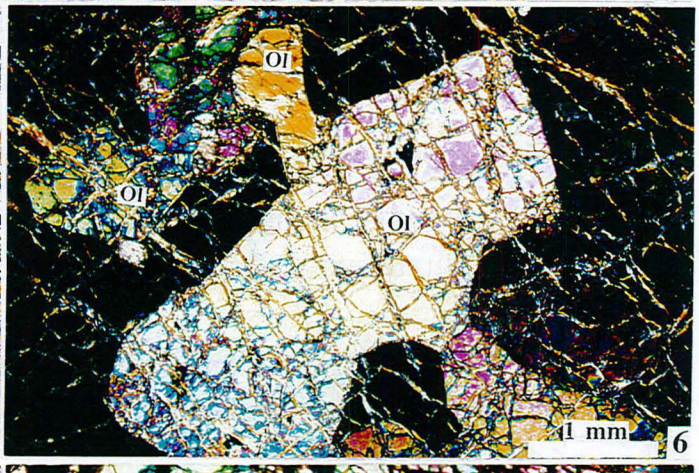

Ol
Sp
Ser
Opx
1 mm
1

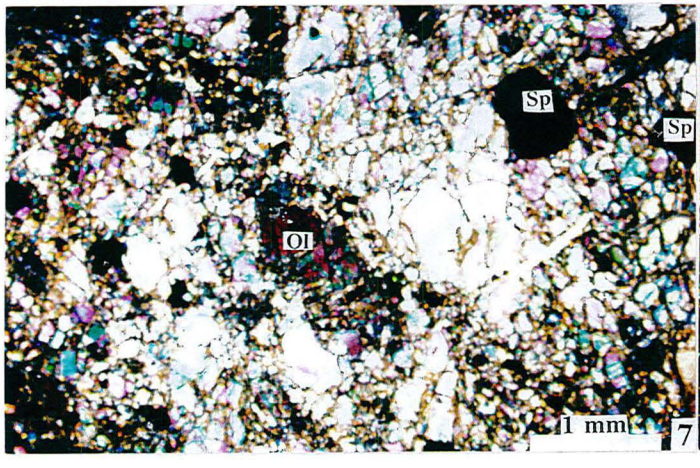

Opx
Sp
Ol
Opx
Ol
Sp
Ol
Opx
1 mm
2


Opx
Ol
Opx
Ol
Opx
CPx
1 mm
3


Ol
Ol
Opx
Ol
1 mm
4


Ol
Sp
1 mm
5


Ol
Ol
Ol
1 mm
6


Sp
Sp
Ol
1 mm
7

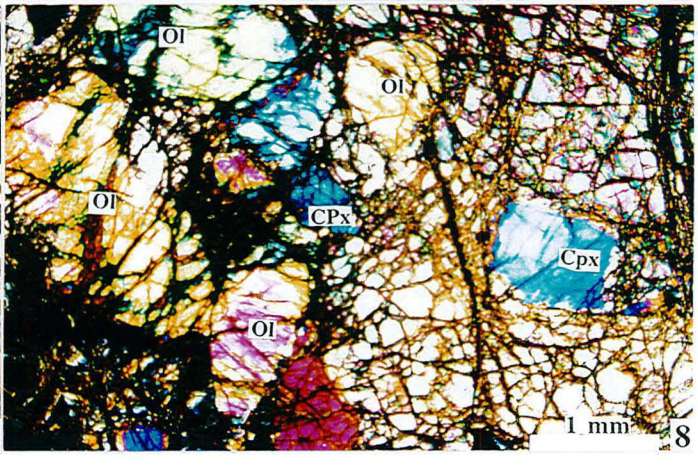

Ol
Ol
Ol
CPx
Cpx
Ol
1 mm
8

Planche IV

Photo n°1: Filons dunitiques (DU) recoupant les grands axes des lentilles de chromitite (Cr). Noter le contact net entre les deux roches. La même situation est présente à une plus grande échelle.

Photo n°2: Aplatissement des nodules de chromite (Cr) dans le plan de foliation des roches encaissantes. Du = Dunite

Photo n°3: Grains de chromite (Cr) automorphes dans le minerai à texture massive. Ser = serpentine. Echantillon 17N.

Photo n°4: Minerai de chromite à texture massive. Le pourcentage de la gangue silicatée est inférieure à 5% en volume.

Photo n°5: Minerai de chromite à texture massive dans une gangue dunitique très pauvre en chromite. Noter le contact très net entre la chromite et la dunite.

Photo n°6: Chromitite montrant une texture en "pull apart". Les fissures sont remplies de silicates . Echantillon 29A.

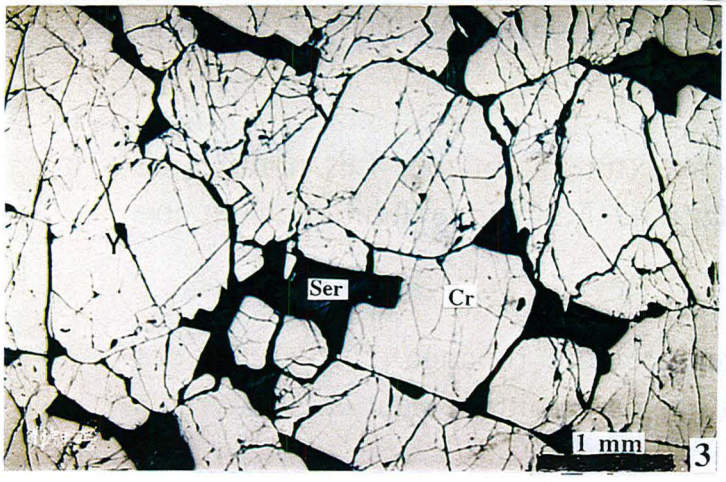
Photo n°7: Chromitite à texture cataclastique. Cette texture est commune dans les zones tectonisées au contact des gisements de chromite avec la gangue dunitique. Echantillon 7A.

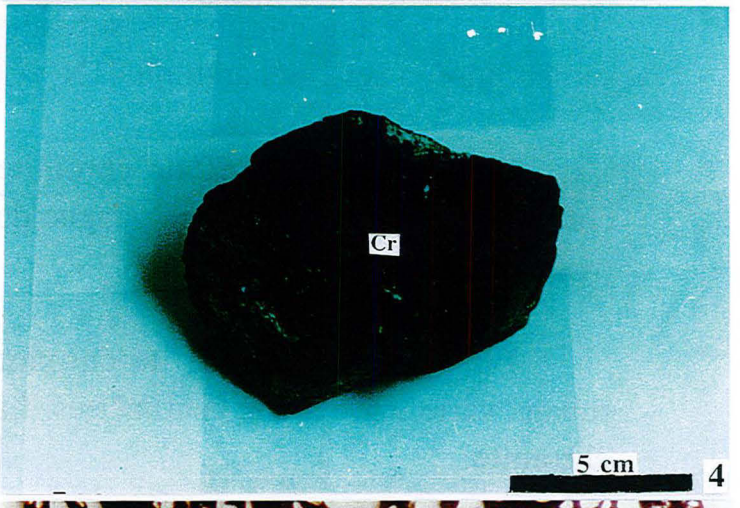
Photo n°8: Fragmentation des grains de chromite (Cr). Noter que les fractures sont orientés. Echantillon 45N.

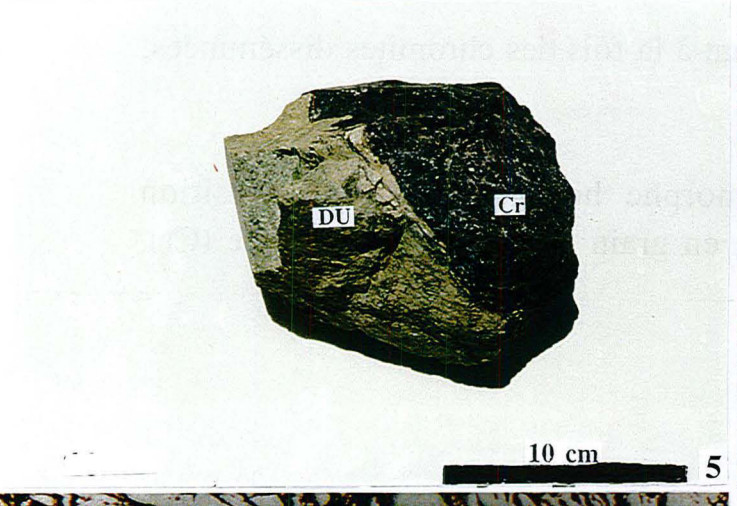
Planche IV

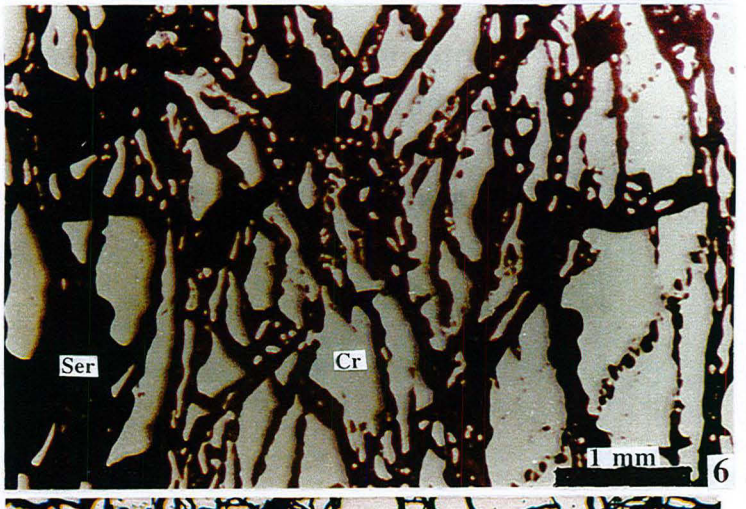
Cr
DU
1

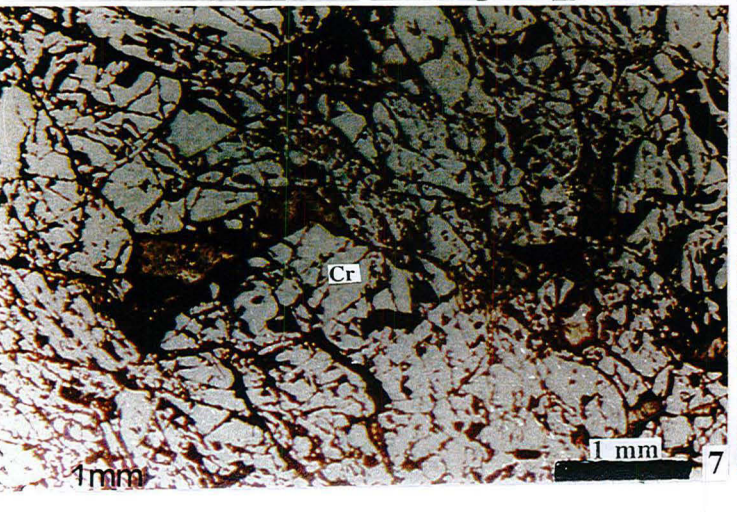
Cr
DU
2


Ser
Cr
1 mm
3


Cr
5 cm
4


DU
Cr
10 cm
5


Ser
Cr
1 mm
6


Cr
1 mm
7
1mm

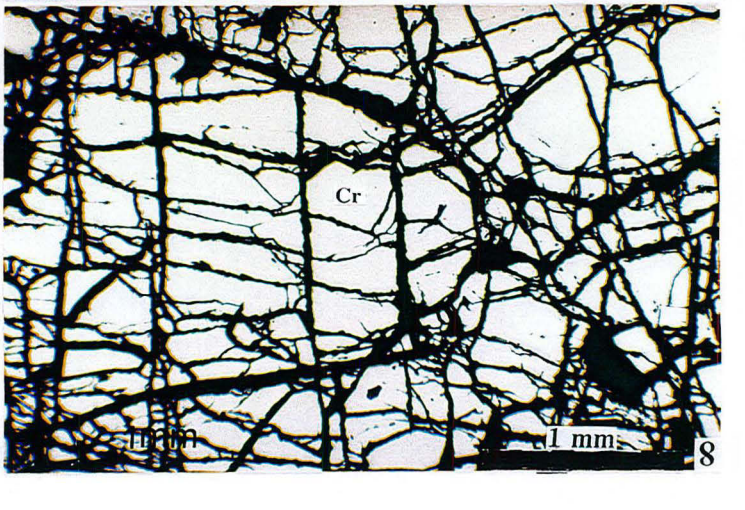

Cr
1mm
1 mm
8

Planche V

Photos n°1 et n°2: Zones d'altération développées le long des fissures dans la chromite. Ces fissures ont été créés au cours de la serpentinisation. Noter les fissures tardives qui sont indemnes de ferrichromite. Cr = chromite; Fcr = ferrichromite; Ser = serpentine.

Photo n°3: Minerai de chromitite à texture disséminée.

Photo n°4: Chromitite à texture disséminée. Noter les grains de chromite (Cr) automorphes à sub-automorphes dans une matrice d'olivine serpentinisée (Ser). Echantillon 41N

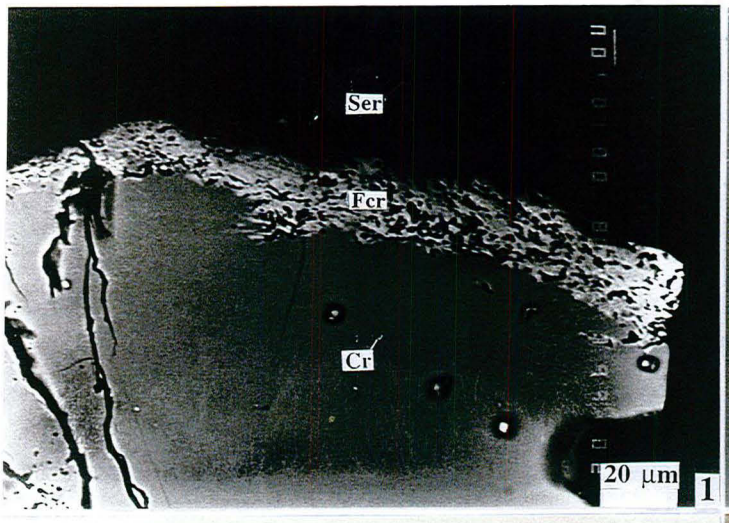
Photo n°5: Minerai de chromite à texture nodulaire. Les nodules de chromite sont situés dans une gangue dunitique. La matrice dunitique peut être très pauvre en chromite.

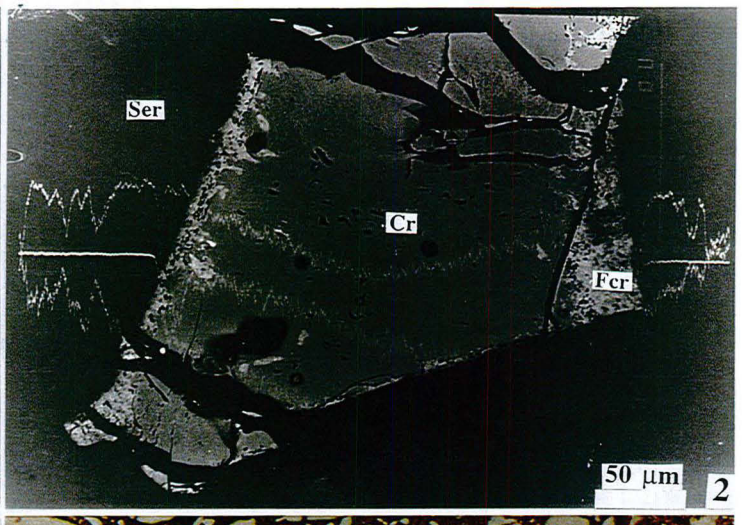
Photo n°6: Minerai de chromite à texture rubanée. L'epaisseur des rubans varie entre 1 à 2 centimètres. La gangue dunitique peut être pauvre en chromite.

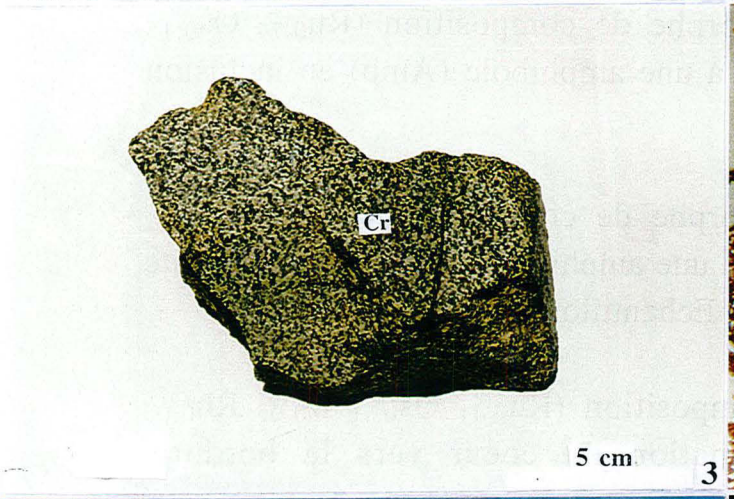
Photo n°7: Echantillon comprenant à la fois des chromites disséminées, nodulaires et rubanées.

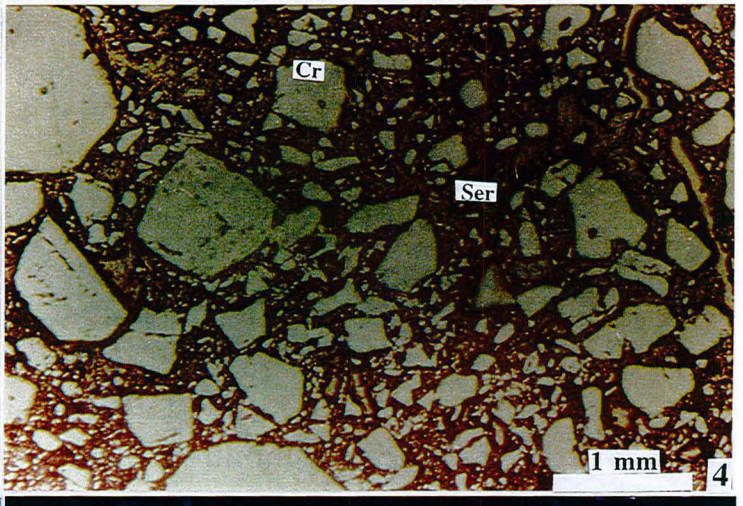
Photo n°8: Laurite (La) automorphe hexagonale de composition $(Ru_{0,71}\ Os_{0,21}\ Ir_{0,04}\ Rh_{0,02}\ Ni_{0,02})\ S_{1,96}$ en grain isolé dans la chromite (Cr). Echantillon 38A.

Planche V


Ser
Fcr
Cr
20 µm
1

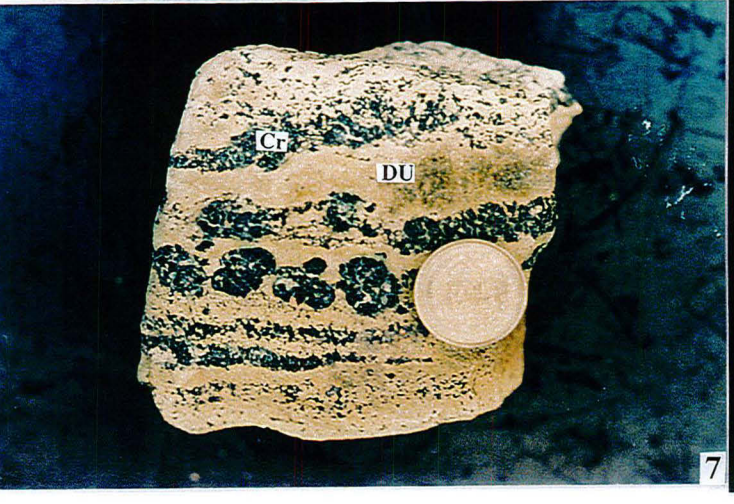

Ser
Cr
Fcr
50 µm
2


Cr
5 cm
3


Cr
Ser
1 mm
4

5

Cr
DU
2 cm
6


Cr
DU
7

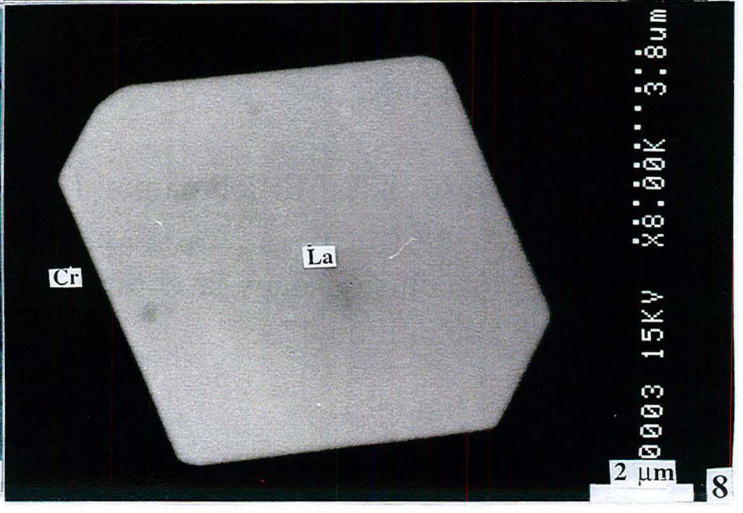

Cr
La
0003 15KV X8,000K 3.8µm
2 µm
8

Planche VI

Photo n°1: Laurite (La) automorphe zonée de composition ($Ru_{0,87}$ $Os_{0,09}$ $Ir_{0,04}$) $S_{2,03}$ au coeur de grain, en inclusion dans la chromite (Cr). La traversée X, 1-Ruthénium, 2-Osmium, 3-Soufre. Echantillon Ch-T7.

Photo n°2: Laurite (La) automorphe de composition ($Ru_{0,75}$ $Os_{0,14}$ $Ir_{0,08}$ $Rh_{0,03}$) $S_{1,99}$ $As_{0,01}$ associée avec de la serpentine (Ser) incluse dans la chromite (Cr). Echantillon 1N.

Photo n°3: Laurite (La) automorphe de composition ($Ru_{0,74}$ $Os_{0,15}$ $Ir_{0,08}$ $Rh_{0,03}$ $Pt_{0,01}$) $S_{1,99}$ $As_{0,01}$ associée à une amphibole (Amp) en inclusion dans la chromite (Cr). Echantillon 1N.

Photo n°4: Laurite (La) automorphe de composition ($Ru_{0,52}$ $Os_{0,32}$ $Ir_{0,11}$ $Rh_{0,03}$ $Fe_{0,03}$) $S_{1,93}$ $As_{0,01}$ associée à une amphibole (Amp) et une chlorite (Chl) en inclusion dans la chromite (Cr). Echantillon 47A.

Photo n°5: Laurite (La) de composition ($Ru_{0,71}$ $Os_{0,16}$ $Ir_{0,08}$ $Rh_{0,03}$ $Fe_{0,01}$ $Pt_{0,01}$) $S_{1,99}$ montrant une zonation du coeur vers la bordure. L'enrichissement en Os de la bordure est marquée par un Z moyen plus élevé au MEB en électrons rétrodiffusés. Cr = chromite. Echantillon 17N.

Photo n°6: Laurite (La) montrant une zonation. L'enrichissement en Os à la bordure est marqué par un Z moyen plus élevé au MEB en électrons rétrodiffusés. La composition de centre de minéral est ($Ru_{0,72}$ $Os_{0,14}$ $Ir_{0,09}$ $Rh_{0,04}$ $Pt_{0,01}$ $Ni_{0,01}$) $S_{1,94}$ $As_{0,04}$. Le grain d'osmium (Os) quasiment pur pourait être formé par la destabilisation du minéral primaire. Cr = chromite. Echantillon 18A.

Photo n°7: Erlichmanite (Er) automorphe de composition moyenne ($Os_{0,55}$ $Ru_{0,38}$ $Ir_{0,06}$ $Rh_{0,01}$) $S_{1,99}$ $As_{0,02}$ en grain isolé dans la chromite (Cr). Echantillon 39N.

Photo n°8: Erlichmanite (Er) automorphe de composition ($Os_{0,44}$ $Ru_{0,40}$ $Ir_{0,12}$ $Rh_{0,04}$) $S_{1,97}$ $As_{0,02}$ associée à une amphibole (Amp) et une chlorite (Chl) en inclusion dans la chromite. Noter la grande proportion de silicates inclus. Echantillon 47A.

Planche VI

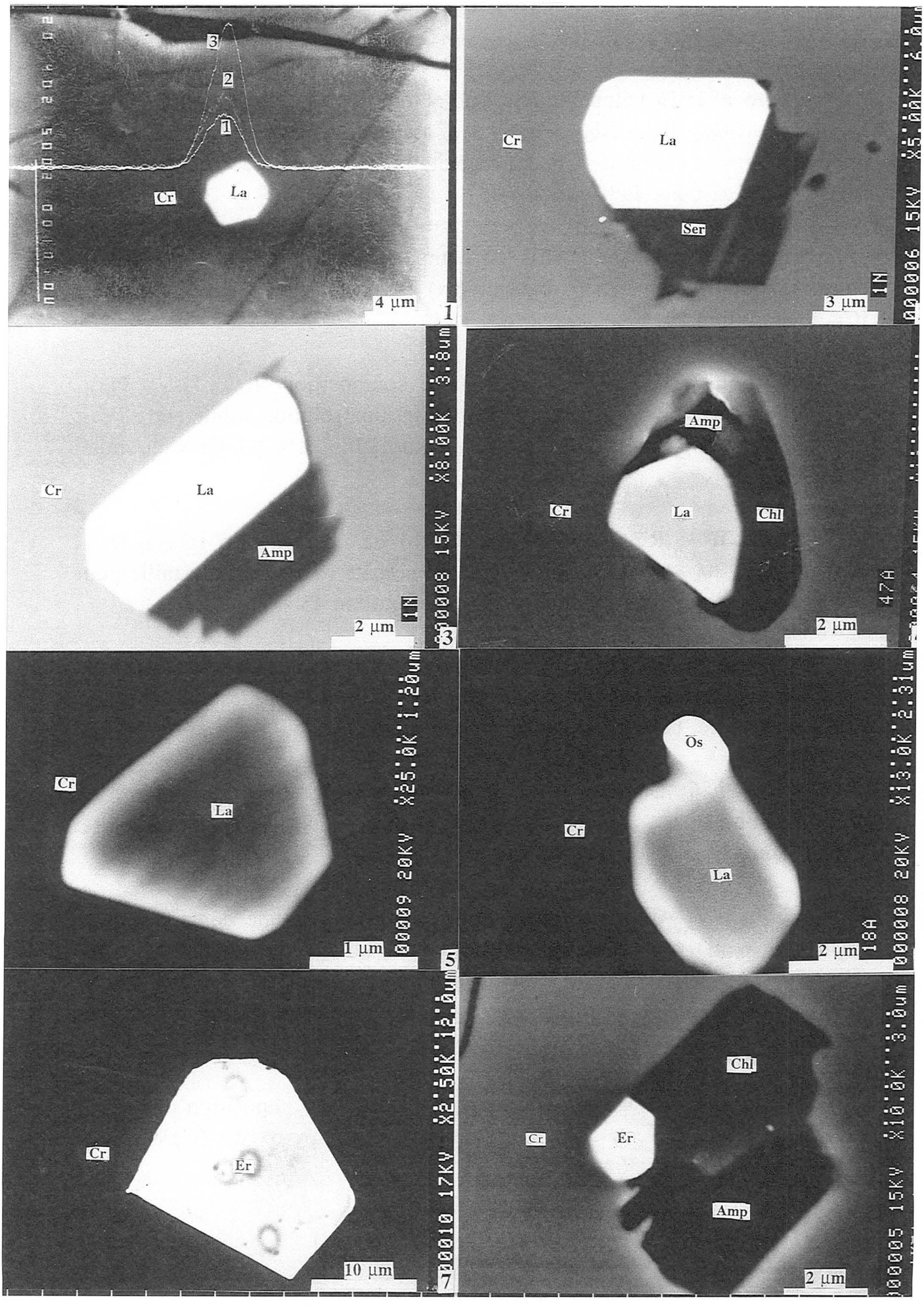

3
2
1
Cr
La
4 µm
1
Cr
La
Ser
3 µm
1N
Cr
La
Amp
2 µm
1N
3
Amp
Cr
La
Chl
2 µm
47A
Cr
La
1 µm
5
Os
Cr
La
2 µm
18A
Cr
Er
10 µm
7
Chl
Cr
Er
Amp
2 µm

Planche VII

Photo n°1: Erlichmanite (Er) sub-automorphe de composition ($Os_{0,71}$ $Ir_{0,12}$ $Ru_{0,09}$ $Cu_{0,02}$ $Pt_{0,01}$ $Ni_{0,01}$ $Fe_{0,01}$) $S_{2,01}$ associée avec une digénite (Dig) en inclusion dans la chromite (Cr). La digénite provient de la recristallisation de sulfures pré-existants. Echantillon 5A.

Photo n°2: Iridosmine (Iris) de composition ($Os_{0,54}$ $Ir_{0,38}$ $Ru_{0,06}$ $Pt_{0,02}$) en association avec un orthopyroxène (Opx). L'assemblage est dans la chromite (Cr). Echantillon 26N.

Photo n°3: Osmiridium (Osmir) de composition ($Ir_{0,63}$ $Os_{0,35}$ $Pt_{0,01}$ $Cu_{0,01}$) en association avec un alliage formant une solution solide entre Fe et Ru-Os-Ir de composition moyenne ($Fe_{0,73}$ $Ru_{0,12}$ $Ir_{0,05}$ $Os_{0,01}$). Cr = chromite. Echantillon 18N.

Photo n°4: Ruthéniridosmine (Ruth) de composition ($Os_{0,45}$ $Ir_{0,45}$ $Ru_{0,05}$ $Rh_{0,03}$ $Pt_{0,02}$) en association avec un silicate (de trop petite taille pour être analysé) inclus dans la chromie (Cr). Echantillon 45N.

Photo n°5: Iridium (Ir) pur accolé à une laurite (La) de composition ($Ru_{0,70}$ $Os_{0,13}$ $Ir_{0,12}$ $Rh_{0,05}$) $S_{1,88}$ $As_{0,10}$ issu peut être de la destabilisation du minéral primaire. Cr = chromite. Echantillon 34A.

Photo n°6: Osmium (Os) en association avec une erlichmanite de composition ($Os_{0,50}$ $Ru_{0,39}$ $Ir_{0,10}$ $Ni_{0,05}$ $Rh_{0,02}$ $Cu_{0,01}$). Cr = chromite. Echantillon 47A.

Photo n°7: Alliage de palladium-fer (PFe) avec une composition de ($Pd_{0,891}$ $Fe_{0,101}$) en association avec un petit alliage de palladium-platine (PPt)(de trop petite taille pour être analysé) et un silicate (de trop petite taille pour être analysé). L'assemblage est en inclusion dans la chromite (Cr). Echantillon 6A.

Photo n°8: Alliage du rhodium (Rh) avec une composition de ($Rh_{0,46}$ $Ir_{0,40}$ $Os_{0,09}$ $Ru_{0,05}$) en association avec un clinopyroxène (Cpx). Cr = chromite. Echantillon 36A.

Planche VII

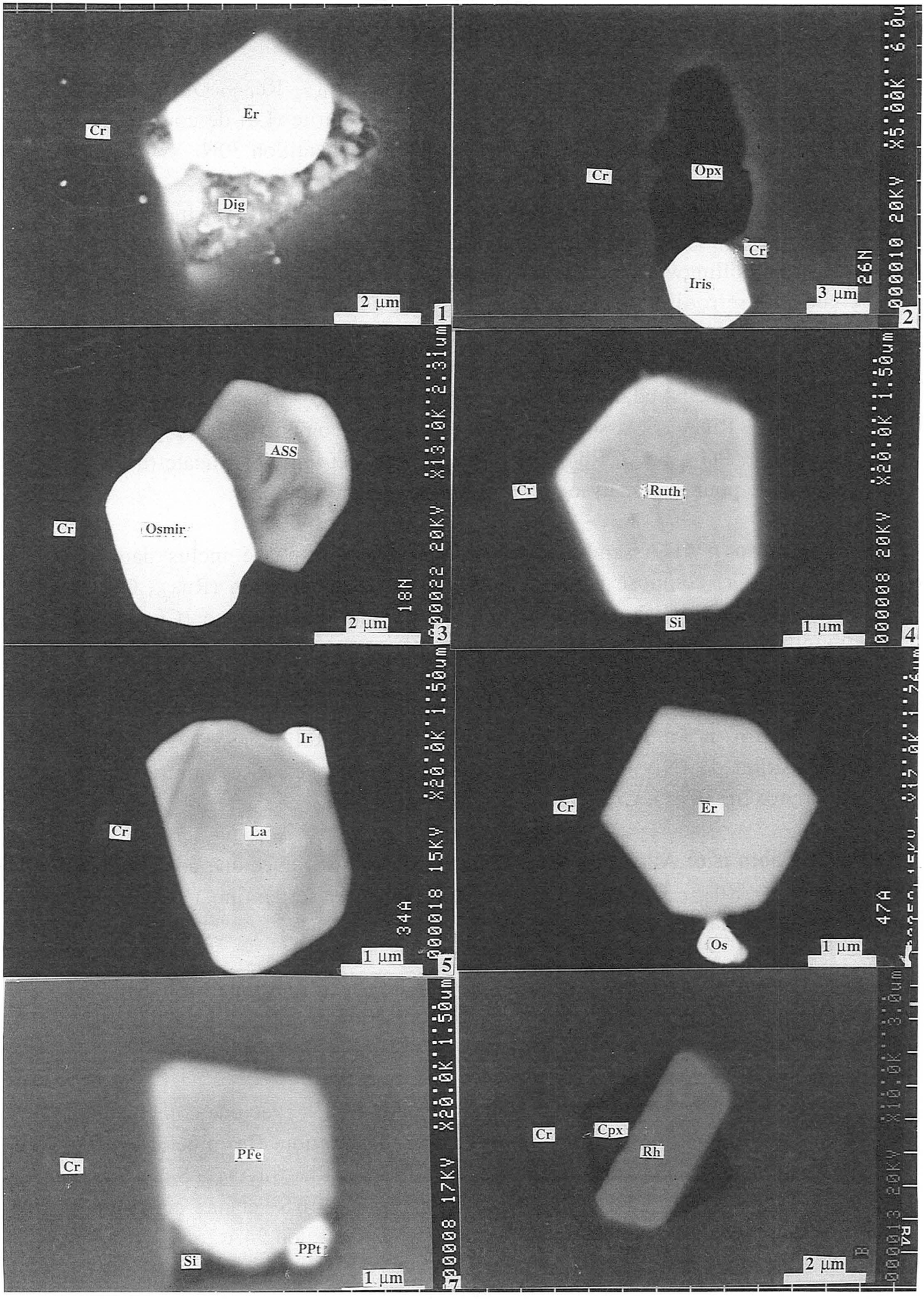

Cr
Er
Dig
2 µm
1
Cr
Opx
Cr
Iris
3 µm
26N
000010 20KV X5.00K 6.0u
2
Cr
ASS
Osmir
2 µm
18N
000022 20KV X13.0K 2.31um
3
Cr
Ruth
Si
1 µm
000008 20KV X20.0K 1.50um
4
Ir
Cr
La
1 µm
34A
000018 15KV X20.0K 1.50um
5
Cr
Er
Os
1 µm
47A
6
Cr
PFe
Si
PPt
1 µm
000008 17KV X20.0K 1.50um
7
Cr
Cpx
Rh
2 µm
B
000013 20KV X10.0K 3.0um

Planche VIII

Photo n°1: Irarsite (Irs) de composition ($Ir_{0,72}$ $Ru_{0,17}$ $Os_{0,05}$ $Rh_{0,01}$ $Pt_{0,01}$ $Pd_{0,01}$)($As_{0,69}$ $S_{0,31}$) $S_{1,1}$ associée avec une laurite (La) de composition ($Ru_{0,68}$ $Os_{0,21}$ $Ir_{0,07}$ $Rh_{0,03}$ $Fe_{0,01}$). Cr = chromite. Echantillon 30N.

Photo n°2: Hollingworthite (Ho) de composition ($Rh_{0,41}$ $Ir_{0,26}$ $Ru_{0,24}$ $Os_{0,09}$)($As_{0,69}$ $S_{0,30}$) S montrant une zonation. L'enrichissement en Ir dans le réseau de hollingworthite est marqué par un Z moyen plus élevé au MEB en électrons rétrodiffusés. L'irarsite (Irs) s'est développée autour de la hollingworhite. Cr = chromite. Echantillon 2N.

Photo n°3: Malanite (Ma) de composition ($Cu_{0,74}$ $Ni_{0,28}$ $Fe_{0,12}$)($Pt_{0,73}$ $Ir_{0,71}$ $Rh_{0,28}$ $Ru_{0,25}$) S_4 associée avec une laurite de composition ($Ru_{0,52}$ $Os_{0,21}$ $Ir_{0,07}$ $Cu_{0,07}$ $Pt_{0,04}$ $Fe_{0,04}$ $Rh_{0,03}$ $Pd_{0,03}$) $S_{1,58}$ $As_{0,04}$ et un petit silicate (de trop petite taille pour être analysé). Cr = chromite. Echantillon 28N.

Photo n°4: Assemblage minéralogique quadriphasé inclus dans la chromite (Cr) composé par une laurite (La) de composition ($Ru_{0,65}$ $Os_{0,17}$ $Ir_{0,11}$ $Rh_{0,03}$ $Cu_{0,02}$ $Pt_{0,01}$ $Ni_{0,01}$ $Fe_{0,01}$) $S_{1,98}$, une cuproiridsite (Cup), une digénite (Dig) de composition ($Cu_{1,87}$ S) et un clinopyroxène (Cpx) . Echantillon 36A.

Photo n°5: Sulfure formant une solution solide (SSS) avec une composition de ($Ni_{1,28}$ $Cu_{0,44}$ $Fe_{0,44}$)($Ir_{1,08}$ $Rh_{0,10}$)S_4 en association avec le clinopyroxène (Cpx). Cr = chromite. Echantillon 18A.

Photo n°6: Alliage de type solution-solide (ASS) avec une composition de ($Fe_{0,57}$ $Ru_{0,36}$ $Os_{0,08}$) en association avec une serpentine (Ser). Cr = chromite. Echantillon 36A.

Photo n°7: Alliage de type solution-solide (ASS) en grain isolé dans la chromite (Cr), montrant des traces de destabilisation du minéral primaire avec une composition de ($Fe_{0,58}$ $Ni_{0,01}$)($Ru_{0,32}$ $Os_{0,06}$ $Ir_{0,03}$). Echantillon 34A.

Photo n°8: Alliage de type solusion-solide (ASS) avec une composition de ($Os_{0,43}$ $Cu_{0,32}$ $Ir_{0,25}$) présentant des traces d'altération. Ce minéral est en association avec l'irarsite (Irs) de composition ($Ir_{0,88}$ $Rh_{0,12}$)($As_{0,97}$ $S_{0,03}$) $S_{1,11}$, un sulfure de type solution-solide (SSS) inommé $NiIrS_2$ et une amphibole (Amp) Le tout est inclus dans la chromite (Cr). Echantillon 34A.

Planche VIII

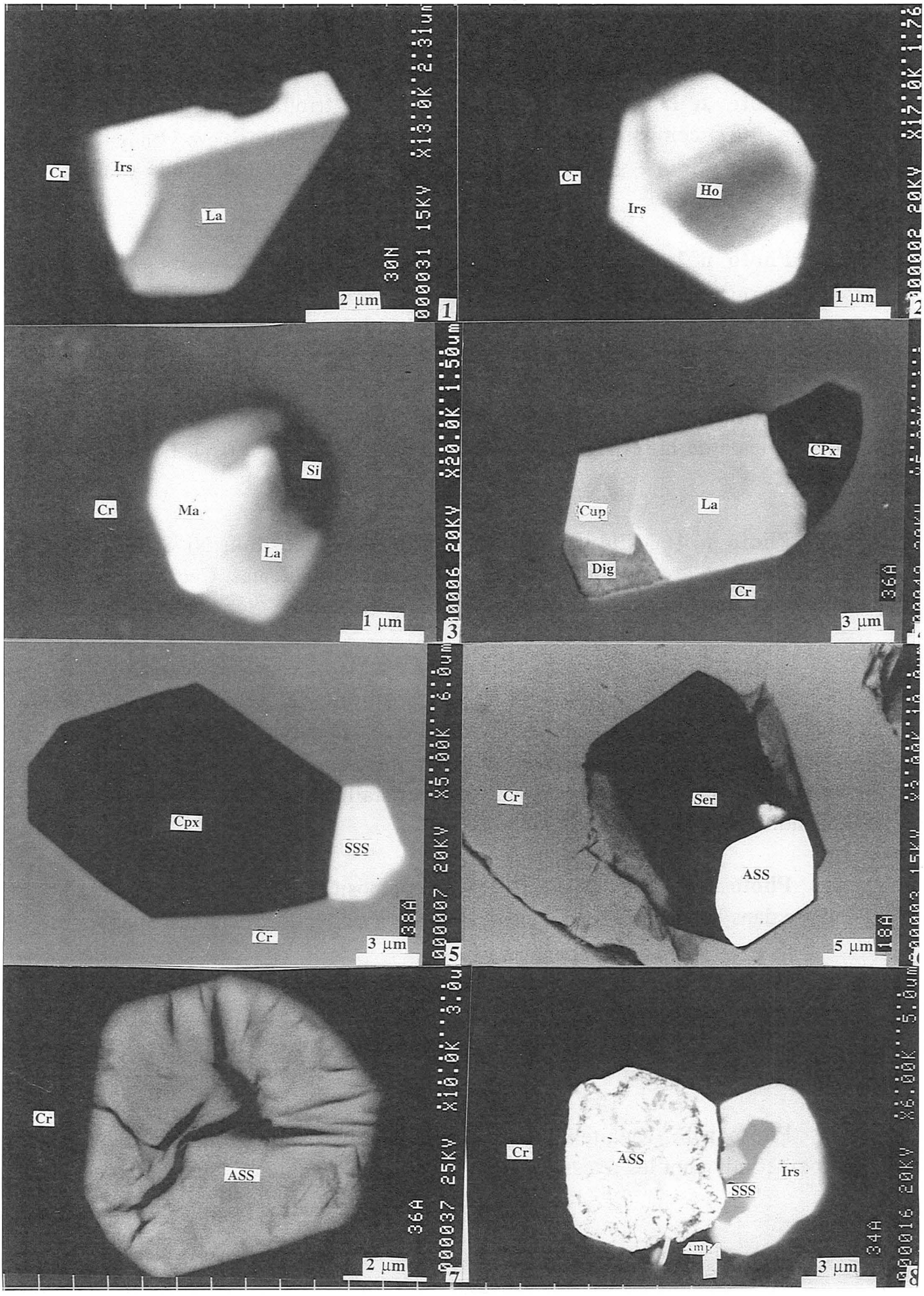


Planche IX

Photo n°1: Assemblage minéralogique triphasé, inclus dans la chromite, (Cr) composé d'une laurite (La) de composition ($Ru_{0,67}$ $Os_{0,18}$ $Ir_{0,12}$ $Rh_{0,02}$ $Fe_{0,01}$) $S_{1,99}$ $As_{0,01}$, d'une digenite (Dig) et d'une amphibole (Amp). Echantillon 33A.

Photo n°2: Laurite (La) de composition ($Ru_{0,68}$ $Os_{0,17}$ $Ir_{0,10}$ $Rh_{0,04}$ $Pt_{0,01}$ $Cu_{0,01}$) $S_{1,97}$ $As_{0,01}$ associée avec une digenite (Dig) et une amphibole (Amp). La digénite de petite taille à côté de la laurite entouré une grande partie cette dernière. Cr = chromite. Echantillon 34A.

Photo n°3: Grains de pentlandite (Pen) de composition ($Fe_{5,91}$ $Ni_{3,09}$) S_8 associés à de la serpentine (Ser) inclus dans la chromite (Cr). Echantillon 24A.

Photo n°4: Millérite (Mil) amiboïde de composition Ni S dans les interstices enre les chromites en association avec des silicates. Ceci indique la démixtion d'une matte sulfurée à partir du liquide silicaté. Ser = serpenine; Cr = chromite. Echantillon 47N.

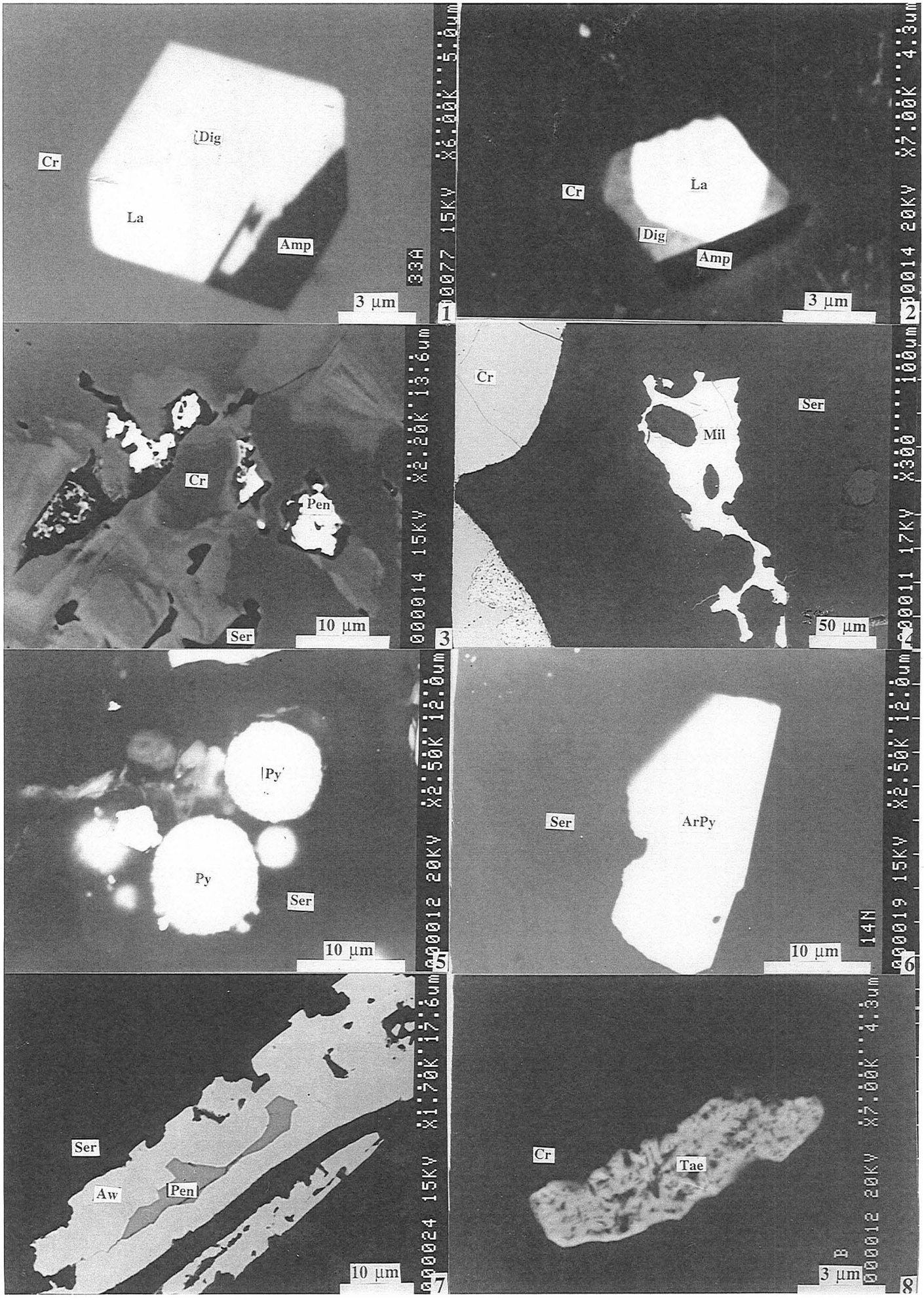
Photo n°5: Pyrites (Py) de composition (Fe $S_{2,04}$) en forme de goutelettes dans la phase interstiielle silicatée; ceci pourait qui temoigne de la séparation d'une matte sulfurée à partir du liquide silicaté. Les pyrites pouraient être tradives et liées à des recristallisations. Ser = serpentine. Echantillon 29N.

Photo n°6: Arsénopyrite (ArPy) de composition [Fe ($As_{0,88}$ $S_{0,12}$) $S_{1,06}$] incluse dans la phase interstiielle silicatée. Ser = serpentine. Echantillon 25A.

Photo n°7: Awaruite (Aw) de composition ($Ni_{0,75}$ $Fe_{0,25}$) et pentlandite (Pen) de composition ($Ni_{4,92}$ $Fe_{3,81}$ $Cu_{0,54}$) S_8 dans la phase silicatée interstitielle, illustrant une transformation du sulfure en alliage. Ser = serpentine. Echantillon 71A.

Photo n°8: Taenite (Tae) de composition (Ni_4 Fe) incluse dans la chromite indiquant les traces d'altérat@ion. Cr = chromite. Echantillon 20N.

Planche IX


Cr
Dig
La
Amp
3 µm
1
Cr
La
Dig
Amp
3 µm
2
Cr
Pen
Ser
10 µm
3
Cr
Ser
Mil
50 µm
4
Py
Py
Ser
10 µm
5
Ser
ArPy
10 µm
6
Ser
Aw
Pen
10 µm
7
Cr
Tae
3 µm
8

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Agiorgitis G. et Wolf R. (1978). Aspects of osmium, ruthenium and iridium contents in some Greek chromites. Chem. Geol., **23**, 262-272

Ahmed Z. (1984). Stratigraphic and textural variations in the chromite composition of the ophiolitic Sakhakot-Qila, Pakistan. Econ. Geol., **79**, 1334-1359

Ahmed Z. et Bevan J. C. (1981). Awaruite, iridian awaruite, and a new Ru-Os-Ir-Ni-Fe alloy from the Sakhakot-Qila complex, Malakand Agency, Pakistan. Miner. Mag., **44**, 225-230

Akasheh B. et Berckhemer H. (1984). Focal Mechanism of earthquakes in Iran with special emphasis on small shocks in the Tehran region. In: Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geol. Surv. Iran, Rapport N° 51, 437-449

Alavi M. (1980). Tectonostratigraphic evolution of the Zagrosides of Iran. Geology, **8**, 144-149

Alavi M. (1990). Geological and tectonic setting of the Robat-Karim Mine. Geol. Surv. Iran, Rapport interne, 24p. (en Persan).

Alavi M. (1991). Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northestern Iran. Geol. Soc. Amer. Bull., **103**, 983-992

Alavi M. (1994). Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics, **229**, 211-238

Anders E. et Grevesse N. (1989). Abundances of the elements: Meteoritic and solar. Geochim. Cosmochim. Acta, **53**, 197-214

Anonymous (1972). Penrose field conference on ophiolites. Geotimes, **17**, 24-25

Arshadi S. et Förster H. (1983). Geological structure and ophiolites of Iranian Makran. In: Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geol. Surv. Iran, Rapport N° 51, 479-488

Arvin M. et Robinson P. T. (1994). The petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft Ophiolitic Melange, southwest of Kerman, Iran. Can. J. Sci., **31**, 824-834

Augé T. (1983). Etude minéralogique et pétrologique des roches basiques et ultrabasiques du complexe ophiolitique du Nord-Oman. Relations avec les chromitites. Comparaison avec deux complexes d'Arabie Saoudite. Thèse 3ème Cycle: Université d'Orléans, 285 p.

Augé T. (1985). Chromite et minéraux du groupe du platine dans les complexes ophiolitiques. Caracterisation des séries hôtes. Thèse d'Etat: Université d'Orléans, 270 p.

Augé T. (1985). Platinum-group mineral inclusions in ophiolitic chromitite from the Vourinos complex, Greece. Can. Mineralog., **23**, 163-171

Augé T. (1986). Platinum-group mineral inclusions in chromitites from the Oman ophiolite. Bull. Miner., **109**, 301-304

Augé T. (1987). Chromite deposits in the northern Oman ophiolite: mineralogical constraints. Miner. Deposita, **21**, 1-10

Augé T. (1988). Platinum-group minerals in the Tiebaghi and Vourinos ophiolitic complexes: genetic implications. Can. Mineralog., **26**, 177-192

Ballhaus C. et Ulmer P. (1995). Platinum-group elements in the Merensky Reef: II. Experimental solubilities of platinum and palladium in $Fe_{1-x}S$ from 950 to 450°C undre controlled fS_2 and fH_2. Geochim. Cosmochim. Acta, **59**, 44881-4888

Barnes S., Naldrett A. J. et Gorton M. P. (1985). The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas. Chem. Geol., **53**, 303-323

Baroz F., Macaudiere J., Montigny R., Noghreyan M., Ohnenstetter M. et Rocci G. (1983). Ophiolites and related formations in the Central part of the Sabzevar range (Iran) and possible geotectonic reconstractions. In: Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geol. Surv. Iran, Rapport N° 51, 205-237

Beaudoin G., Laurent R. et Ohnenstetter D. (1990). First report of platinum-group minerals at Blue Lake, Labrador Trough, Quebec.Can. Mineralog., **28,** 409-418

Berberian M. (1976). On the metamorphic rocks of the Maku quadrangle map; first documented evidence of syntectonic metamorphism of the Caledonian movements in Iran. Geol. Sur. Iran, rapport interne, 3p. (en Persan).

Berberian M. et King G. C. P. (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Can. J. Earth. Sci., **18**, 210-265

Berger E. T. et Vannier M. (1984). Les dunites en enclaves dans les basaltes alcalins des iles océaniques: approche pétrologique. Bull. Miner., **107**, 649-663

Berlincourt L. E., Hummel H. H. et Skinner B. J. (1981). Phases and phase relations of the platinum-group elements. In: Cabri L. J. (Ed.) Platinum-group elements: mineralogy, geology, recovery. Can. Inst. Mining Metall., vol. spéc., **23**, 19-45

Betechtin A. G., Genkin A. D., Filimova A. A. e Schadlun T. N. (1964). Strukturno-Teksturnoye Osobennosti Endogennykh. Rud. Nedra, Moscou (598 S.)

Bird P. (1978). Finite element modelling of lithosphere deformation: the Zagros collision orogeny. Tectonophysics, **50,** 307-336

Boudier F. et Coleman R. G. (1981). Cross section through peridotite in the Semail ophiolite south eastern Oman Mountains. J. Geophys. Res., **86**, 2573-2592

Boudier F. et Nicolas A. (1972). Fusion partielle gabbroïque dans la lherzolite de Lanzo (Alpes piémontaises). Bull. Suisse Minér. Pétrol., **52**, 39-56

Boudier F. et Nicolas A. (1985). Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environment. Earth Planet. Sci. Lett., **76**, 84-92

Boulin J. (1988). Hercynian and cimmerian events in Afghanistan and adjoining regions. Tectonophysics, **148**, 253-278

Boulin J. (1991). Structures in southest Asia and evolution of the eastern Tethys. Tectonophysics, **196**, 211-268

Bowles J. F. W., Atkin D., Lambert J. L. M., Deans T. et Phillips R. (1983). The chemistry, reflectance, and cell size of the erlichmanite (OsS_2)-laurite(RuS_2) series. Miner. Mag., **47**, 465-471

Brown M. (1980). Textural and geochemical evidences for the origin of chromite deposits in the Oman ophiolite. In: Panayiotou A. (Ed.) Ophiolites, Proced. Internat. Ophiolite Symp., 1979 Cyprus: 714-721

Cabri L. J. (1981). the platinum-group minerals In: Cabri L. J. (Ed.) Platinum-group elements: mineralogy, geology, recovery. Can. Inst. Mining Metall., vol. spéc., **23**, 83-150

Cabri L. J., Blank H., El Goresy A., Laflamme J. H. G., Nobiling R., Sizgoric M. B. et Traxel K. (1984). Quantitative trace-element analyses of sulfides from Sudbury and StillWater by proton microprobe. Can. Mineralog., **22**, 521-544

Cabri L. J. et Harris C. D. (1975). Zoning in Os-Ir alloys and the relation of the geological and tectonic environment of the source rocks to the bulk Pt/(Pt+Ir+Os) ratio for placers. Can. Mineralog., **13**, 266-274

Cabri L. J. et Laflamme J. H. G. (1974). Sudburyite, a new palladium-antimony mineral from Sudbury, Ontario. Can. Mineralog., **12**, 275-279

Cabri L. J., Laflamme J. H. G., Bearneg S. et Harris D. C. (1981). Mineralogical study of complex Pt-Fe nuggets from Ethiopia. Bull. Miner., **104**, 508-525

Campbell I. H. et Barnes S. J. (1984). A model for the geochemistry of the platinum-group elements in magmatic sulfide deposits. Can. Mineralog., **22**, 151-160

Campbell I. H., Naldrett A. J. et Barnes S. J. (1983). A model for the origin of the platinum-rich sulfide horizons in the Bushveld and Stillwater complexes. J. Petrol., **24**. 133-160

Capobianco C. J. et Drake M. J. (1990). Partitioning of ruthenium. rhodium, and palladium between spinel and silicate melt and implications for platinum group element fractionation trends. Geochim. Cosmochim. Acta, **54**, 869-874

Cassard D. (1980). Structure et origine des gisements de chromite du Massif du Sud (ophiolite de Nouvelle Calédonie). Guides de prospection. Thèse Doc. 3ème Cycle: Université de Nantes, 152p.

Cassard D., Rabinovitch M., Nicolas A., Moutte J., Leblanc M., et Prinzhofer A. (1981). Structural classification of chromite pods in southern New Caledonia. Econ. Geol., **76**, 805-831

Chakraborty K. L. et Mallik A. K. (1971). Minerealogy, chemical composition and genesis of the chromite deposites of Moulobhanja area, Dheukanal District, Orissa. J. Geol. Soc. India, **12**, 135-141

Chamberlain J. A., McLeod C. R., Traill R. J. et Lachance G. R. (1965). Native metals in the Muskox intrusion. Can. J. Earth Sci., **2**, 188-215

Coghill B. M. et Wilson A. H. (1993). Platinum-group minerals in the Selukwe subchamber, Great Dyke, Zimbabwe: implications for PGE collection mechanisms and post-formational redistribution. Miner. Mag., **57**, 613-633

Constantinides C. C., Kingston G. A. et Fisher P. C. (1979). The occurrence of platinum-group minerals in the chromitites of the Kokkinorotsos chrome mine. Cyprus. In: Panayiotou A. (Ed.) Ophiolites, Proced. Internat. Ophiolite Symp., 1979 Cyprus: 93-101

Corrivaux L. et Laflamme J. H. G. (1990). Minéralogie des éléments du groupe du platine dans les chromitites de l'ophiolite de Thetford Mines, Québec. Can. Mineralog., **28**, 579-595

Crocket J. H., Fleet M. E. et Stone W. E. (1992). Experimental partitioning of osmium, iridium and gold between basalt melt and sulfide liquid at 1300°C. Australian J. Earth Sci., **39**, 427-432

Davies R. G., Jones C. R., Hamzepour B. et Clark G. C. (1972). Geology of the Masuleh sheet, 1:100000, Northwest Iran.Geol. Surv. Iran, Rapport N° 24, 110 p.

Davoudzadeh M., Aghanabati A. et Shahrabi M. (1975). An orogenic phase of Mid-Jurassic age in northeast Iran (Binalud mountain range). In: Proceedings of Tehran Symposium, Geodynamics of SW Asia., Tehran 1975, pub. spéc., 425-427

Davoudzadeh M., Soffel H. et Schmidt K. (1981). On the rotation of the Centra-East-Iran microplate. Neue. Jahrb. Geol. Paläont. Monatsh., **3**, 180-192

Delaloye M. et Desmons J. (1980). Ophilolites and melange terranes in Iran: a geochronological study and its paleotectonic implications. Tectonophysics, **68**, 83-111

Desmons J. (1981). Are Iranian melanges of only tectonic origin? Ofioliti, **6**, 77-86

Desmons J. et Beccaluva L. (1983). Mid-ocean ridge and island-arc affinities in ophiolites from Iran: paleogeographic implications. Chem. Geol., **39**, 39-63

Dick H. J. B. (1974). Terrestrial nickel-iron from the Josephine peridotite, its geologic occurrence, associations, and origin. Earth Planet. Sci. Lett., **24**, 291-298

Dick H. J. B. (1976). The origin and emplacement of the Josephine peridotite of Southwestern Oregon. Thèse Ph.D.: Yale University, 409 p.

Dick H. J. B. (1977). Partial melting in the Josephine peridotite I. the effect on mineral composition and its consequence for geobarometry. Amer. J. Sci. **277**, 768-800

Dick H. J. B. et Sinton J.M. (1979). Compositional layering in alpine peridotite: evidence for pressure solution creep on the mantle. J. Petrol., **87**, 403-416

Dickin A. P., Richardson J. M., Crocket J. H., McNutt R. H. et Peredery V. (1992). Osmium isotope evidence for a crustal origin of platinum-group elements in the Sudbury nickel ore, Ontario, Canada. Geochim. Cosmochim. Acta, **56**, 3531-3537

Dickey J. S. Jr. (1975). A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. Geochim. Cosmochim. Acta, **39**, 1061-1074

Dupuy C., Dostal J. et Leblanc M. (1981). Geochemistry of an ophiolitic complex from New Caledonia. Contrib. Mineral. Petrol., **76**, 77-83

Eckstrand O. R. (1975). The Dumont sepentinite: A model for control of nickeliferous opaque mineral assemblages by alteration reactions in ultramafic rocks. Econ. Geol., **70**, 183-201

Fabriès J. (1979). Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes. Contrib. Mineral. Petrol., **69**, 329-336

Fabriès J. (1984). Utilisation des échanges Fe-Mg géothermométrie. Application aux roches mafiques et ultramafiques. In: Lagache M. (Ed.) Thermométrie et barométrie géologiques: Société Française de Minéral. Cristallo., Paris, 203-233

Falcon N. L. (1974). An outline of the geology of the Iranian Makran. Geophys. J., **140**, 284-291

Farhoudi G. (1978). A comparaision of Zagros geology to island arcs. J. Geol., **86**. 323-334

Farhoudi G. et Karig D. E. (1977). Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. Geology, **5**, 664-668

Feather C. E. (1976). Mineralogy of platinum-group minerals in the Witwatersrand. South Africa. Econ. Geol., **71**, 1399-1428

Fedorova Zh. N. et Sinyakova E. F. (1993). Experimental investigation of physicochemical conditions of pentlandite formation. Russian J. Geol. Geophys., **34**. 79-87

Fischer R. (1950). Entmusschungen in Schmelzen aus Schwermetalloxyden, silikaten und phosphaten, Neue. Jahrb. Miner. Abhand., **81**, 315-364

Fleet M. E., Chryssoulis S. L., Stone W. E. et Weisener G. (1993). Partitioning of platinum-group elements and Au in the Fe-Ni-Cu-S system: experiments on the fractional crystallization of sulfide melt. Contrib. Mineral. Petrol., **115**, 36-44

Fleet M. E., Stone W. E. et Crocket J. H. (1991). Partitioning of palladium, iridium and platinum between sulfide liquid and basalt melt: Effects of melt composition. concentration and oxygen fugacity. Geochim. Cosmochim. Acta. **55**, 2545-2554

Fleet M. E., Tronnes R. G. et Stone W. E. (1991). Partitioning of platinum-group elements in the Fe-O-S system to 11 GPa and their fractionation in the mantle and meteorites. J. Geophys. Res., **96**, 21,949-21,958

Fourrie G. P. (1959). The chromite deposits in the Rustenberg area. Union of South Africa Bull., **27**, 1-45

Gansser A. (1974). The ophiolitic melanges, a world-wide problem on Tethyan examples. Eclogae Geol. Helv., **67**, 479-507

Genkin A. D., Zhuravlev N. N., Troneva N. V. et Muraveva I. V. (1966). Irarsite, a new sulfarsenide of iridium, ruthenium and platinum. Zap Vses Miner Obshch. **95**, 700-712 (en Russe)

Giesse P., Markris J., Akashe B., Röwer P., Letz H. et Mostaanpour M. (1983). Seismic crustal studies in southern Iran between the cenral Iran and the Zagros belt. Geol. Surv. Iran, Rapport N° 51, 71-84

Gijbels R., Millard H.T., Desborough G. A. et Bartel A. J. (1974). Osmium, ruthenium, iridium and uranium in silicates and chromite from the eastern Bushveld Complex, South Africa. Geochim. Cosmochim. Acta, **38**, 319-337

Glennie K. W., Boeuf M. G. A., Hughes Clarke M.W., Moody-Stuart M., Pilaar W. F. H. et Reinhardt B. M. (1973). Late Cretaceous nappes in Oman Mountains and their geologic evolution. AAPG. Bull., **57**, 5-27

Greenbaum D. (1977). The chromitiferous rocks of the Troodos ophiolite complex, Cyprus. Econ. Geol., **72**, 1175-1194

Groeneveld Meijer W. O. J. (1954). The geochemistry of the platinum metals with respect to their occurrence in nickeliferous sulfide deposits. Thèse Ph.D. : Queen's University, 407 p.

Gunn A. G. (1989). Drainage and overburden geochemistry in exploration for platinum-group element mineralisation in the Unst ophiolite, Shetland, UK. J. Geochem. Explor., **31**, 209-236

Haggerty S. E. (1976). Opaque mineral oxides in trresterial igneous rocks. In: Rumble D III (Ed.) Oxides Mineral, Short Course Notes, Miner. Soc. Amer., 3. Hg-101-Hg-300

Harkins M. E., Green H. W., et Moores E. H. (1980). Multiple intrusive events documented from the Vourinos ophiolite complex, northern Greece. Amer. J. Sci., **280**, 284-295

Harris D. C. et Cabri L. J. (1973). The nomenclature of the natural alloys of osmium, iridium and ruthenium based on new compositional data of alloys from world-wide occurrences. Can. Mineralog., **12**, 104-112

Harris D. C. et Cabri L. J. (1991). Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision. Can. Mineralog., **29**, 231-237

Hassanipak A. A., Ghazi A. M. et Wampler J. M. (1996). Rare earth element characteristics and K-Ar ages of the Band Ziarat ophiolite complex, southeastern Iran. Can. J. Earth Sci., **33**, 1534-1542

Haynes S. J. et McQuillan H. (1974). Evolution of the Zagros suture zone, southern Iran. Geol. Soc. Amer. Bull., **85**, 739-744

Haynes S. J. et Reynolds P. H. (1980). Early development of Tethys and Jurassic ophiolite displacement. Nature, **283**, 561-563

Hey M. H. (1954). A new review of the chlorite. Miner. Mag. **30**. 277-292

Hiemstra S. A. (1979). The role of collectors in the formation of the platinum deposits in the Bushveld Complex. Can. Mineralog., **17**, 469-482

Hill R. E. T. (1984). Experimental study of phase relations at 600 °C in a portion of the Ni-Fe-Cu-S system and its application to natural sulfide assemblages. In: Buchanan D. L. and Jones M. J. (Eds.) Sulfide deposits in mafic and ultramafic rocks. Inst. of Mining and Metallurgy: London (Special Publication), 14-21

Holloway J. R. (1973). The system pargasite-H2O-CO2: a model for melting of a hydrous mineral with a mixed-volatile fluid. I. Experimental results to 8 Kbar. Geochim. Cosmochim. Acta, **37**, 651-666

Hopson C. A., Coleman R. G., Gregory R. I., Pallister J. S. et Bailey E. H. (1981). Geologic section through the Samail ophiolite and associated rocks along a Muscat-Ibra transect. Southeastern Oman Mountains. J. Geophys. Res., **86**, 2527-2544

Irvine T. N. (1967). Chromium spinel as a petrogenetic indicator part 2-petrologic application. Can. J. Earth Sci., **4**, 71-103

Irvine T. N. (1977). Origin of chromite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions; a new interpretation. Geology, **5**, 273-277.

Irvine T. N., Keith D. W. et Todd S. G. (1983). The J-M Platinum-Palladium Reef of Stillwater Complex, Montana, II: Origin by double-diffusive convective magma mixing and implications for the Bushveld cComplex. Econ. Geol. **78,** 1287-1334

Jan Q.M., Windley B. F. et Khan A. (1985). The waziristan ophiolite, Pakistan: General geology and chemistry of chromite and associated phases. Econ. Geol., **80**. 294-306

Johan Z. (1980). Genèse des gisements de chromite dans les complexes ophiolitiques. Rés. Sci. Techn. du BRGM, SGN, 79-80

Johan Z. (1986). Chromite deposites in the massif du Sud ophiolite, New Caledonia: genetic consideration. In: Chromites UNESCO'S. IGCP-197 Project: Metallogeny of Opiolites, Theophrastus Publ. S. A., Athens, 311-339

Johan Z., Dunlop H. M., Le Bel L., Robert J. L. et Volfinger M. (1983). Origin of chromite deposits in ophiolitic complexes: evidence for a volatile and sodium-rich reducing fluid phase. Fortschr. Miner., **61**, 105-107

Johan Z. et Le Bel L. (1978). Sur la genèse des couches et podes de chromite dans les complexes ophiolitiques. Rés. Sci. Techn. du BRGM, SGN, 96-99

Johan Z., Le Bel L. et Geogiou E. (1982). Environnement pétrologique des gisements de chromite du complexe ophiolitique du Troodos, Chypre. Rapport BRGM, 65p.

Johan Z., Ohnenstetter M. (1989). Comprehensive model for genesis of chromite deposits within ophiolitic upper mantle. In: CGI, Washington D. C.

Johan Z., Ohnenstetter M., Fischer W. et Amossé J. (1990). Platinum-group minerals from the Durance River Alluvium, France. Miner. Petrol., **42**, 287-306

Johan Z., Ohnenstetter M., Slansky E., Barron L.M., Suppel D. (1989). Platium mineralization in the Alaskan-type Intrusive near Fifield, New South Wales, Australia. Part 1. Platinum-group minerals in clinopyroxenites of the Kelvin Grove Prospect, Owendale Intrusion. Mineral. Petrol., **40**, 289-309

Johan Z., Slansky E., Ohnenstetter M. (1991). Isoferroplatinum nuggets from Milverton (Fifield, N.S.W., Australia): a contribution to the origin of PGE mineralization in Alaskan-type complexes. C.R. Acad.Sci. Paris, 312, Sér. II, 55-60

Johan Z. et Watkinson D. H. (1987). Phase fluide riche en Na-Cl-H-O-N et son rôle dans la concentration des éléments de platine et de la chromite: "Upper Critical Zone", complexe de Bushveld. In: Guides de prospection pour les gisements de platinoïdes dans les complexes ophiolitiques et stratifiés. CCE, Rapport final, 61-85

Johanessen G. M. (1992). Mineralogy of platinum-group elements in the Caledonian Leka ophiolite complexe. DEA: Université de Bergen, 54p.

Jung D., Kursten M. et Tarkian M. (1976). Post-Mesozoic volcanism in Iran and its relation to the subduction of the Afro-Arabian under the Eurasian plate. In: Pilger A. et Rosler A. (Eds) Afar between continental and oceanic rifting, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung: Stuttgart, 175-181

Karaj N. (1992). Répartition des platinoïdes, chromites et sulfures dans le massif de Bulqiza, Albanie. Incidence sur les processus métallogéniques dans les ophiolites. Thèse: Université d'Orléans, 364 p.

Karup-Moller S. et Makovicky E. (1995). The phase system Fe-Ni--S at 725°C. Neue. Jahrb. Miner. Monatsh., **1**, 1-10

Keith M. L. (1954). The system MgO-Cr2O3-SiO2. J. Amer. Ceram. Soc., **37**, 490-496

Kelemen P. B., Dick H. J. B. et Quick J. E. (1992). Formation of harzburgite by pervasive melt/rock reaction in the upper mantle. Nature **358,** 635-641

Kinloch E. D. et Peyerl W. (1990). Platinum-group minerals in various rock types of the Merensky Reef: genetic implications. Econ. Geol., **85**, 537-555

Knipper A., Ricou L. E. et Dercourt J. (1986). Ophiolites as indicators of the geodynamic evolution of the Tethyan ocean. Tectonophysics, **123**, 213-240

Kostopoulos D. (1991). Melting of the shallow upper mantle. J. Petrol., **32,** 671-699

Kullerud G. (1963). Thermal stability of pentlandite. Can. Mineralog., **7**, 353-366

Kullerud G. et Yoeder H.S. (1959). Pyrite stability relations in Fe-S system. Econ. Geol., **54**, 533-572

Lago B. L., Rabinowicz M. et Nicolas A. (1982). Podiform chromite ore bodies: a genetic model. J. Petrol., **23**, 103-125

Lambert D. D., Morgan J. W., Walker R. J., Shirey S. B., Carlson R. W., Zientek M. L. et Koski M. S. (1989). Re-Os and Sm-Nd isotope systematics of the Stillwater Complex. Science, **244**, 1169-1174

Lanphere M. A. (1981). K-Ar age of metamorphic rocks at the base of the Samail ophiolite, Oman. J. Geophys. Res., **86**, 2777-2782

Lanphere M. A. et Pamic J. (1983). ^{40}Ar ^{39}Ar ages and tectonic setting of ophiloites from the Neyriz area, soutest Zagros, Iran. Tectonophysics, **96**, 245-256

Leake B. E. (1978). Nomenclature of amphibolites. Can. Mineralog., **16**, 501-520

Leblanc M. (1978). Pétrographie et géochimie des chromites de Nouvelle Calédonie: essai sur l'évolution des péridotites et la genèse des corps chromifères. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 287, sér. D, 771-774

Leblanc M.,Ceuleneer G., Al Azri H. et Jedwab J. (1991). Concentration hydrothermal de palladium et de platine dans les péridotites mantellaires du complexe ophiolitique d'Oman. C. R. Acad. Sci., Paris, 312, sér. II, 1007-1012

Leblanc M. et Nicolas A. (1992). Les chromitites ophiolitiques. Chron. rech. Min., N° 507, 3-25

Legendre O. (1982). Minéralogie et Géochimie des platinoïdes dans les chromitites ophiolitiques. Comparaison avec d'autre types de concentrations en platinoïdes. Thèse Doc. 3ème Cycle: Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI, 171 p.

Legendre O., Augé T., Johan Z. et Ohnenstetter M. (1991). Les minéraux du groupe du platine de la zone Ouest Andriamena (Madagascar). Rapport BRGM R31829, 25p.

Lensch G. et Davoudzadeh M. (1982). Ophiolites in Iran. Neue. Jahrb. Geol. Paläont. Monatsh., **5**, 306-320

Lensch G. Mihm A. et Alavi-Tehrani N. (1979). Major element geochemistry of the ophiolites north of Sabzevar (Iran). Neue. Jahrb. Geol. Paläont. Monatsh., **7**, 415-447

Lensch G. Mihm A. et Alavi-Tehrani N. (1980). The postophiolitic volcanics north of Sabzevar, Iran; geology, petrography and major element geochemistry. Neue. Jahrb. Geol. Paläont. Monatsh., **11**, 686-702

Lensch G. et Schmidt K. (1984). Plate tectonics, orogeny and mineralization in the Iranian fold belts, results and conclusions. Neue. Jahrb. Geol. Paläont. Abhand., **168**. 558-568

Lindenberg H. G., Görler K., Jacobshagen V. et Ibbeken H. (1984). Postpaleozoic stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the soutern Sabzevar zone and the Taknar block (Khorassan, NE Iran). Neue. Jahrb. Geol. Paläont. Abhand., **168**

Lindner M., Leich D. A., Russ G. P., Bazan J. M. et Borg R. J. (1989). Direct determination of the half-life of 187Re. Geochim. Cosmochim. Acta, **53**, 1597-1606

Lorand J.P. et Ceuleneer G. (1989). Silicate and base-metal sulfide inclusions in chromites from the Maqsad area (Oman ophiolite) a model for entrapment. Lithos, **22**. 173-190

Luck J. M. et ALLègre C. J. (1983). ^{187}Re-^{187}Os systematics in meteorites and cosmochemical consequences. Nature, **302**, 130-132

Luck J. M. et ALLègre C. J. (1991). Osmium isotopes in ophiolites. Earth Planet. Sci. Lett., **107**, 406-415

Mackovicky M., Mackovicky E. et Rose-Hansen J. (1986). Experimental studies on the solubility and distribution of platinum-group elements in base-metal sulfides in platinum deposits. In: Gallagher M. J., Ixer R. A., Neary C. R. et Prichard H. M. (Eds.) Metallogeny of basic and ultrabasic rocks, London Inst. Mining et Metallurgy. 415-426

Majidi B. (1978). Etude pétrostructurale de la région de Mashhad (Iran), les problêmes des métamorphites, serpentinites et granitoïdes hercyniens. Thèse: Université Scientifique et Médicale de Grenoble. 277p.

Majidi B. (1981). The ultrabasic lava flows of Mashhad north-east Iran. Geol. Mag.. **118**, 49-58

Majidi B. (1983). The geochemistry of ultrabasic and basic lava flows occurrences in north-east Iran. In: Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geol. Surv. Iran. Rapport N° 51, 463-477

Malpas J. et Strong D. F. (1975). A comparaison of chrome-spinels in ophiolites and mantle diapirs of Newfondland. Geochim. Cosmochim. Acta. **39**, 1045-1060

Mann C.D. et Vita-Finzi C. (1982). Curve interpolation and folded strata. Tectonophysics, **88**, 7-15

Marcantonio F. (1994). The application of rhenium-osmium isotope systematics to crustal and mantle processes. Thèse Ph.D.: Columbia University. 155 p.

Martin C. E. (1989). Re-Os isotopic investigation of the Stillwater Complex. Montana. Earth Planet. Sci. Lett., **93**, 336-344

McChesney J. B. et Muan A. (1960). The system iron-oxide-TiO2-SiO2 in air. J. Amer. Ceram. Soc., **43**, 586-591

McDonald J. A. (1965). Liquide immiscibility as one factor in chromitite seam formation in the Bushveld Igneous Complex. Econ. Geol., **60**, 1674-1685

McElduff B. et Stumpfl E.F. (1989). Geochemistry and mineralogy of platinum-group elements in chromitites from Troodos, Cyprus. Geol. Soc. Finland Bull., **61**. 36-37

McElduff B. et Stumpfl E.F. (1991). The chromite deposits of the Troodos Complex. Cyprus. Evidence for the role of a fluid phase accompaning chromite formation. Miner. Deposita, **26**, 307-318

McLaren C. H. et De Villiers J. P. R. (1982). The platinum-group chemistry and mineralogy of the UG2 chromitite layer of the Bushveld complex. Econ. Geol., **77**, 1348-1366

Melcher F, Grum W., Simon G., Thalhammer T. V. et Stumpfl E. F. (1997). Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kemirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite. J. Petrol., **38,** 1419-1458

Mertie J. B. Jr. (1969). Economic geology of the platinum metals. U.S. Geol. Survey., Prof. Pap., 630, 120 p.

Misra K. C. et Fleet M. E. (1973). The chemical compositions of synthetic and natural pentlandite assemblages. Econ. Geol., **77**, 1348-1366

Moore F. et Rajabzadeh M. A. (1993). First report on platinum-group minerals in chromitites from Northwestern Neyriz ophiolite, Iran. J. Sci. I.R. Iran, **4**, 47-54

Moores E. M. (1969). Petrology and structure of the Vourinos ophiolitic complex of northern Greece. Geol. Soc. Amer., numero spéc., **118**, 74 p.

Morgan J. W. et Walker R. J. (1989). Isotopic determinations of rhenium and osmium in meteorites by using fusion, distallation and ion-exchange separations. Analy. Chem., **222**, 291-300

Morimoto N. (1988). Nomenclature of pyroxenes. Miner. Mag., **52**, 535-550

Moutte J. (1982). Chromite deposits of the Tiebaghi ultramafic massif, New Caledonia. Econ. Geol., **77**, 576-591

Murck B. W. et Campbell J. H. (1986). The effects of temperature, oxygen fugacity and melt composition on the behaviour of chromium in basic and ultrabasic melts. Geochim. Cosmochim. Acta, **50**, 1871-1887

Mysen B. O. et Kushiro I. (1977). Compositional variation of coexisting phases with degrees of melting of peridotite in the upper mantle. Amer. Mineralog., **62**. 843-865

Nabavi M H. (1976). La géologie d'Iran. Geol. Sur. Iran Publication, (en Persan).

Naldrett A. J. et Cabri L. J. (1976). Ultramafic and related mafic rocks: their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and platinum-group elements. Econ. Geol., **71**, 1131-1158

Naldrett A. J. et Duke J. M. (1980). Platinum metals in magmatic sulfide ores. Science, **208**, 1417-1428

Naldrett A. J., Hoffman E. L., Green A. H., Chou C. L. et Naildrett S. R. (1979). The composition of Ni-Sulfide ores, with particular reference to their content of PGE and Au. Can. Mineralog., **17**, 403-415

Naldrett A. J. et Lehmann J. (1988). Spinel non-stoichiometry as the explanation for Ni-, Cu-, and PGE-enriched sulfides in chromitites. In: Prichard H. M., Potts P. J., Bowles J. F. W. et Gribb S. J. (Eds.) Geo-Platinum 87, Elsevier, London: 93-110

Naldrett A. J. et Lehmann J., Augé T. (1989). Reactions between non-stoichiometric chromite and sulfide as the explanation for Ni, Cu and PGE-enriched sulfides: Examples from layered intrusions and ophiolites: magmatic Sulfide Conf., 5th, Harare, Zimbabwe Proc.

Naldrett A. J. et Von Gruenewaldt G. (1989). Association of platinum-group elements with chromitite in layered intrusions and ophiolite complexes. Econ. Geol., **84**, 180-187

Neziraj A. (1992). Etude pétrologique et métallogénique du massif ophiolitique de Tropoja, Albanie. Réféence particulière aux gisements de chromite et éléments du groupe du platine. Thèse: Université d'Orléans, 510 p.

Nicolas A. (1986). A melt extraction model based on structural studies in mantle peridotites. J. Petrol., **27**, 999-1022

Nicolas A. (1989). Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Kluwer Academic Publishers: London, 367 p.

Nilsson L. P. (1989). Platinum-group mineral inclusions in ophiolitic chromite from the Osthammeren tectonite body, Norway. Geol. Soc. Finland Bull., **61**, 42

Nixon T. G. (1990). Geology and precious metal potential of mafic-ultramafic rocks in British Columbia: current progress. In: Geological Fieldwork 1989,B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Pap. 1990-1, 353-358

Nixon T. G., Cabri L. J. et Laflamme J. H. G. (1990). Platinum-group-element mineralization in lode and placer deposits associated with the Tulameen Alaskan-type complex, British Columbia. Can. Mineralog., **28**, 503-535

Noghreyan M.K. (1982). Evolution géochimique, minéralogique et structurale d'un édifice ophiolitique singulier: le massif de Sabzevar (partie centrale) NE de l'Iran. Thèse Sci.: Université Nancy I, 239p.

Nowroozi A.A. (1971). Seismotectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus and Hindu-Kush regions: seismolog. Soc. Amer. Bull., 61, 317-341

Obradovic' I. J. (1986). On the chemistry of chromites from Brezovica, Sara Mountain, Yugoslavia. In: Petrascheck W., Kravchenko G.G., Economou (Eds). Chromites, Unesco's IGCP- 197 project: metallogeny of ophiolites. Theophrastus Publ. S. A., Athens, 91-105.

Ohanian T. (1982). The Birjand ophiolites and their importance in evaluating the stages of structural evolution of Eastern Iran. Thèse: Université de Saarbrüken

Ohanian T. (1983). The Birjand ophiolite an interacontinental transform structure. eastern Iran. In: Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geol. Surv. Iran, Rapport N° 51, 463-477

Ohnenstetter M. (1980). Sur la signification des sutures ophiolitiques en fonction de leurs caractères structuraux. C. R. Acad. Sci., Paris, 291, sér. D, 741-744

Ohnenstetter M. (1983). The role of possible transverse faults in the development of the Sabzevar ophiolite, North-Est Iran, with special reference to magma chamber tectonics. Sci. Géol. Bull., **36,1**, 73-90

Ohnenstetter M. (1984). Les gisements de chromites du Sud de l'Oman. Classification structurale et pétrographique. Rapport BRGM, 85, SGN 0288-GIS

Ohnenstetter M. (1992). Platinum group element enrichment in the upper mantle peridotites of the Monte Maggiore ophiolite massif (Corsica, France): mineralogical evidence for ore-fluid metasomatism. Miner. Petrol., **46**, 85-107

Ohnenstetter M. (1996). Diversity of PGE deposits in basic-ultrabasic intrusives-single model of formation. In: Demaiffe D. (Ed) Petrology and Geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts. 337-354, Université libre de Bruxelles.

Ohnenstetter M., Karaj N., Neziraj A., Johan Z. et çina A. (1991). Le potentiel platinifère des ophiolites: minéralisation en éléments du groupe du platine (EGP) dans les massifs de Tropoja et Bulqiza, Albanie. C. R. Acad. Sci. Paris, 313, sér. II, 201-208

Ohnenstetter D., Watkinson D. H., Jones P. C. et Talkington R. (1986). Cryptic compositional variation in laurite and enclosing chromite from the Bird River Sill, Manitoba. Econ. Geol., **81**, 1159-1168

Orberger B., Friedrich G. et Woermann E. (1987). Platinum-group mineralization in the ultramafic sequence of the Acoje ophiolite bloc, Zambales, Philippines. In: Prichard H. M., Potts P. J., Bowles J. W. F. et Gribb S. J. (Eds.) Geo-Platinum 87, Elsevier: London 361-380

Orberger B., Lorand P. J., Girardeau J., Mercier J. C. C. et Pitragool S. (1995). Petrogenesis of ultramafic rocks and associated chromitites in the Nan Uttaradit, Northern Thailand. Lithos, **35,** 153-182

Oshin I. O. et Crocket J. H. (1982). Noble metals in Thetford Mines ophiolites, Quebec, Canada. Part I: Distribution of gold, iridium, platinum and palladium in the ultramafic and gabbroic rocks. Econ. Geol., **77**, 1556-1570

Page N. J., Aruscavage P. J. et Haffty J. (1983). Platinum-group elements in rocks from the Voikar-Syninsky ophiolite complex, Polar Urals, USSR. Miner. Deposita, **18**, 443-455

Page N. J., Engin T., Singer D. A. et Haffty J. (1979). Palladium, platinum and rhodium concentrations in mafic and ultramafic rocks from the Kizildag and Guleman

areas, Turkey, and the Faryab and EsfandagheAbdash areas, Iran. U.S. Geol. Surv., open file, Rapport 79-340, 15 p.

Page N.J., Pallister J. S., Brown M. A., Smewing J. D. et Haffty J. (1982). Palladium, platinum, rhodium, iridium and ruthenium in chromite-rich rocks from the Samail ophiolite, Oman. Can. Mineralog., **20**, 537-548

Page N. J., Engin T., Singer D. A. et Haffty J. (1984). Distribution of platinum-group elements in the Bati Kef chromite deposits, Guleman-Elazig area, Eastern Turkey. Econ. Geol., **79**, 177-184

Page N. J. et Talkington R. W. (1984). Palladium, platinum, rhodium, ruthenium and iridium in peridotites and chromites from ophiolite complexes in Newfoundland. Can. Mineralog., **22**, 137-149

Paktunc A. D., Hulbert L. J. et Harris D. C. (1990). Partitioning of the platinum-group and other trace elements in sulfides from the Bushveld complex and Canadian occurrences of Nickel-Copper sulfides. Can. Mineralog., **28**, 475-488

Pamic J. et Adib D. (1982). High-grade amphibolites and granulites at the base of the Neyriz perdotites in southeastern Iran. Neue. Jahrb. Miner. Abhand., **143**, 113-121

Pamic J., Sestini G. et Adib D. (1979). Alpine magmatic and metamorphic processes and plate tectonics in the Zagros range, Iran. Geol. Soc. Amer. Bull., **90**, 569-576

Panayiotou A. (1978). The mineralogy and chemistry of the podiform chromite deposits in the serpentinites of the Limassol Forest, Cyprus. Miner. Deposita., **13**, 259-274

Panayiotou A. (1980). Cu-Ni-Co-Fe sulfide mineralization, Limassol Forest, Cyprus. In: Panayiotou A. (Ed.) Ophiolites, Proceedings Internat. Ophiolite Symp., Cyprus 1979. Geol. Surv. Dept.,Cyprus, 102-116

Panayiotou A., Michaelides A. E. et Georgiou E. (1986). The chromite deposits of the Troodos ophiolite complex, Cyprus. In: Petrascheck W., Kravchenko G.G., Economou (Eds), Chromites, Unesco's IGCP- 197 project: metallogeny of ophiolites. Theophrastus Publ. S. A., Athens, 161-198.

Park C. E. et McDiarmid R. A. (1975). Ore deposits. 3rd. Freeman and Co.: San Francisco, 224-231

Pattou L., Lorand J. P. et Gros M; (1996). Non-chondritic platinum-group element ratios in the earth's mantle. Nature, **379**, 712-715

Pavlov N. V., Grigoryeva I. I. et Tsepin (1977). Chromite nodules as indicator of liquation of a magmatic melt. Internat. Geol. Rev., 19,1, 43-56

Peregoedova A. V. (1997). Etude experimentale de la cristallisation des minéraux des éléments du groupe du platine à partir d'un liquide sulfure dans la plan Me_9S_8 du système Cu-Fe-Ni-S. Thèse de l'université de Novosibirsk (en Russe)

Peregoedova A. V., Fedorova Zh. N. et Sinyakova E. F. (1995). Physicochemical conditions of the pentlandite formation in Cu-bearing sulfide paragenesis (according to experimental data). Russian Geol. Geophys., **36**, 91-98

Peters J. et Kramers J. D. (1974). Chromite deposits in the ophiolite complexe of Northern Oman. Miner. Deposita., **3**, 253-260

Picot P. et Johan Z. (1977). Atlas des minéraux métalliques. Mém. BRGM, 90, 430 p.

Poldervaart A. et Hess H. H. (1951). Nomenclature of clinopyroxenes in the system CaMgSi2O6-CaFeSi2O6-Mg2Si2O6-Fe2Si2O6. J. Geol., **59**, 472-476

PouchouJ. L. et Pichoir F. (1984). Un nouveau modèle de calcul pour la microanalyse quantitative par spectrométrie de rayons X. Partie I: application à l'analyse des échantillons homogènes. Rech. Aérosp., **3**, 167-192

PouchouJ. L. et Pichoir F. (1991). Quantiative analysis of homogeneous or stratified microvolumes applying the model "PAP". In: Heinrich K. F. J. et Newbury D. E. (Eds.) Electron Probe Quantitation. Plenum Press, New York: 31-75

Prichard M. H. et Lord R. A. (1988). The Shetland ophiolite: evidence for a supra-subduction zone origin and implications for plainum-group element mineralization. In: Prichard H. M., Potts P. J., Bowles J. W. F. et Gribb S. J. (Eds.) Geo-Platinum 87. Elsevier: London 161

Prichard M. H., Lord R. A. et Neary C. R. (1996). A model to explain the occurrence of platinum- and palladium-rich ophiolite complexes. J. Geol. Soc. London, **153**, 323-328

Prichard H. M., Neary C. R. et Potss P. J. (1986). Platinum-groupe minerals in the Shetland ophiolite. In: Gallagher M. J., Ixer R. A., Neary C. R. et Prichard H. M. (Eds.) Inst. Mining Metall.: London, 395-414

Prichard H. M., Potts P. J. et Neary C. R. (1981). Platinum-group element minerals in the Unst chromite, Shetland Isles. Trans. Inst. Mining Metall., **90**, B186-B188

Prinzhofer A. (1981). Structure et pétrologie d'un cortège ophiolitique: le Massif du Sud (Nouvelle Calédonie). Thèse Doc. Ing.: E.N.S.M., Paris, 185 p.

Quick J. E. (1981). The origin and significance of large, tabular dunite bodies in the Trinity peridotite, northern California. Contrib. Mineral. Petrol., **78**, 413-422

Rahgoshay M. et Juteau T. (1980). Chromite from the ophiolitic massif of Pozanti-Karasanti Cilician Taurus, Turkey. New observations about their structural setting and geochemistry. UNESCO Internat. Symp. on Metallogeny of mafic and ultramafic complexes, Athens, 1, 114-126

Ramdohr P. (1969). The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press: Oxford, 1174 p.

Ricou L. E. (1968). Une coupe à travers les séries à radiolarites des monts Pichakun (Zagros, Iran). Bull. Soc. géol. Fr., sér., 7,10, 478-48

Ricou L. E. (1970). Comments on radiolarite and ophiolite nappes in Iranian Zagros Mountains. Geol. Mag., **107**, 479-480

Ricou L. E. (1971). Le métamorphisme au contact des péridotites de Neyriz (Zagros interne, Iran): développement de skarns à pyroxène. Bull. Soc. Géol. Fr., 7,13, 146-155

Ricou L. E. (1973). Relation entre stades paléogéographiques et phases tectoniques sur l'exemple des Zagrides. Bull. Soc. Géol. Fr., 7,15, 612-623

Ricou L. E. (1974). L'évolution géologique de la région de Neyriz (zagros Iranien) et l'évolution structurale des Zagrides. Thèse d'Etat: Université d'Orsay. 321p.

Ricou L. E. (1976). Evolution structurale des Zagrides. La région clef de Neyriz (Zagros iranien). Mém. Soc. Géol. Fr., Nouv. Série, 55 (125), 140p.

Ricou L. E., Braud J. et Brunn J. H. (1977). Le Zagros. Mém. Hors Sér. Soc. Géol. Fr., **8**, 33-52

Roberts S. (1988). Ophiolitic chromitite formation: a marginal basin phenomenon. Econ. Geol., **83,** 1034-1036

Rocci G., Ohnenstetter D. et Ohnenstetter M. (1975). The duality of Tethyan ophiolites. Petrology, **1**, 172-174

Roeder P. L., Campbell I. H. et Jamieson H. E. (1979). A re-evaluation of the olivine-spinel geothermometer. Contrib. Mineral. Petrol., **68**, 325-334

Roeder P. L. et Edgar A.D. (1970). Olivine-liquid equilibrium. Contrib. Mineral. Petrol., **29**, 275-282

Roeder P. L. et Reynolds I. (1991). Crystallization of chromite and chromium solubility in basaltic melts. J. Petrol., **32,** 909-934

Ross J. V., Ave Lallemant H. G. et Carter N. L. (1980). Stress dependence of recrystallized-grain and subgrain size in olivine. Tectonophysics, **70**, 39-61

Routhier P. (1963). Les gisements métallifères. In: Masson (Ed) Géologie et Principes de recherche. 867 p.

Roy R. (1960). Metastable liquid immiscibility and subsolidus nucleation. J. Amer. Ceram. Soc., **43**, 670-671

Sabzehei M. (1974). Les mélanges ophiolitiques de la région d'Esfandagheh. thèse d'Etat: Université de Grenoble. 306p.

Sack P. O. (1982). Spinels as petrogenetic indicators: activity-composition relations at low pressures. Contrib. Mineral. Petrol., **79**, 169-186

Sarkari Nejad K. (1985). The geology and tectonic settings of the ophiolites and associated rocks in the Neyriz area, southestern Iran. Thèse Ph. D.: University of Wales. 365p.

Sarkari Nejad K. (1992). Petrology and tectonic setting of the Neyriz ophiolite. southeastern Iran. In: "29th inter. Geol. Congr.", Kyoto, Japon, 24 Août- 3 Septembre 1992, part D, 221-234

Schmidt K. et Soffel H. C. (1984). Mesozoic-Cenozoic geological events in Central-East-Iran and their relation to Paleomagnetic results. Neue. Jahrb. Geol. Paläont. Abhand., **168**

Snetsinger K. G. (1971). Erlichmanite a new mineral. Amer. Mineralog., **56**, 1501-1506

Snetsinger K. G. (1973). Chromium aluminium magnetite and two rhodium alloys in a platinum nugget from Goodnews Bay, Alaska. Amer. Mineralog., **58**, 189-194

Stevens R. E. (1944). Composition of some chromites of the Western hemisphere. Amer. Mineralog., 29, 1-34

Stöcklin J. (1968). Structural history and tectonics of Iran; a review. AAPG. Bull., **52**. 1229-1258

Stöcklin J. (1974). Possible ancient continental margins in Iran. In: Bruk C. A. et Darke C. L (Eds), In the geology of continental margins, Springer: New York, 873-887

Stöcklin J. (1977). Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia. Mém. Soc. Géol. Fr., **8**, 333-353

Stockman H. W. et Hlava P. F. (1984). Platinum-group minerals in alpine chromitites from south-western Oregon. Econ. Geol., **79**, 491-508

Stoneley R (1974). The evolution of the continental margin bounding a former southern Tethys. In: Bruk C. A. et Darke C. L (Eds), In the geology of continental margins, Springer: New York, 889-903

Stoneley R (1975). On the origin of ophiolite complexes in the southern Tethys region. Tectonophysics, **25**, 303-322

Streckeisen A. (1973). Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS subcommission on the systematic of igneous rocks. Geotechnique, **18**, 26-30

Streckeisen A. (1976). To each plutonic rock its proper name. Earth Sci. Rev., **12**, 1-33

Stumpfl E. F. et Clark A. M. (1965). Hollinworthite, a new rhodium mineral. identified by electron probe micro-analysis. Amer. Mineralog., **50**, 1068-1074

Stumpfl E. F. et Tarkian M. (1976). Platinum genesis: new mineralogical evidence. Econ. Geol., **71**, 1451-1460

Takin M. (1972). Iranian geology and continental drift in the Middle-East. Nature. **235**, 147-150

Talkington W. R. et Lipin B. R. (1986). Platinum-group minerals in chromite seams of the Stillwater Complex, Montana. Econ. Geol., **81**, 1179-1186

Talkington W. R. et Watkinson H. D. (1986). Whole rock platinum-group element trends in chromite-rich rocks in ophiolitic and stratiform igneous complexe. In: Gallagher M. J., Ixer R. A., Neary C. R. et Prichard H. M. (Eds.) Inst. Mining Metall.: London, 427-440

Talkington W. R., Watkinson H. D., Whittaker P. J. et Jones P. C. (1983). Platinum-group-mineral inclusions in chromite from the Bird River Sill. Manitoba. Miner. Deposita, **18**, 245-255

Talkington W. R., Watkinson H. D., Whittaker P. J. et Jones P. C. (1984). Platinum-group minerals and other solid inclusions in chromite of ophiolite complexes: occurrence and petrological significance. Tsch. Min. Petr. Mitt., **32**, 285-301

Tanguay S., Hebert R. et Bergeron M. (1990). Distribution of PGE in pyroxene-bearing ultramafic cumulates in the Thetford Mines ophiolitic complex, Quebec. Can. Mineralog., **28**, 597-605

Tarkian M. (1987). Compositional variations and reflectance of common platinum-group minerals. Miner. Petrol., **36**, 169-190

Tarkian M. et Prichard H. M. (1987). Irarsite-hollingxorthite solid-solution series and other associated Ru-,Os-,Ir-, and Rh-bearing PGMS from the Shetland ophiolite complex. Miner. Deposita, **22,** 178-184

Thayer T. P. (1964). Geological features of podiform chromite deposites. In: Woodtli R. (Ed.) Méthodes de prospection de la chromite. OOCDE, Paris, 135-146

Thayer T. P. (1969). Principle features and origin of podiform chromite deposits and some observations on the Guleman- Soridge district, Turkey. Econ. Geol., **59**, 1497-1524

Todd S. G., Keith D. W., Le Roy L. W., Schissel D. J., Mann E. L. et Irvine T. N. ((1982). The J. M. platinum-palladium reef of the Stillwater Complex, Montana. I. Stratigraphy and petrology. Econ. Geol., **77**, 1454-1480

Vermaak C. F. et Hendricks L. P. (1976). A review of the mineralogy of the Merensky Reef, with specific reference to new data on the precious metal mineralogy. Econ. Geol., **71**, 1244-1269

Von Gruenewaldt G., Dicks D., Wet J. et Horsch H. (1990). PGE mineralization in the Western sector of the Eastern Bushveld complex. Miner. Petrol., **42,** 71-85

Wasson J. T. et Kallemeyn G. W. (1988). Compositions of chondrites. Phil. Trans. R. Soc. London A325, 535-544

Watkinson D. H. (1990). Platinum-group minerals in Cu-rich sulfides from some North American mafic-ultramafic complexes. 2ème Sym. Modern Mineralogy. Mineral. Soc. Korea, 37-51

Watkinson D. H. et Ohnenstetter D. (1992). Hydrothermal origin of platinum-group mineralization in the Two Duck Lake Intrusion, Coldwell Complex, Northwestern Ontario. Can. Mineralog., **30**, 121-136

Weber-Diefenbach K., Davoudzadeh M., Alavi-Tehrani N. et Lensch G. (1986). Paleozoic ophiolites in Iran. Geology, geochemistry and geodynamic implication. Ofioliti, **11**, 305-338

Westland A. D. (1981). Inorganic chemistry of the platinum-group elements. In: Cabri L. J. (Ed.) Platinum-group elements: mineralogy, geology, recovery. Can. Inst. Mining Metall., vol. spéc., **23**, 5-18

Whittaker P. J. et Watkinson D. H. (1984). Genesis of chromitite from the Mitchell Range, central British Columbia. Can. Mineralog., **22**, 161-172

Wolf R. et Agiorgitis G. (1978). On an unusual platinum element enrichment in chromites from Skyros Island, Greece. Neue. Jahrb. Miner. Monatsh, **1**, 39-41

Annexes

Liste des figures

Chapitre I

Fig. 1.1. Situation géographique des principaux massifs ophiolitiques d'Iran. 14
Fig. 1.2. Position géographique des grandes failles en Iran. 20
Fig. 1.3. Evolution de la chaîne du Zagros au cours des procesus de collision. 23

Chapitre II

Fig. 2.1. Carte géologique simplifiée de la région de Neyriz (Abadeh Tashk). 30
Fig. 2.2. Carte géologique simplifiée de la région d'Assemion. 31
Fig. 2.3. Carte géologique simplifiée de la région de Neyriz. 34
Fig. 2.4. Colonne lithologique de l'ophiolite de Neyriz dans le secteur d'Abadeh Tashk. 35
Fig. 2.5. Projection des pôles des plans de foliation de l'ophiolite de Neyriz. 37
Fig. 2.6. Distribution des éléments mineurs et en traces par rapport à la tenaur en molécule de forstérite dans les olivines des différents faciès lithologiques de Neyriz 44
Fig. 2.7. Répartition des teneurs en Al2O3 et Cr2O3 dans les orthopyroxènes des dunites en lentille et des pyroxénites en filon au sein de la harzburgite de la zone de transition à neyriz. 45
Fig. 2.8. Répartition des oxydes par rapport à la proportion molaire d'enstatite dans les orthopyroxènes des différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz. 46
Fig. 2.9. Projection de la composition des pyroxènes des ultramafites du massif ophiolitique de Neyriz dans le diagramme de Poldervaat et Hess 48
Fig. 2.10. Evolution de la composition des spinelles dans les différents faciès lithologiques du massif ophioliique de Neyriz. 49
Fig. 2.11. Evolution des rapports remarquables du coeur vers la périphérie des spinelles chromifères dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz. 51
Fig. 2.12. Evolution de la teneur en FeO (total) du coeur vers la périphéri des spinelles chromifères dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz. 51
Fig. 2.13. Evolution de la teneur des principaux oxydes en fonction de celle en Cr2O3 dans les spinelles chromifères dans les différents faciès litholoqies du massif ophiolitique de Neyriz. 52
Fig. 2.14. Evolution de la teneur des oxydes du coeur vers la périphérie des spinelles chromifères dans les différents faciès lithologiques du massif ophiolitique de Neyriz. 53
Fig. 2.15. Evolution du rapport XMg dans les olivines et spinelles chromifères

des cumulats de Neyriz. 55

Chapitre III

Fig. 3.1. Répartition des gisements de chromite dans la région de Neyriz. 62
Fig. 3.2. Répartition des gisements de chromite dans la région d'Assemion. 65
Fig. 3.3. Schéma des corps minéralisés dans la région de Neyriz. 67
Fig. 3.4. Schéma d'un corps de chromitite. Le déplacement dans un endroit d'minciement de gisemnt. 69
Fig. 3.5. Minéral de chromite à texture massive Les fractures sont remplies de serpentine. Elles correspondent à des figures d'extension en "pull apart" 70
Fig. 3.6. Distribution des éléments mineurs en fonction de MgO et de Cr2O3 dans les chromites de gisements des massifs d'Assemion et de Neyriz. 76
Fig. 3.7. Composition des chromites des gisements de Neyriz situés à des niveaux différents de la séquence ophiolitique. 78
Fig. 3.8. Composition des chromites des gisements d'Assemion situés à des niveaux différents de la séquence ophiolitique. 79
Fig. 3.9. Evolution du rapport YFe^{3+*} en fonction du rapport XFe^{2+*} dans les différents gisements des massifs d'Assemion et de Neyriz. 81
Fig. 3.10. Variation de la composition des chromites du coeur à la périphérie des gisements de Neyriz. 83
Fig. 3.11. Evoluion de la composition des chromites du coure à la bordure des grains, dans les gisements du manteau à Neyriz. 85
Fig. 3.12. Evoluion de la composition des chromites du coure à la bordure des grains, dans les gisements du manteau à Assemion. 86
Fig. 3.13. Evolution de la composition des chromites dans les différents gisements à Neyriz. Les analyses ont été effectuées au coeur, et en bordure des grains de chromite en passant par un point intermédiaire près des platinoïdes. 88
Fig. 3.14. Evolution de la composition des chromites dans les différents gisements à Assemion. Les analyses ont été effectuées au coeur, et en bordure des grains de chromite en passant par un point intermédiaire près des platinoïdes. 89
Fig. 3.15. Evolution du rapport $100*YFe^{3+*}$ du centre au bord des grains de chromite en passant par un point intermédiaire situé près des platinoïdes dans les chromites des différents gisements du massif de Neyriz. 91
Fig. 3.16. Evolution du rapport $100*YFe^{3+*}$ du centre au bord des grains de chromite en passant par un point intermédiaire situé près des platinoïdes dans les chromites des différents gisements du massif d'Assemion. 92
Fig. 3.17. Evolution de la composition du coeur à la bordure des chromites en fonction de la taille des grains. 93
Fig. 3.18. Distribution des teneurs de CaO, NiO et MnO en fonction du

pourcentage molaire de forstérite dans les olivines des gisements de chromite. 96
Fig. 3.19. Les relations de phases dans le système olivine-chromite-silice montrant le chemin suivi par le liquide au cours du refroidissement ainsi que les phases au liquidus. D'après Irvine (1977). 105
Fig. 3.20. Relations de phases dans le système SiO2-MgO-Cr2O3 à une atmosphère d'après Keith (1956). 106

Chapitre IV

Fig. 4.1. Variation de Ru, Os et Ir en pourcentage cationique dans les laurites et les erlichmanites des chromitites de neyriz et d'Assemion. 116
Fig. 4.2. Variation de Ir en fonction de Os dans les laurites et les erlichmanites des chromitites de Neyriz et d'Assemion en pourcentage cationique. 118
Fig. 4.3. Variation de Ir en fonction de Os dans les laurites et les erlichmanites des chromitites de Neyriz et d'Assemion en pourcentage cationique. 119
Fig. 4.4. Composition des laurites et des erlichmanites d'après la nature de leurs associations minérales au sein des inclusions dans les gisements de Neyriz et d'Assemion dans le triangle Ru, Os, Ir. 121
Fig. 4.5. Variation de Ru, Os, Ir en pourcentage cationique dans les laurites et les erlichmanites de neyriz et d'Assemion dans le triangle Ru, Os, Ir. 122
Fig. 4.6. evolution comparée de la composition des laurites avec celle des chromites hôtes dans les gisements de Neyriz reportés selon leur profondeur par rapport au Moho. 125
Fig. 4.7. evolution comparée de la composition des laurites avec celle des chromites hôtes dans les gisements d'Assemion reportés selon leur profondeur par rapport au Moho. 126
Fig. 4.8. Composition des alliages d'Os, Ir et Ru, inclus dans les chromites des gisements de Neyriz, projectée dans les diagrammes de Harris et Cabri (1973, 1991). 130
Fig. 4.9. Courbes de substitution des principaux métaux de base et métaux nobles, modifié d'après Fedorova (1997). 134
Fig. 4.10. Projection des sulfoarséniures inclus dans les chromites des gisements dans le triangle [Rh-Ir-(Ru+Os)AsS] selon leur position dans le grain de chromite. 137
Fig. 4.11. Projection des sulfures de cuivre et d'éléments du groupe du platine dans le triangle cuproiridsite-mallanite-cuproihodsite. 139
Fig. 4.12. Les teneurs en éléments du groupe du platine dans le réseau des sulfures de métaux de base des chromitites de Neyriz et d'Assemion. 150
Fig. 4.13. Rapport [(∑Ru+Os+Ir)/(∑Pt+Pd+Rh)] dans les différents minéraux porteurs d'EGP. 152
Fig. 4.14. Projection de la composition des pyroxènes inclus dans les chromites

des gisements dans le diagramme de Poldervaat et Hess (1951). 155
Fig. 4.15. Projection de la composition des chlorites incluses dans les chromites des gisements dans le diagramme de Hey (1954). 156
Fig. 4.16. Projection de la composition des amphiboles incluses dans les chromites des gisements dans les diagrammes de Leake (1978). 157

Chapitre V

Fig. 5.1. Répartition des groupes de minéraux d'EGP. 163
Fig. 5.2. Répartition des MGP dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 165
Fig. 5.3. Répartition des surfaces de MGP dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 169
Fig. 5.4. surface moyenne des MGP dans les gisements de chromite du massif de Neyriz et d'Assemion. 170
Fig. 5.5. Pourcentage d'inclusions monophasées et polyphasées porteuses de MGP dans les gisements de chromite de Neyriz et d'Assemion. 172
Fig. 5.6. distribution des principaux groupes de MGP dans les gisements de Neyriz et d'Assemion en fonction de la profondeur. 173
Fig. 5.7. Répartition statistique de la taille des MGP dans les massifs de Neyriz et d'Assemion (A); Proportion d'échanillons renfermant un ou plusieurs MGP dans les gisements de chromite dans deux massifs étudiés. 175
Fig. 5.8. Taille des MGP et des inclusions en fonction de la taille des grains de chromite hôte dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 179
Fig. 5.9. Corrélation entre la taille des MGP et celle des inclusions hôtes dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 181
Fig. 5.10. Relation entre la taille des MGP et la distance du MGP vis à vis de la bordure du grain de chromite hôte dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 182
Fig. 5.11. Relation entre la taille des MGP et le rapport entre la distance du MGP à la bordure et la taille du grain de chromie hôte dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 183
Fig. 5.12. Variation de la composition des laurites et des erlichmanites en fonction de leur position dans le grain de chromite dans les gisements de Neyriz et d'Assemion. 188
Fig. 5.13. Relation entre la nature des inclusions et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Neyriz. 191
Fig. 5.14. Relation entre la nature des inclusions et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Assemion. 192
Fig. 5.15. Relation entre la morphologie des MGP et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Neyriz. 194
Fig. 5.15. Relation entre la morphologie des MGP et leur position vis à vis de la bordure dans la chromite hôte à Assemion. 195

Chapitre VI

Fig. 6.1. Variation des concentrations en EGP et Au dans les chromitites des massifs d'Assemion et de Neyriz. 203
Fig. 6.2. Variation des éléments du groupe du platine sur la somme des six EGP et des rapports IPGE/PPGE, Pd/Ir et Pt/(Pt+Pd) dans les chromitites des massifs d'Assemion et de Neyriz. 205
Fig. 6.3. Patron normalisé aux chondrites d'après Anders et Grevesse (1989) des éléments du groupe du platine dans les chromitites d'Assemion et de Neyriz. 208
Fig. 6.4. Patron normalisé aux chondrites d'après Naldrette et Duke (1980) des éléments du groupe du platine dans les chromitites d'Assemion et de Neyriz. 210
Fig. 6.5. Compositions isotopiques d'osmium de quelques complexes mafiques et ultramafiques par rapport à la variation isotopique d'osmium du manteau. 213

Chapitre VII

Fig. 7.1. Energies libres de Gibbs pour la formation de quelques minéraux du groupe du platine et de l'argent en fonction de la fugacité en soufre et de la température. d'après Westland (1981). 217
Fig. 7.2. Schéma de la minéralisation en chrome et en éléments du groupe du platine dans un massif ophiolitique. 222
Fig. 7.3. Schéma de la cristallisation de chromie dans les différents stades au cours de l'évolution du système minéralisant. 224

Liste des tableaux

Chapitre III

Table. 3.1. Les principales caractérisiques des gisements de Neyriz. 64

Table. 3.2. Les principales caractérisiques des gisements d'Assemion. 66

Table. 3.3. Teneurs moyennes des chromites en éléments mineurs. 75

Table. 3.4. Composition moyenne des olivines interstielles à Neyriz et à Assemion. 94

Table. 3.5. Amplitude de variations des rapports XFe* et XCr* dans les deux massifs étudiés. 100

Chapitre IV

Table. 4.1. Standards, raies d'emission X et cristaux analyseurs utilisés dans les analyses à la microsonde électronique des minéraux du groupe du platine et les minéraux de métaux de base. 112

Chapitre V

Table. 5.1. distribution des minéraux du groupe du platine (MGP) dans les gisements de chromite de Neyriz. 166

Table. 5.2. distribution des minéraux du groupe du platine (MGP) dans les gisements de chromite d'Assemion. 167

Table. 5.3. Distribution des minéraux du groupe du platine selon la texure des chromitites dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 176

Table. 5.4. Distribution des minéraux du groupe du platine dans les chromitites à texture disséminée en fonction du pourcentage de chromite de (0 à 80%) dans les massifs de Neyriz et d'Assemion. 176

Table. 5.5. Surface des MGP observés dans les chromitites selon la texture des minérais. 177

Table. 5.6. Relation entre la surface des MGP et celle des chromitites hôtes. 178

Table. 5.7. Equations et coefficients des corrélations obtenues pour des gisements de Neyriz entre la taille des MGP (Pt)(A1), la taille des inclusions renfermant des MGP (In)(A2) et la distance des inclusions par rapport à la bordure du grain de chromite (D.B.); entre la taille des MGP (Pt) (B), la taille des inclusions renfermant des MGP (In) (B2) et le rapport obtenu entre la distance séparant l'inclusion de la bordure du grain de chromite et la aille du grain de chromite (D.B.)/Sp. 184

Table. 5.8. Equations et coefficients des corrélations obtenues pour des gisements de Neyriz entre la taille des MGP (Pt)(A1), la taille des inclusions renfermant des MGP (In)(A2) et la distance des inclusions par rapport à la bordure du grain de chromite (D.B.); entre la taille des MGP (Pt) (B), la taille

des inclusions renfermant des MGP (In) (B2) et le rapport obtenu entre la distance séparant l'inclusion de la bordure du grain de chromite et la aille du grain de chromite (D.B.)/Sp. 185
Table. 5.9. (A), équations et coefficients obtenus pour des gisements de Neyriz et d'Assemion entre la taille des laurites et erlichmanites et le rapport obtenu entre la distance séparant l'inclusion de la bordure du grain de chromite et la taille du grain de chromite (D.B.)/Sp; (B), équations et coefficients obtenus pour des gisements de Neyriz et d'Assemion entre la taille des laurites et erlichmanites et le rapport (D.B.)/Sp en éliminant les inclusions polyphasées. 197
Table. 5.10. distribution des inclusions de MGP selon leurs types, dans les chromites de Neyriz et d'Assemion. 189

Chapitre VI
Table. 6. 1. propriétés physicochimiques des éléments du groupe du platine d'après Mertie (1969). 199
Table. 6. 2. Concentration en roche totale des éléments du groupe du platine, or et rhenium (enppb) dans les chromitites des massifs de Neyriz et d'assemion. 201
Table. 6. 3. MGP présents dans les échantillons analysés. Les chiffres indiquent le nombre des minéraux observés sous le microscope métallographique. 206
Table. 6. 4. Valeurs isotopiques d'osmium dans les chromities d'Assemion et de Neyriz. 212

N ° d'échan.	Description pétrographique	Localisation géographique	N ° d'échan.	Description pétrographique	Localisation géographique
1	Harzburgite	Profonde	30	Harzburgite	Profonde
2	Harzburgite	Profonde	31	Harzburgite	Profonde
3	Harzburgite	Profonde	32	Harzburgite	Profonde
4	Harzburgite	Profonde	33	Harzburgite	Profonde
5	Harzburgite	Profonde	34	Harzburgite	Profonde
6	Harzburgite	Profonde	35	Harzburgite	Profonde
7	Harzburgite	Profonde	36	Harzburgite	Profonde
8	Harzburgite	Profonde	37	Harzburgite	Profonde
9	Harzburgite	Profonde	38	Harzburgite	Profonde
10	Harzburgite	Profonde	39	Harzburgite	Profonde
11	Harzburgite	Profonde	40	Harzburgite	Profonde
12	Harzburgite	Profonde	41	Harzburgite	Profonde
13	Harzburgite	Profonde	42	Harzburgite	Profonde
14	Harzburgite	Profonde	43	Harzburgite	Profonde
15	Harzburgite	Profonde	44	Harzburgite	Profonde
16	Harzburgite	Profonde	45	Harzburgite	Profonde
17	Harzburgite	Profonde	46	Harzburgite	Profonde
18	Harzburgite	Profonde	47	Harzburgite	Profonde
19	Harzburgite	Profonde	48	Harzburgite	Profonde
20	Harzburgite	Profonde	49	Harzburgite	Profonde
21	Harzburgite	Profonde	50	Harzburgite	Profonde
22	Harzburgite	Profonde	51	Harzburgite	Profonde
23	Harzburgite	Profonde	52	Harzburgite	Profonde
24	Harzburgite	Profonde	53	Harzburgite	Profonde
25	Harzburgite	Profonde	54	Harzburgite	Profonde
26	Harzburgite	Profonde	55	Harzburgite	Profonde
27	Harzburgite	Profonde	56	Harzburgite	Profonde
28	Harzburgite	Profonde	57	Harzburgite	Profonde
29	Harzburgite	Profonde	58	Harzburgite	Profonde

N° d'échan.	Description pétrographique	Localisation géographique	N° d'échan.	Description pétrographique	Localisation géographique
59	Harzburgite	Profonde	89	Harzburgite	Zone de transition
60	Harzburgite	Profonde	90	Dunite	Cumulat
61	Pyroxénite	Zone de transition	91	Dunite	Cumulat
62	Dunite	Zone de transition	92	Dunite	Cumulat
63	Harzburgite	Zone de transition	93	Dunite	Cumulat
64	Harzburgite	Zone de transition	94	Dunite	Cumulat
65	Harzburgite	Zone de transition	95	Dunite	Cumulat
66	Dunite	Zone de transition	96	Wehrlite	Cumulat
67	Dunite	Zone de transition	97	Wehrlite	Cumulat
68	Pyroxénite	Zone de transition	98	Dunite	Cumulat
69	Harzburgite	Zone de transition	99	Dunite	Cumulat
70	Harzburgite	Zone de transition	100	Dunite	Cumulat
71	Harzburgite	Zone de transition	101	Dunite	Cumulat
72	Dunite	Zone de transition	102	Dunite	Cumulat
73	Harzburgite	Zone de transition	103	Dunite	Cumulat
74	Pyroxénite	Zone de transition	104	Wehrlite	Cumulat
75	Dunite	Zone de transition	105	Dunite	Cumulat
76	Harzburgite	Zone de transition	106	Dunite	Cumulat
77	Dunite	Zone de transition	107	Dunite	Cumulat
78	Harzburgite	Zone de transition	108	Dunite	Cumulat
79	Pyroxénite	Zone de transition	109	Dunite	Cumulat
80	Dunite	Zone de transition	110	Dunite	Cumulat
81	Pyroxénite	Zone de transition	111	Dunite	Cumulat
82	Dunite	Zone de transition	112	Dunite	Cumulat
83	Harzburgite	Zone de transition	113	Dunite	Cumulat
84	Harzburgite	Zone de transition	114	Diabase	Profonde
85	Harzburgite	Zone de transition	115	Diabase	Profonde
86	Harzburgite	Zone de transition	116	Diabase	Profonde
87	Dunite	Zone de transition	117	Diabase	Profonde
88	Pyroxénite	Zone de transition			

N °	N° d'échan.	Gisement	Massif	Texture	Localisation géographique
1	37A	Doveisse	Assemion	massive	Sommet Z.T
2	38A	Doveisse	Assemion	massive	Sommet Z.T
3	39A	Doveisse	Assemion	massive	Sommet Z.T
4	40A	Doveisse	Assemion	massive	Sommet Z.T
5	41A	Doveisse	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
6	60A	Bahrsangue	Assemion	massive	Sommet Z.T
7	61A	Bahrsangue	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
8	72A	Lotfabade	Assemion	massive	Sommet Z.T
9	73A	Lotfabade	Assemion	massive	Sommet Z.T
10	66A	Ardechir	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
11	67A	Ardechir	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
12	3A	Bahram	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
13	6A	Bahram	Assemion	massive	Sommet Z.T
14	74A	Bahram	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
15	64A	Vali	Assemion	massive	Sommet Z.T
16	65A	Vali	Assemion	massive	Sommet Z.T
17	42A	Sohrab	Assemion	massive	Sommet Z.T
18	43A	Sohrab	Assemion	massive	Sommet Z.T
19	44A	Sohrab	Assemion	massive	Sommet Z.T
20	62A	Majid	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
21	63A	Majid	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
22	23A	Yassamine	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
23	24A	Yassamine	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
24	25A	Yassamine	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
25	26A	Yassamine	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
26	31A	Yassamine	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
27	56A	Keramat-TZ	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
28	57A	Keramat-TZ	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
29	4A	Keramat	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
30	8A	Keramat	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
31	12A	Keramat	Assemion	disseminée	Sommet Z.T
32	5A	Chahriar	Assemion	massive	Base Z.T
33	10A	Chahriar	Assemion	disseminée	Base Z.T
34	58A	Chahriar	Assemion	disseminée	Base Z.T
35	59A	Chahriar	Assemion	disseminée	Base Z.T
36	32A	Chahine	Assemion	massive	Base Z.T
37	33A	Chahine	Assemion	massive	Base Z.T
38	34A	Chahine	Assemion	massive	Base Z.T
39	35A	Chahine	Assemion	massive	Base Z.T
40	36A	Chahine	Assemion	massive	Base Z.T
41	18A	Chojaie	Assemion	massive	Base Z.T
42	19A	Chojaie	Assemion	massive	Base Z.T
43	20A	Chojaie	Assemion	massive	Base Z.T
44	21A	Chojaie	Assemion	rubanée	Base Z.T
45	22A	Chojaie	Assemion	disseminée	Base Z.T
46	9A	Amir	Assemion	massive	Base Z.T
47	11A	Amir	Assemion	massive	Base Z.T

N °	N° d'échan.	Gisement	Massif	Texture	Localisation géographique
48	7A	Fétr	Assemion	disseminée	Base Z.T
49	48A	Fétr	Assemion	massive	Base Z.T
50	49A	Fétr	Assemion	massive	Base Z.T
51	50A	Fétr	Assemion	massive	Base Z.T
52	51A	Fétr	Assemion	massive	Base Z.T
53	52A	Nematte	Assemion	massive	Base Z.T
54	53A	Nematte	Assemion	massive	Base Z.T
55	54A	Nematte	Assemion	massive	Base Z.T
56	55A	Nematte	Assemion	massive	Base Z.T
57	27A	Nazafarine	Assemion	disseminée	Base Z.T
58	28A	Nazafarine	Assemion	disseminée	Base Z.T
59	29A	Nazafarine	Assemion	disseminée	Base Z.T
60	30A	Nazafarine	Assemion	disseminée	Base Z.T
61	68A	Abcharballa	Assemion	disseminée	Base Z.T
62	69A	Abcharballa	Assemion	massive	Base Z.T
63	45A	Ismaeil	Assemion	disseminée	Profond
64	46A	Ismaeil	Assemion	massive	Profond
65	47A	Ismaeil	Assemion	massive	Profond
66	13A	Reza Balla	Assemion	massive	Profond
67	14A	Reza Balla	Assemion	massive	Profond
68	15A	Reza Balla	Assemion	disseminée	Profond
69	70A	Reza Balla	Assemion	disseminée	Profond
70	71A	Reza Balla	Assemion	massive	Profond
71	1A	Reza Vassate	Assemion	disseminée	Profond
72	2A	Reza Vassate	Assemion	disseminée	Profond
73	16A	Reza Paeine	Assemion	massive	Profond
74	17A	Reza Paeine	Assemion	disseminée	Profond
75	18N	Cheshmeh Bid	Neyriz	disseminée	Cumulat
76	41N	Cheshmeh Bid	Neyriz	disseminée	Cumulat
77	1N	Cheshmeh Bid-T8	Neyriz	massive	Sommet Z.T
78	19N	Cheshmeh Bid-T8	Neyriz	massive	Sommet Z.T
79	30N	Cheshmeh Bid-T8	Neyriz	massive	Sommet Z.T
80	32N	Cheshmeh Bid-T8	Neyriz	massive	Sommet Z.T
81	33N	Cheshmeh Bid-T8	Neyriz	massive	Sommet Z.T
82	36N	Cheshmeh Bid-T8	Neyriz	massive	Sommet Z.T
83	39N	Cheshmeh Bid-T8	Neyriz	massive	Sommet Z.T
84	2N	Cheshmeh Bid-T7	Neyriz	massive	Sommet Z.T
85	10N	Cheshmeh Bid-T7	Neyriz	disseminée	Sommet Z.T
86	14N	Cheshmeh Bid-T7	Neyriz	massive	Sommet Z.T
87	38N	Cheshmeh Bid-T7	Neyriz	massive	Sommet Z.T
88	48N	Cheshmeh Bid-T7	Neyriz	massive	Sommet Z.T
89	49N	Cheshmeh Bid-T7	Neyriz	massive	Sommet Z.T
90	54N	Cheshmeh Bid-T7	Neyriz	massive	Sommet Z.T
91	13N	Cheshmeh Bid-T6	Neyriz	massive	Sommet Z.T
92	17N	Cheshmeh Bid-T6	Neyriz	massive	Sommet Z.T
93	23N	Cheshmeh Bid-T6	Neyriz	massive	Sommet Z.T
94	31N	Cheshmeh Bid-T6	Neyriz	massive	Sommet Z.T

N °	N° d'échan.	Gisement	Massif	Texture	Localisation géographique
95	6N	Cheshmeh Bid-T5	Neyriz	massive	Sommet Z.T
96	9N	Cheshmeh Bid-T5	Neyriz	massive	Sommet Z.T
97	26N	Cheshmeh Bid-T5	Neyriz	massive	Sommet Z.T
98	40N	Cheshmeh Bid-T5	Neyriz	massive	Sommet Z.T
99	50N	Cheshmeh Bid-T2	Neyriz	massive	Base Z.T
100	51N	Cheshmeh Bid-T2	Neyriz	massive	Base Z.T
101	12N	Roni	Neyriz	massive	Base Z.T
102	25N	Roni	Neyriz	massive	Base Z.T
103	34N	Roni	Neyriz	massive	Base Z.T
104	4N	Rajoni	Neyriz	massive	Base Z.T
105	5N	Rajoni	Neyriz	massive	Base Z.T
106	7N	Rajoni	Neyriz	disseminée	Base Z.T
107	20N	Rajoni	Neyriz	massive	Base Z.T
108	28N	Rajoni	Neyriz	massive	Base Z.T
109	3N	Khajeh Jamali	Neyriz	disseminée	Base Z.T
110	24N	Khajeh Jamali	Neyriz	disseminée	Base Z.T
111	27N	Khajeh Jamali	Neyriz	disseminée	Base Z.T
112	29N	Khajeh Jamali	Neyriz	nodulaire	Base Z.T
113	42N	Khajeh Jamali	Neyriz	massive	Base Z.T
114	46N	Khajeh Jamali	Neyriz	rubanée	Base Z.T
115	52N	Khajeh Jamali	Neyriz	nodulaire	Base Z.T
116	53N	Khajeh Jamali	Neyriz	disseminée	Base Z.T
117	8N	Neypik	Neyriz	massive	Profond
118	11N	Neypik	Neyriz	disseminée	Profond
119	21N	Neypik	Neyriz	massive	Profond
120	22N	Neypik	Neyriz	disseminée	Profond
121	47N	Neypik	Neyriz	massive	Profond
122	43N	Barandaz	Neyriz	disseminée	Profond
123	44N	Barandaz	Neyriz	massive	Profond
124	58N	Barandaz	Neyriz	massive	Profond
125	35N	Hassankhani	Neyriz	massive	Profond
126	45N	Hassankhani	Neyriz	disseminée	Profond
127	55N	Hassankhani	Neyriz	massive	Profond
128	16N	Hassankhani.Anjirak	Neyriz	massive	Profond
129	37N	Hassankhani.Anjirak	Neyriz	massive	Profond
130	56N	Hassankhani.Anjirak	Neyriz	disseminée	Profond
131	15N	Anjirak	Neyriz	disseminée	Profond
132	57N	Anjirak	Neyriz	massive	Profond

Tableaux des analyses

Tableau 1.1. Olivines des roches silicatées de l'ophiolite de Neyriz

Echantillon	5	7	65	65	67	67	67	67
Site	2	1	4	8	1	2	3	4
SiO2	34,84	38,99	42,63	42,05	41,86	41,86	41,99	41,51
TiO2	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr2O3	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,17
FeO	8,00	8,44	8,41	8,44	8,77	8,54	5,83	7,89
MnO	0,13	0,00	0,13	0,01	0,05	0,11	0,00	0,00
MgO	55,45	50,97	50,89	47,63	50,16	50,45	49,73	51,70
CaO	0,00	0,06	0,00	0,06	0,05	0,08	0,06	0,07
NiO	0,38	0,25	0,42	0,28	0,53	0,46	0,51	0,34
Total	98,81	98,74	102,50	98,48	101,43	101,50	98,13	101,69
Si	0,874	0,967	1,011	1,035	1,006	1,005	1,027	0,993
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Fe2+	0,168	0,175	0,167	0,174	0,176	0,171	0,119	0,158
Mn	0,003	0,000	0,003	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000
Mg	2,073	1,884	1,799	1,748	1,798	1,805	1,814	1,843
Ca	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Ni	0,008	0,005	0,008	0,006	0,010	0,009	0,010	0,007
Total	3,126	3,033	2,988	2,965	2,993	2,995	2,972	3,006
Fa(Fe2+)	7,49	8,50	8,48	9,05	8,93	8,67	6,17	7,89
Fo(Mg)	92,51	91,50	91,52	90,95	91,07	91,33	93,83	92,11

Tableau 1.1. (suite)

Echantillon	67	69	92	93	93	93	93	94
Site	5	1	3	2	4	5	5	2
SiO2	41,26	40,19	41,99	40,81	41,51	42,37	42,37	40,72
TiO2	0,00	0,04	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	0,19	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cr2O3	0,59	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
FeO	9,08	8,55	5,36	8,26	8,62	8,05	8,05	8,66
MnO	0,04	0,07	0,00	0,00	0,23	0,09	0,09	0,13
MgO	50,21	49,90	53,52	51,53	50,11	50,27	50,27	52,73
CaO	0,12	0,01	0,08	0,01	0,00	0,03	0,03	0,13
NiO	0,42	0,57	0,66	0,40	0,25	0,47	0,47	0,31
Total	101,90	99,35	101,72	101,04	100,76	101,27	101,27	102,68
Si	0,991	0,989	0,994	0,985	1,004	1,015	1,015	0,971
Ti	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,011	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Fe2+	0,182	0,176	0,106	0,167	0,174	0,161	0,161	0,173
Mn	0,001	0,002	0,000	0,000	0,005	0,002	0,002	0,003
Mg	1,798	1,831	1,888	1,854	1,807	1,796	1,796	1,874
Ca	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003
Ni	0,008	0,011	0,012	0,008	0,005	0,009	0,009	0,006
Total	2,995	3,010	3,006	3,015	2,996	2,984	2,984	3,029
Fa(Fe2+)	9,21	8,77	5,32	8,25	8,80	8,24	8,24	8,44
Fo(Mg)	90,79	91,23	94,68	91,75	91,20	91,76	91,56	91,95

Tableau 1.1. (suite)

Echantillon	94	95	95	96	96
Site	4	4	5	5	7
SiO2	41,67	42,63	42,62	41,12	42,51
TiO2	0,02	0,11	0,00	0,08	0,00
Al2O3	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr2O3	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00
FeO	7,88	7,14	8,65	8,93	8,91
MnO	0,10	0,04	0,14	0,12	0,07
MgO	50,52	45,11	50,62	50,09	49,63
CaO	0,06	0,08	0,13	0,15	0,07
NiO	0,27	0,19	0,37	0,24	0,36
Total	100,56	95,31	102,55	100,75	101,55
Si	1,006	1,073	1,012	0,997	1,019
Ti	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000
Al	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe2+	0,159	0,150	0,172	0,181	0,179
Mn	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001
Mg	1,818	1,693	1,791	1,810	1,773
Ca	0,002	0,002	0,003	0,004	0,002
Ni	0,005	0,004	0,007	0,005	0,007
Total	2,993	2,927	2,988	3,003	2,981
Fa(Fe2+)	8,05	8,15	8,75	9,09	9,15
Fo(Mg)	91,85	91,25	90,91	90,85	90,85

Tableau 1.2. Pyroxènes des roches silicatées de l'ophiolite de Neyriz

Echantillon	7	8	8	65	65	67	67	67	68
Site	2	1	2	2	3	5	6	6	3
SiO2	57,64	55,56	56,92	58,22	58,31	57,83	57,70	58,49	58,34
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Al2O3	0,18	0,03	0,02	0,93	1,00	0,73	0,98	0,50	1,02
Cr2O3	0,01	0,00	0,00	0,33	0,40	0,27	0,40	0,00	0,65
Fe2O3 calc.	0,00	2,70	0,93	0,00	0,00	1,15	0,00	0,21	0,00
FeO calc.	7,62	4,14	5,94	5,51	5,54	4,63	5,92	5,69	4,93
MnO	0,00	0,06	0,17	0,14	0,05	0,21	0,00	0,08	0,12
MgO	33,93	34,78	34,60	33,73	34,03	35,46	34,24	35,64	34,58
CaO	0,00	0,17	0,07	0,90	1,15	0,84	0,98	0,42	0,95
Na2O	0,02	0,00	0,04	0,20	0,24	0,00	0,05	0,02	0,00
K2O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	99,40	97,45	98,69	99,96	100,79	101,13	100,27	101,05	100,61
Si	2,004	1,964	1,989	2,000	1,990	1,967	1,982	1,988	1,988
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Al iv	0,000	0,001	0,001	0,000	0,010	0,029	0,018	0,012	0,012
Al vi	0,007	0,000	0,000	0,038	0,030	0,000	0,021	0,008	0,029
Cr	0,000	0,000	0,000	0,009	0,011	0,007	0,011	0,000	0,018
Fe3+	0,000	0,072	0,024	0,000	0,000	0,029	0,000	0,005	0,000
Fe2+	0,222	0,122	0,173	0,158	0,158	0,132	0,170	0,162	0,141
Mn	0,000	0,002	0,005	0,004	0,002	0,006	0,000	0,002	0,004
Mg	1,758	1,832	1,802	1,727	1,732	1,798	1,753	1,806	1,756
Ca	0,000	0,006	0,003	0,033	0,042	0,031	0,036	0,015	0,035
Na	0,001	0,000	0,003	0,013	0,016	0,000	0,003	0,001	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	3,993	4,000	4,000	3,983	3,993	4,000	3,994	4,000	3,982
Fa	11,19	6,24	8,77	8,25	8,19	6,72	8,68	8,16	7,28
En	88,81	93,43	91,10	90,03	89,63	91,72	89,49	91,07	90,94
Wo	0,00	0,33	0,13	1,72	2,18	1,57	1,83	0,77	1,79

Tableau 1.2. (suite)

Echantillon	68	68	91	93	95	95	96	95
Site	4	5	4	1	7	8	3	10
SiO2	58,64	57,53	57,72	52,73	58,44	56,85	57.57	54,18
TiO2	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00
Al2O3	0,94	0,89	0,04	1,50	0,81	1,05	1.68	1,68
Cr2O3	0,60	0,53	0,00	0,80	0,46	0,42	0.53	0,73
Fe2O3 calc.	0,00	1,40	1,79	2,36	0,00	0,08	0.00	0,07
FeO calc.	5,76	4,11	3,82	0,72	5,60	5,63	5.41	1,74
MnO	0,16	0,12	0,31	0,06	0,20	0,15	0.08	0,05
MgO	34,88	35,37	36,26	17,54	34,34	34,04	34.24	17,58
CaO	0,65	1,04	0,15	24,01	0,76	1,10	0.93	24,42
Na2O	0,00	0,04	0,01	0,05	0,00	0,03	0.04	0,08
K2O	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0.00	0,00
Total	101,63	101,03	100,13	99,79	100,62	99,33	100.48	100,53
Si	1,984	1,958	1,976	1,925	1,995	1,973	1.969	1,956
Ti	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0.000	0,000
Al iv	0,016	0,036	0,002	0,065	0,005	0,027	0.031	0,044
Al vi	0,022	0,000	0,000	0,000	0,028	0,016	0.037	0,027
Cr	0,016	0,014	0,000	0,023	0,012	0,011	0.014	0,021
Fe3+	0,000	0,036	0,046	0,065	0,000	0,002	0.000	0,002
Fe2+	0,163	0,117	0,109	0,022	0,160	0,163	0.155	0,052
Mn	0,005	0,004	0,009	0,002	0,006	0,004	0.002	0,001
Mg	1,760	1,795	1,851	0,955	1,748	1,761	1.746	0,946
Ca	0,024	0,038	0,006	0,939	0,028	0,041	0.034	0,944
Na	0,000	0,002	0,001	0,003	0,000	0,002	0.003	0,006
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0,000
Total	3,989	4,000	4,000	4,000	3,982	4,000	3.991	4,000
Fa	8,37	6,01	5,56	1,15	8,27	8,31	8.00	2,70
En	90,42	92,05	94,16	49,82	90,30	89,61	90.23	48,70
Wo	1,21	1,95	0,28	49,02	1,44	2,08	1.76	48,60

Tableau 1.2. (suite)

Echantillon	96
Site	4
SiO2	53,11
TiO2	0,00
Al2O3	2,34
Cr2O3	0,52
Fe2O3 calc.	0,44
FeO calc.	3,29
MnO	0,28
MgO	15,83
CaO	23,71
Na2O	0,23
K2O	0,09
Total	99,84
Si	1,946
Ti	0,000
Al iv	0,054
Al vi	0,047
Cr	0,015
Fe3+	0,012
Fe2+	0,101
Mn	0,009
Mg	0,865
Ca	0,931
Na	0,017
K	0,004
Total	4,000
Fa	5,31
En	45,61
Wo	49,09

Tableau 1.3. Spinelles chromifères des roches silicatées

Echantillon	3	3	5	5
Site	6	6	8	8
*Position	C	B	C	B
SiO2	0,10	0,11	0.00	0,00
TiO2	0,00	0,04	0.06	0,07
Al2O3	17,19	19,11	23.75	22,83
Cr2O3	52,65	50,30	45.69	47,39
V2O3	0,19	0,33	0,26	-0,07
Fe2O3 calc	1,61	1,59	1.30	0,00
FeO calc	16,94	17,63	14.81	16,86
MnO	0,16	0,20	0.17	0,20
MgO	11,70	11,45	13.39	11,44
ZnO	0,00	0,12	0.13	0,00
NiO	0,10	0,13	0.19	0,00
Total	100,64	101,01	99.75	98,86
Si	0,003	0,003	0.000	0,000
Ti	0,000	0,001	0.001	0,002
Al	0,639	0,703	0.856	0,840
Cr	1,312	1,242	1.105	1,170
V	0,005	0,008	0.006	0,002
Fe3+	0,038	0,037	0.030	0,000
Fe2+	0,447	0,460	0.379	0,440
Mn	0,004	0,005	0.004	0,005
Mg	0,550	0,533	0.611	0,533
Zn	0,000	0,003	0.003	0,000
Ni	0,003	0,003	0.005	0,000
Total	3,001	2,998	3,000	2,992
XCr	67,27	63,84	56.34	58,20
YFe3+	1,92	1,89	1.50	0,00
XFe	44,83	46,35	38.28	45,26

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral

Tableau 1.3. (suite)

Echantillon	7	7	65	67	67	67	67	67
Site	1	1	1	3	3	4	1	1
Position	C	B	C	C	B	C	C	B
SiO2	0,66	0,00	0,03	0,01	0,38	0,46	0.08	0,21
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,11	0.08	0,06
Al2O3	21,55	20,49	19,04	13,64	13,06	12,54	11.21	10,96
Cr2O3	50,72	48,44	50,84	56,27	56,37	55,91	55.11	54,59
V2O3	0,16	0,18	0,38	0,18	0,30	0,36	0.11	0,31
Fe2O3 calc	0,00	1,99	0,53	1,51	0,00	0,35	3.99	4,53
FeO calc	18,55	18,14	18,12	17,57	19,43	19,43	19.77	20,35
MnO	0,00	0,24	0,31	0,14	0,31	0,14	0.12	0,09
MgO	7,24	11,07	10,90	10,73	9,47	9,62	9,10	8,81
ZnO	0,00	0,09	0,00	0,04	0,00	0,20	0,00	0,01
NiO	0,23	0,15	0,08	0,18	0,13	0,00	0,00	0,19
Total	99,11	100,79	100,23	100,30	99,47	99,12	99,57	100,11
Si	0,021	0,000	0,001	0,000	0,012	0,015	0.003	0,007
Ti	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0.002	0,002
Al	0,805	0,754	0,708	0,519	0,505	0,488	0.439	0,429
Cr	1,270	1,195	1,268	1,437	1,464	1,458	1,449	1,433
V	0,004	0,005	0,010	0,005	0,008	0,010	0.003	0,008
Fe3+	0,000	0,047	0,013	0,037	0,000	0,009	0.100	0,113
Fe2+	0,491	0,473	0,478	0,475	0,534	0,536	0.550	0,565
Mn	0,000	0,006	0,008	0,004	0,009	0,004	0.003	0,002
Mg	0,342	0,515	0,512	0,517	0,463	0,473	0.451	0,436
Zn	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,005	0.000	0,000
Ni	0,006	0,004	0,002	0,005	0,003	0,000	0.000	0,005
Total	2,939	3,001	3,000	3,001	2,999	3,001	3.000	3,000
XCr	61,22	61,32	64,17	73,45	74,34	74,95	76,73	76,97
YFe3+	0,00	2,34	0,64	1,84	0,00	0,44	5,03	5,74
XFe	58,97	47,89	48,27	47,88	53,53	53,11	54,93	56,44

Tableau 1.3. (suite)

Echantillon	67	68	68	68	68	91	91	91
Site	2	1	1	2	2	1	1	2
Position	C	C	B	C	B	C	B	C
SiO2	0,12	0,09	0,80	0,00	0,06	0,22	0,00	0,00
TiO2	0,06	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,08	0,02
Al2O3	10,97	14,96	17,43	12,00	12,82	10,01	9,58	10,70
Cr2O3	55,61	54,87	49,14	59,19	56,84	55,05	54,92	56,73
V2O3	0,33	0,06	0,25	0,08	0,33	0,18	0,31	0,49
Fe2O3 calc	3,65	1,58	0,00	1,99	1,29	6,03	7,21	2,99
FeO calc	18,21	17,86	19,46	16,25	16,40	18,74	19.52	20,36
MnO	0,40	0,30	0,36	0,44	0,34	0,21	0,16	0,55
MgO	9,87	10,71	9,85	11,44	11,25	9,76	9.19	8,35
ZnO	0,00	0,14	0,00	0,16	0,00	0,00	0.04	0,00
NiO	0,00	0,14	0,17	0,15	0,00	0,05	0,17	0,18
Total	99,22	100,76	97,46	101,70	99,35	100,25	101.18	100,37
Si	0,004	0,003	0,026	0,000	0,002	0,007	0.000	0,000
Ti	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0.002	0,001
Al	0,429	0,564	0,671	0,453	0,492	0,391	0.373	0,419
Cr	1,460	1,388	1,270	1,497	1,463	1,440	1.435	1,491
V	0,009	0,001	0,007	0,002	0,009	0,005	0.008	0,013
Fe3+	0,091	0,038	0,000	0,048	0,032	0,150	0,179	0,075
Fe2+	0,506	0,478	0,532	0,435	0,447	0,519	0.539	0,566
Mn	0,011	0,008	0,010	0,012	0,009	0,006	0.005	0,016
Mg	0,488	0,511	0,480	0,546	0,546	0,481	0.453	0,414
Zn	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,000	0.001	0,000
Ni	0,000	0,004	0,004	0,004	0,000	0,001	0.004	0,005
Total	3,000	2,999	3,000	3,001	3,000	3,000	2.999	3,000
XCr	77,28	71,11	65,41	76,79	74,84	78,67	79.36	78,05
YFe3+	4,61	1,91	0,00	2,40	1,59	7,58	9.02	3,77
XFe	50,88	48,33	52,58	44,34	44,99	51,86	54.36	57,75

Tableau 1.3. (suite)

Echantillon	91	92	92	92	93	93	93	93
Site	2	1	2	2	1	1	2	2
Position	B	C	C	B	C	B	C	B
SiO2	0,14	0,00	0,09	0,10	0,42	0.25	0.62	0.14
TiO2	0,00	0,07	0,01	0,10	0,03	0.00	0.00	0.00
Al2O3	1,54	10,50	10,97	10,65	12,17	13.59	11.59	12.77
Cr2O3	59,71	55,50	57,28	52,54	57,49	54.11	56.77	57,15
V2O3	0,33	0,07	0,07	0,07	0,29	0.58	0.43	0.38
Fe2O3 calc	6,39	2,78	2,92	7,39	0,00	1,82	1.15	0.29
FeO calc	25,83	19,60	18,43	20,96	20,25	19.98	19.98	19.71
MnO	0,52	0,52	0,26	0,33	0,15	0,10	0.37	0.28
MgO	3,46	8,30	9,89	8,28	9,26	9.39	9.45	9.30
ZnO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.10
NiO	0,14	0,14	0,07	0,06	0,00	0.03	0.00	0.00
Total	98,09	97,48	99,99	100,48	100,06	99.85	100.36	100.12
Si	0,005	0,000	0,003	0,003	0,014	0.008	0.020	0.005
Ti	0,000	0,002	0,000	0,003	0,001	0.000	0.000	0.000
Al	0,067	0,423	0,426	0,418	0,471	0.524	0.448	0.493
Cr	1,736	1,500	1,493	1,383	1,493	1.400	1.472	1.480
V	0,010	0,002	0,002	0,002	0,008	0.015	0.011	0.010
Fe3+	0,177	0,072	0,072	0,185	0,000	0.045	0.028	0.007
Fe2+	0,795	0,560	0,508	0,584	0,556	0.547	0.548	0.540
Mn	0,016	0,015	0,007	0,009	0,004	0.003	0.010	0.008
Mg	0,190	0,423	0,486	0,411	0,453	0.458	0.462	0.454
Zn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000	0.003
Ni	0,004	0,004	0,002	0,002	0,000	0.001	0.000	0.000
Total	3,001	3,001	2,999	3,000	3,000	3.001	2.999	3.000
XCr	96,30	78,00	77,79	76,80	76,01	72.76	76.67	75.02
YFe3+	8,93	3,59	3,64	9,32	0,00	2.27	1.45	0.36
XFe	80,74	56,98	51,11	58,68	55,11	54.42	54.25	54.30

Tableau 1.3. (suite)

Echantillon	94	94	95	96	96	96
Site	1	1	1	1	1	4
Position	C	B	C	C	B	C
SiO2	0,00	0,00	0,01	0,08	0,11	0.09
TiO2	0,04	0,08	0,05	0,06	0,00	0.07
Al2O3	16,77	16,27	21,10	23,53	23,28	21.89
Cr2O3	52,41	53,17	48,30	46,71	46,36	46.75
V2O3	0,06	0,11	0,30	0,31	0,07	0.07
Fe2O3 calc	3,97	3,60	0,26	0,38	1,23	2.60
FeO calc	12,82	12,32	19,57	17,28	15,22	15.53
MnO	0,27	0,27	0,24	0,17	0,31	0.31
MgO	14,24	14,46	10,20	12,24	13,19	13.02
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0.00
NiO	0,00	0,04	0,07	0,01	0,08	0.00
Total	100,58	100,32	100,10	100,77	99,92	100.33
Si	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0.003
Ti	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0.002
Al	0,615	0,598	0,782	0,847	0,840	0.793
Cr	1,289	1,311	1,201	1,128	1,123	1,136
V	0,002	0,003	0,008	0,008	0,002	0.002
Fe3+	0,093	0,084	0,006	0,009	0,028	0.060
Fe2+	0,333	0,321	0,515	0,442	0,390	0.399
Mn	0,007	0,007	0,006	0,004	0,008	0.008
Mg	0,660	0,672	0,478	0,558	0,602	0,597
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0.000
Ni	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0.000
Total	3,000	2,999	2,999	3,000	3,000	3.000
XCr	67,70	68,68	60,56	57,11	57,19	58.89
YFe3+	4,66	4,24	0,31	0,44	1,42	3.02
XFe	33,56	32,34	51,83	44,20	39,30	40.09

Tableau 2.1. Olivines interstitielles et inclues dans la chromite des chromitites

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Bahrsangue	Bahram	Bahram	Chahriar	Chahriar	Chojaie	Chojaie
Echantillon	41A	61A	3A	3A	10A	10A	22A	22A
*Position	Int	Int	Int	Inc	Int	Inc	Int	Int
SiO2	42,02	43,10	41,51	41,71	41,95	42,18	36,96	37,48
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Al2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
Cr2O3	0,50	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
FeO	4,60	4,54	5,03	5,26	3,09	3,18	3,97	4,10
MnO	0,00	0,05	0,00	0,07	0,04	0,11	0,00	0,14
MgO	53,30	52,02	52,10	53,42	53,90	53,42	51,93	51,92
CaO	0,16	0,00	0,06	0,05	0,04	0,02	0,08	0,00
NiO	0,51	0,30	0,21	0,33	0,89	0,81	0,53	0,21
Total	101,09	100,03	98,92	100,85	99,91	99,76	93,59	93,86
Si	0,997	1,027	1,005	0,994	1,001	1,007	0,952	0,960
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Cr	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Fe2+	0,091	0,090	0,102	0,105	0,062	0,063	0,086	0,088
Mn	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,003
Mg	1,886	1,848	1,881	1,898	1,917	1,902	1,994	1,984
Ca	0,004	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000
Ni	0,010	0,006	0,004	0,006	0,017	0,015	0,011	0,004
Total	2,998	2,973	2,994	3,006	2,999	2,992	3,046	3,039
Fa	4,60	4,69	5,14	5,24	3,13	3,26	4,13	4,25
Fo	95,40	95,31	94,86	94,76	96,87	96,74	95,87	95,75

*Position: Int, interstitielle par rapport à la chromite; Inc, inclue dans la chromite

Tableau 2.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Fétr	Nematte	Nazafarine	Reaz Vassate	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Rajoni	Rajoni
Echantillon	7A	55A	30A	1A	10N	10N	5N	5N
Position	Inc	Int	Inc	Int	Inc	Int	Int	Int
SiO2	39,15	42,56	38,96	41,32	42,03	42,17	41,65	42,08
TiO2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al2O3	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Cr2O3	0,36	0,05	0,09	0,52	0,11	0,02	0,00	0,00
FeO	2,32	3,54	5,37	6,02	3,32	4,75	4,60	5,51
MnO	0,12	0,00	0,05	0,00	0,00	0,16	0,09	0,11
MgO	52,95	54,36	51,91	50,96	53,53	51,99	51,95	52,19
CaO	0,04	0,03	0,08	0,09	0,05	0,03	0,02	0,00
NiO	0,78	0,56	0,58	0,30	0,52	0,43	0,45	0,46
Total	95,72	101,11	97,06	99,21	99,56	99,55	98,77	100,39
Si	0,976	1,003	0,971	1,004	1,005	1,014	1,009	1,007
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Cr	0,007	0,001	0,002	0,010	0,002	0,000	0,000	0,000
Fe2+	0,048	0,070	0,112	0,122	0,066	0,096	0,093	0,110
Mn	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002
Mg	1,969	1,910	1,928	1,846	1,908	1,864	1,877	1,863
Ca	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000
Ni	0,016	0,011	0,012	0,006	0,010	0,008	0,009	0,009
Total	3,020	2,996	3,028	2,991	2,994	2,986	2,991	2,992
Fa	2,38	3,54	5,49	6,20	3,36	4,87	4,73	5,59
Fo	97,62	96,46	94,51	93,80	96,64	95,13	95,27	94,41

Tableau 2.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Rajoni	Neypik	Neypik	Neypik	Neypik
Echantillon	20N	11N	11N	22N	22N
Position	Int	Int	Inc	Int	Inc
SiO2	41,94	42,42	41,86	41,82	42,09
TiO2	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04
Al2O3	0,00	0,00	0,01	0,06	0,02
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
FeO	5,29	5,59	5,57	4,83	5,31
MnO	0,04	0,20	0,09	0,00	0,11
MgO	51,87	51,24	52,22	52,63	51,97
CaO	0,03	0,05	0,07	0,09	0,06
NiO	0,48	0,44	0,38	0,52	0,53
Total	99,65	99,97	100,21	100,13	100,14
Si	1,010	1,019	1,004	1,002	1,009
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Al	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001
Cr	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Fe2+	0,107	0,112	0,112	0,097	0,107
Mn	0,001	0,004	0,002	0,000	0,002
Mg	1,862	1,835	1,868	1,880	1,858
Ca	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Ni	0,009	0,008	0,007	0,010	0,010
Total	2,990	2,981	2,995	2,996	2,989
Fa	5,41	5,77	5,64	4,90	5,42
Fo	94,59	94,23	94,36	95,10	94,58

Tableau 2.2. Pyroxènes inclus dans la chromite des chromitites

Massif	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Doveisse	Chahine eshmeh	Bid-T8 eshmeh	Bid-T6 Cheshmeh	Bid-T5 eshmeh	Bid-T5	Roni
Echantillon	38A	36A	36N	17N	26N	40N	25N
Site	2	15	2	8	2	1	2
*Position	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc
SiO2	54,64	47,47	25,79	48,52	55,74	54,97	54,16
TiO2	0,03	0,02	0,13	0,22	0,08	0,00	0,08
Al2O3	0,53	1,17	11,54	5,21	2,15	0,71	1,27
Cr2O3	1,88	5,27	24,44	3,23	2,69	1,32	2,07
Fe2O3 calc.	0,12	0,00	5,63	1,33	2,13	1,43	0,00
FeO calc.	0,77	1,80	0,00	0,00	0,44	0,15	1,17
MnO	0,00	0,02	0,30	0,06	0,11	0,09	0,04
MgO	18,03	14,28	25,29	19,93	33,97	19,05	16,91
CaO	24,32	21,93	0,42	11,61	2,53	23,97	24,57
Na2O	0,28	0,18	1,97	1,76	0,49	0,15	0,38
K2O	0,00	0,00	1,24	0,00	0,04	0,04	0,02
Total	100,62	92,14	96,74	91,86	100,37	101,88	100,67
Si	1,969	1,902	1,041	1,868	1,908	1,954	1,957
Al iv	0,023	0,055	0,549	0,132	0,087	0,030	0,043
Al vi	0,000	0,000	0,000	0,105	0,000	0,000	0,011
Ti	0,001	0,001	0,004	0,006	0,002	0,000	0,002
Cr	0,054	0,167	0,780	0,098	0,073	0,037	0,059
Fe3+	0,003	0,000	0,171	0,038	0,055	0,038	0,000
Fe2+	0,023	0,060	0,000	0,000	0,013	0,004	0,036
Mn	0,000	0,001	0,010	0,002	0,003	0,003	0,001
Mg	0,968	0,853	1,522	1,144	1,733	1,009	0,911
Ca	0,939	0,941	0,018	0,479	0,093	0,913	0,951
Na	0,019	0,014	0,154	0,132	0,032	0,010	0,027
K	0,000	0,000	0,064	0,000	0,002	0,002	0,001
Total	4,000	3,994	4,314	4,005	4,000	4,000	3,998

*Position: Inc, inclu dans la chromite

Tableau 2.2. Pyroxènes inclus dans la chromite des chromitites

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Doveisse	Chahine	Chojaie	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6
Echantillon	38A	36A	20A	1N	36N	17N	17N
Site	2	15	2	1	2	8	6
*Position	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc
SiO2	54,64	47,47	31,46	50,96	25,79	48,52	25,51
TiO2	0,03	0,02	0,02	0,05	0,13	0,22	0,08
Al2O3	0,53	1,17	0,00	4,04	11,54	5,21	5,98
Cr2O3	1,88	5,27	0,00	2,29	24,44	3,23	17,71
Fe2O3 calc.	0,12	0,00	0,00	0,00	5,63	1,33	4,35
FeO calc.	0,77	1,80	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,02	0,08	0,00	0,30	0,06	0,07
MgO	18,03	14,28	9,15	27,97	25,29	19,93	13,18
CaO	24,32	21,93	14,23	0,05	0,42	11,61	6,00
Na2O	0,28	0,18	0,14	0,92	1,97	1,76	0,51
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	0,00	0,08
Total	100,62	92,14	55,07	86,94	96,74	91,86	73,46
Si	1,969	1,902	2,051	1,972	1,041	1,868	1,339
Al iv	0,023	0,055	0,000	0,028	0,549	0,132	0,370
Al vi	0,000	0,000	0,000	0,156	0,000	0,105	0,000
Ti	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,006	0,003
Cr	0,054	0,167	0,000	0,070	0,780	0,098	0,735
Fe3+	0,003	0,000	0,000	0,000	0,171	0,038	0,172
Fe2+	0,023	0,060	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,001	0,004	0,000	0,010	0,002	0,003
Mg	0,968	0,853	0,889	1,613	1,522	1,144	1,031
Ca	0,939	0,941	0,994	0,002	0,018	0,479	0,338
Na	0,019	0,014	0,018	0,069	0,154	0,132	0,052
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,000	0,005
Total	4,000	3,994	3,957	3,934	4,314	4,005	4,048

*Position: Inc, inclu dans la chromite

Tableau 2.2. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Roni	Roni	Neypik
Echantillon	26N	40N	25N	25N	21N
Site	2	1	2	2	1
Position	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc
SiO2	55,74	54,97	54,16	43,45	28,30
TiO2	0,08	0,00	0,08	0,07	0,17
Al2O3	2,15	0,71	1,27	2,60	0,34
Cr2O3	2,69	1,32	2,07	5,58	0,00
Fe2O3 calc.	2,13	1,43	0,00	0,00	0,00
FeO calc.	0,44	0,15	1,17	1,72	0,00
MnO	0,11	0,09	0,04	0,01	0,02
MgO	33,97	19,05	16,91	5,00	0,00
CaO	2,53	23,97	24,57	15,96	29,23
Na2O	0,49	0,15	0,38	0,10	0,04
K2O	0,04	0,04	0,02	0,61	0,05
Total	100,37	101,88	100,67	75,10	58,15
Si	1,908	1,954	1,957	2,090	1,911
Al iv	0,087	0,030	0,043	0,000	0,027
Al vi	0,000	0,000	0,011	0,148	0,000
Ti	0,002	0,000	0,002	0,003	0,009
Cr	0,073	0,037	0,059	0,212	0,000
Fe3+	0,055	0,038	0,000	0,000	0,000
Fe2+	0,013	0,004	0,036	0,069	0,000
Mn	0,003	0,003	0,001	0,000	0,001
Mg	1,733	1,009	0,911	0,359	0,000
Ca	0,093	0,913	0,951	0,823	2,115
Na	0,032	0,010	0,027	0,009	0,006
K	0,002	0,002	0,001	0,037	0,004
Total	4,000	4,000	3,998	3,750	4,072

Tableau 2.3. Amphiboles inclues dans la chromite des chromitites

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Chahriar	Chojaie	Chojaie	Amir	Nematte	Ismaeil	Reza Balla	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T6
Echantillon	10A	18A	22A	11A	53A	47A	71A	1N	19N	36N	17N
Site	1	2	1	2	7	2	8	4	2	2	1
*Position	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc
SiO2	46,95	49,48	42,15	45,32	45,43	36,94	46,50	42,85	39,40	49,24	47,31
TiO2	0,30	0,18	0,18	0,24	0,27	0,15	0,26	0,36	0,27	0,32	0,38
Al2O3	9,23	7,63	9,62	10,68	9,88	10,34	9,85	11,18	8,98	7,83	7,47
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe2O3 calc.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
FeO calc.	0,41	0,43	0,38	0,43	0,55	0,00	0,01	0,32	0,00	0,77	0,57
MnO	0,00	0,01	0,06	0,00	0,05	0,10	0,00	0,00	0,02	0,02	0,05
MgO	20,87	21,65	18,13	20,63	20,09	18,38	20,26	25,82	18,35	20,84	20,79
CaO	12,82	12,60	11,91	12,99	12,81	8,92	12,39	0,63	10,51	12,61	11,90
Na2O	3,26	3,00	3,13	3,39	3,15	2,59	3,28	3,62	2,27	2,89	2,46
K2O	0,05	0,05	0,07	0,25	0,07	0,50	0,27	0,12	0,03	0,00	0,00
ZrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,07	0,21	0,10	0,28	0,27	0,17	0,08	0,85	0,07	0,24	0,14
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O calc.	2,07	2,11	1,89	2,07	2,04	1,73	2,06	1,95	1,77	2,10	2,02
Total	96,03	97,34	87,61	96,28	94,61	79,93	94,96	87,71	81,74	96,86	93,11
Si	6,788	7,027	6,691	6,573	6,688	6,412	6,781	6,583	6,660	7,032	7,013
Al iv	1,212	0,973	1,309	1,427	1,312	1,588	1,219	1,417	1,340	0,968	0,987
Al vi	0,360	0,304	0,491	0,398	0,403	0,528	0,475	0,607	0,449	0,351	0,317
Ti	0,032	0,019	0,021	0,026	0,030	0,019	0,028	0,042	0,035	0,034	0,043
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe3+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000
Fe2+	0,050	0,052	0,050	0,052	0,067	0,000	0,002	0,041	0,000	0,093	0,071
Mn	0,000	0,001	0,008	0,000	0,007	0,015	0,000	0,000	0,003	0,003	0,007
Mg	4,497	4,583	4,290	4,461	4,409	4,755	4,405	5,913	4,623	4,437	4,595
Ca	1,985	1,917	2,026	2,018	2,020	1,658	1,936	0,104	1,903	1,929	1,890
Na	0,914	0,825	0,964	0,954	0,900	0,871	0,927	1,078	0,745	0,801	0,707
K	0,009	0,009	0,014	0,046	0,013	0,111	0,051	0,023	0,006	0,000	0,000
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,008	0,023	0,013	0,033	0,031	0,024	0,009	0,105	0,009	0,028	0,017
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Total	17,855	17,733	17,877	17,989	17,880	17,995	17,832	17,913	17,781	17,675	17,646

*Position: Inc, inclue dans la chromite

Tableau 2.3. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Roni	Roni	Roni	Rajoni
Echantillon	17N	40N	9N	25N	25N	25N	4N
Site	8	1	1	1	2	2	2
Position	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc
SiO2	48,51	54,97	48,51	44,87	54,16	43,45	39,99
TiO2	0,22	0,00	0,24	0,52	0,08	0,07	0,53
Al2O3	5,21	0,71	8,36	11,75	1,27	2,60	13,54
Cr2O3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe2O3 calc.	0,00	1,23	0,00	0,00	0,73	0,00	0,00
FeO calc.	0,39	0,00	1,41	0,99	0,00	0,32	0,36
MnO	0,06	0,09	0,14	0,04	0,04	0,01	0,00
MgO	19,93	19,05	20,38	18,94	16,91	5,00	21,74
CaO	11,61	23,97	11,94	12,14	24,57	15,96	4,31
Na2O	1,76	0,15	2,48	2,79	0,38	0,10	3,46
K2O	0,00	0,04	0,00	0,35	0,02	0,61	0,40
ZrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,28	0,00	0,04	0,25	0,21	0,03	0,24
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O calc.	1,97	2,18	2,07	2,04	2,13	1,52	1,90
Total	89,94	102,38	95,57	94,68	100,49	69,68	86,47
Si	7,388	7,575	7,014	6,593	7,613	8,545	6,307
Al iv	0,612	0,425	0,986	1,407	0,387	-0,545	1,693
Al vi	0,323	-0,310	0,439	0,628	-0,176	1,149	0,823
Ti	0,025	0,000	0,026	0,057	0,008	0,011	0,062
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe3+	0,000	0,127	0,000	0,000	0,077	0,000	0,000
Fe2+	0,050	0,000	0,170	0,122	0,000	0,053	0,048
Mn	0,008	0,010	0,017	0,005	0,004	0,002	0,000
Mg	4,524	3,913	4,394	4,148	3,543	1,466	5,112
Ca	1,894	3,539	1,849	1,912	3,701	3,363	0,728
Na	0,521	0,040	0,694	0,793	0,105	0,037	1,057
K	0,000	0,008	0,000	0,066	0,004	0,152	0,081
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,035	0,000	0,005	0,029	0,024	0,005	0,031
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Total	17,380	17,328	17,595	17,762	17,289	16,236	17,942

Tableau 2.4. Chlorites inclues · chromite des chromitites

Massif	Assemion
Gisement	Nematte
Echantillon	53A
Site	4
*Position	Inc
SiO2	10,13
TiO2	0,02
Al2O3	6,02
Cr2O3	42,17
FeO	7,80
MnO	0,10
MgO	18,14
CaO	0,06
Na2O	0,13
K2O	0,03
ZnO	0,00
NiO	0,04
F	0,00
Cl	0,00
H2O calc.	9,83
Total	94,46
Si	2,470
Al iv	5,530
Al vi	-3,801
Ti	0,004
Cr	8,129
Fe2+	1,591
Mn	0,021
Mg	6,595
Ca	0,015
Na	0,059
K	0,009
Zn	0,000
Ni	0,008
F	0,000
Cl	0,000
OH	16,000
Total	36,630

*Position: Inc, inclue dans la cl

Tableau 2.4. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Reza Balla	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6
Echantillon	47A	47A	47A	71A	1N	30N	30N	2N	17N	17N	31N
Site	2	8	8	14	5	1	7	1	1	8	1
*Position	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc
SiO2	4,87	30,22	21,27	35,35	32,70	32,37	25,81	22,71	30,39	42,05	27,34
TiO2	0,10	0,14	0,09	0,01	0,01	0,00	0,17	0,00	0,23	0,56	0,00
Al2O3	1,84	9,48	6,79	13,06	15,52	12,23	8,92	3,56	11,62	11,92	5,11
Cr2O3	11,78	20,08	18,89	1,35	2,77	5,15	12,08	11,30	14,26	3,66	24,77
FeO	22,66	5,16	5,57	0,57	0,88	0,68	2,67	4,83	3,26	0,81	6,88
MnO	0,19	0,06	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,16
MgO	28,63	15,78	12,89	35,44	34,45	35,94	16,24	16,03	19,81	24,94	24,50
CaO	0,71	8,12	4,33	0,00	0,00	0,00	1,23	0,13	0,54	0,45	0,09
Na2O	0,19	2,46	1,40	0,06	0,01	0,00	1,26	0,00	0,58	4,30	0,00
K2O	0,02	0,13	0,08	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	2,53	0,90	0,23
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
NiO	1,08	0,00	0,09	0,37	0,54	0,16	0,61	0,11	0,68	0,39	0,22
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O calc.	7,77	12,01	9,18	12,77	12,73	12,57	9,57	7,99	11,50	13,17	11,64
Total	79,83	103,64	80,70	99,03	99,61	99,11	79,10	66,67	95,54	103,15	100,94
Si	1,503	6,031	5,556	6,637	6,158	6,175	6,465	6,815	6,338	7,658	5,631
Al iv	6,497	1,969	2,444	1,363	1,842	1,825	1,535	1,185	1,662	0,342	2,369
Al vi	-5,827	0,261	-0,354	1,527	1,602	0,925	1,098	0,076	1,195	2,215	-1,128
Ti	0,022	0,021	0,018	0,002	0,002	0,000	0,033	0,000	0,037	0,077	0,000
Cr	2,874	3,169	3,902	0,201	0,413	0,777	2,392	2,681	2,351	0,527	4,033
Fe2+	5,848	0,861	1,217	0,090	0,139	0,108	0,560	1,213	0,568	0,123	1,186
Mn	0,049	0,010	0,030	0,008	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,000	0,028
Mg	13,173	4,697	5,019	9,922	9,672	10,223	6,063	7,172	6,158	6,771	7,525
Ca	0,234	1,736	1,212	0,000	0,000	0,000	0,330	0,042	0,121	0,088	0,019
Na	0,115	0,952	0,709	0,021	0,002	0,001	0,611	0,002	0,235	1,518	0,001
K	0,007	0,033	0,025	0,000	0,000	0,001	0,171	0,000	0,672	0,209	0,060
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000
Ni	0,268	0,000	0,018	0,056	0,082	0,025	0,122	0,027	0,114	0,057	0,036
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OH	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
Total	40,764	35,741	35,797	35,826	35,913	36,061	35,381	35,215	35,475	35,586	35,762

hromite

Tableau 2.4. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T2	Roni	Rajoni	Neypik	Neypik
Echantillon	51N	34N	4N	21N	22N
Site	2	1	2	2	3
Position	Inc	Inc	Inc	Inc	Inc
SiO2	29,45	19,81	23,69	32,20	30,50
TiO2	0,01	0,01	0,40	0,00	0,00
Al2O3	20,82	17,64	12,13	11,17	17,94
Cr2O3	2,94	7,89	0,00	9,08	3,19
FeO	1,18	1,99	0,01	2,39	0,92
MnO	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
MgO	32,69	21,26	16,83	33,54	32,58
CaO	0,00	0,08	0,00	0,16	0,06
Na2O	0,01	0,09	2,93	0,01	0,08
K2O	0,01	0,00	0,32	0,00	0,01
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,35	0,00	0,16	0,00	0,28
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O calc.	12,78	9,74	8,37	12,60	12,52
Total	100,23	78,51	64,84	101,18	98,08
Si	5,526	4,877	6,789	6,128	5,841
Al iv	2,474	3,123	1,211	1,872	2,159
Al vi	2,130	1,997	2,887	0,634	1,889
Ti	0,001	0,002	0,086	0,000	0,000
Cr	0,436	1,537	0,000	1,366	0,484
Fe2+	0,185	0,410	0,002	0,380	0,147
Mn	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000
Mg	9,144	7,804	7,190	9,516	9,302
Ca	0,000	0,021	0,001	0,033	0,012
Na	0,003	0,041	1,629	0,003	0,030
K	0,003	0,000	0,118	0,000	0,001
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,053	0,000	0,037	0,000	0,043
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OH	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
Total	35,955	35,813	35,950	35,938	35,909

Tableau 2.5. Chromites des chromitites

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse
*Echantillon	38A-M	38A-M	38A-M	38A-M	38A-M	38A-M	38A-M	38A-M	38A-M
Site	1	1	1	5	5	5	6	6	6
*Position	C	Pt	B	C	Pt	B	C	Pt	B
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00
TiO2	0,10	0,06	0,08	0,06	0,07	0,04	0.05	0.13	0.11
Al2O3	9,67	9,46	9,61	9,34	9,39	9,43	9,47	9.77	9.95
Cr2O3	61,05	62,35	61,79	62,20	61,49	61,63	61.80	61.63	61.24
V2O3	0,12	0,07	0,06	0,07	0,01	0,15	0.13	0.18	0.11
Fe2O3 calc	1,87	0,00	0,00	1,98	1,41	1,44	2.06	1.44	1.56
FeO calc	12,36	13,49	13,65	13,68	12,58	12,44	12,46	12.96	12.90
MnO	0,04	0,22	0,14	0,15	0,12	0,18	0.31	0.26	0.06
MgO	13,57	12,56	12,54	13,00	13,27	13,30	13.45	13.33	13.42
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0.05	0.00	0.01
NiO	0,17	0,11	0,00	0,01	0,10	0,13	0.18	0.00	0.02
Total	98,95	98,32	97,87	100,49	98,44	98,86	99.96	99.70	99.38
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000	0.000
Ti	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0.001	0.003	0.003
Al	0,372	0,368	0,375	0,356	0,364	0,364	0.361	0.373	0.381
Cr	1,574	1,628	1,619	1,591	1,598	1,595	1,582	1.580	1.573
V	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,004	0.003	0.005	0.003
Fe3+	0,046	0,000	0,000	0,048	0,035	0,035	0,050	0.035	0.038
Fe2+	0,337	0,373	0,378	0,370	0,346	0,341	0.337	0.351	0.350
Mn	0,001	0,006	0,004	0,004	0,003	0,005	0,009	0.007	0.002
Mg	0,660	0,618	0,620	0,627	0,650	0,649	0,649	0.645	0.650
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0.001	0.000	0.000
Ni	0,004	0,003	0,000	0,000	0,003	0,003	0.005	0.000	0.001
Total	2,999	2,999	3,000	2,999	3,001	3,000	2.998	2.999	3.001
XCr	80,90	81,55	81,18	81,71	81,46	81,43	81.41	80.89	80.50
YFe3+	2,31	0,00	0,00	2,41	1,75	1,77	2,52	1.76	1.91
XFe	33,81	37,60	37,91	37,12	34,71	34,42	34,20	35.29	35.03

*Echantillon: M, massive; D, disseminée

*Position: C, centre de minéral; Pt, voisin de platinoïdes inclus; B, bordure de minéral

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Bahrsangue	Bahrsangue	Ardechir	Ardechir
Echantillon	40A-M	40A-M	40A-M	40A-M	40A-M	60A-M	60A-M	66A-D	66A-D
Site	2	2	6	6	6	1	1	1	2
Position	C	B	C	B	B	C	B	C	C
SiO2	0,05	0,06	0,00	0,00	0,04	0,00	0.04	0.00	0.04
TiO2	0,08	0,13	0,10	0,05	0,09	0,21	0,02	0.03	0.02
Al2O3	9,30	9,25	9,99	9,80	9,74	9,53	9,99	9.72	9.59
Cr2O3	62,32	62,64	61,54	62,64	61,91	60,93	61.89	60.78	61.05
V2O3	0,21	0,07	0,08	0,13	0,08	0,15	0.12	0.08	0.14
Fe2O3 calc	2,05	0,00	2,53	1,28	2,32	3,34	1,01	2.68	2.58
FeO calc	11,64	13,63	12,09	11,85	11,61	11,68	13,37	13.13	13.32
MnO	0,18	0,04	0,16	0,21	0,13	0,24	0.23	0.20	0.18
MgO	14,15	12,62	14,07	13,99	14,35	14,32	13.06	13.21	13.15
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
NiO	0,24	0,06	0,16	0,12	0,15	0,03	0.07	0.00	0.04
Total	100,22	98,50	100,72	100,22	100,42	100,43	99.80	99.84	100.13
Si	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0.001	0.000	0.001
Ti	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,005	0.001	0.001	0.001
Al	0,353	0,359	0,377	0,371	0,367	0,360	0.382	0.372	0.366
Cr	1,586	1,633	1,556	1,592	1,568	1,545	1.587	1.559	1.563
V	0,005	0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0.003	0.002	0.004
Fe3+	0,050	0,000	0,061	0,031	0,056	0,081	0.025	0.065	0.063
Fe2+	0,313	0,376	0,323	0,319	0,311	0,313	0.363	0.356	0.361
Mn	0,005	0,001	0,004	0,006	0,003	0,006	0.006	0.005	0.005
Mg	0,679	0,620	0,671	0,670	0,685	0,685	0.631	0.639	0.635
Zn	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0.000	0.000	0.000
Ni	0,006	0,001	0,004	0,003	0,004	0,001	0,002	0.000	0.001
Total	3,000	2,997	3,000	3,000	2,999	3,000	3.000	2.999	3.000
XCr	81,80	81,96	80,51	81,09	81,01	81,10	80.61	80.75	81.03
YFe3+	2,50	0,00	3,05	1,56	2,80	4,06	1,24	3.28	3.15
XFe	31,58	37,74	32,53	32,21	31,23	31,39	36,48	35.79	36.23

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Ardechir	Ardechir	Ardechir	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram
Echantillon	66A-D	66A-D	66A-D	3A-D	3A-D	6A-M	6A-M	6A-M	6A-M
Site	2	2	3	3	5	1	1	1	2
Position	B	B	C	C	C	C	Pt	B	C
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0.00
TiO2	0,11	0,08	0,08	0,09	0,07	0,15	0.13	0,14	0.16
Al2O3	9,70	9,98	9,66	8,90	8,92	10,26	10,13	10,01	9.85
Cr2O3	61,80	61,60	61,82	60,15	61,55	60,20	60.00	61,12	61.35
V2O3	0,09	0,07	0,02	0,02	0,00	0,08	0.07	0,22	0,24
Fe2O3 calc	0,00	0,00	1,49	2,54	1,63	2,53	3,15	2,95	1.91
FeO calc	15,25	14,88	14,12	14,75	14,58	12,27	11,23	11,42	12.15
MnO	0,25	0,16	0,19	0,12	0,22	0,14	0,20	0,11	0.18
MgO	10,95	11,27	12,55	11,87	12,02	13,98	14,42	14,60	13.85
ZnO	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
NiO	0,01	0,07	0,09	0,00	0,03	0,04	0,06	0,08	0.19
Total	98,17	98,11	100,11	98,45	99,01	99,75	99,39	100,65	99.88
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0.000	0.000	0.000
Ti	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0.003	0.004
Al	0,381	0,391	0,370	0,349	0,347	0,390	0,385	0.376	0.375
Cr	1,629	1,619	1,589	1,582	1,608	1,533	1,530	1.541	1.565
V	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0.006	0.006
Fe3+	0,000	0,000	0,036	0,064	0,041	0,061	0,076	0.071	0.046
Fe2+	0,425	0,414	0,384	0,410	0,403	0,331	0,303	0,305	0.328
Mn	0,007	0,005	0,005	0,003	0,006	0,004	0,005	0.003	0.005
Mg	0,544	0,559	0,608	0,589	0,592	0,671	0,693	0.694	0.666
Zn	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000
Ni	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0.002	0.005
Total	2,991	2,994	2,999	3,000	3,000	3,000	2,998	3.001	3.000
XCr	81,04	80,55	81,11	81,92	82,24	79,74	79,89	80,38	80.69
YFe3+	0,00	0,00	1,82	3,19	2,03	3,09	3,84	3,56	2.33
XFe	43,86	42,55	38,70	41,08	40,49	33,00	30,40	30,50	32.99

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Vali	Vali	Yassamine	Yassamine
Echantillon	6A-M	6A-M	6A-M	6A-M	6A-M	65A-M	65A-M	25A-D	25A-D
Site	2	2	9	9	9	1	1	3	3
Position	Pt	B	C	B	B	C	B	C	B
SiO2	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0.09
TiO2	0,03	0,14	0,16	0,09	0,10	0,03	0,05	0.12	0.20
Al2O3	11,15	10,09	10,13	10,17	10,21	10,20	10,26	9,06	9,28
Cr2O3	59,32	61,00	60,72	61,61	59,87	60,28	60,29	60,75	62.14
V2O3	0,04	0,07	0,17	0,06	0,14	0,05	0,00	0,30	0.15
Fe2O3 calc	2,54	2,47	2,68	3,85	3,40	3,03	3,20	2.82	2.43
FeO calc	11,59	11,81	11,84	10,93	11,44	12,67	13,14	11,32	11.83
MnO	0,12	0,12	0,19	0,15	0,18	0,29	0,17	0,08	0.20
MgO	14,13	14,21	14,21	15,22	14,45	13,54	13,39	14,01	14.24
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0.04	0.00
NiO	0,23	0,09	0,06	0,00	0,00	0,00	0,09	0,34	0.25
Total	99,15	100,01	100,16	102,07	99,83	100,13	100,59	98,84	100.80
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0.000	0.003
Ti	0,001	0,003	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0.003	0.005
Al	0,424	0,382	0,383	0,376	0,387	0,387	0,388	0.348	0.350
Cr	1,512	1,549	1,540	1,527	1,520	1,536	1,532	1.568	1.572
V	0,001	0,002	0,004	0,002	0,004	0,001	0,000	0.008	0.004
Fe3+	0,062	0,060	0,065	0,091	0,082	0,073	0,077	0.069	0.059
Fe2+	0,312	0,317	0,318	0,287	0,307	0,341	0,353	0.309	0.317
Mn	0,003	0,003	0,005	0,004	0,005	0,008	0,005	0.002	0.005
Mg	0,679	0,681	0,680	0,711	0,692	0,651	0,641	0.682	0.679
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0.001	0.000
Ni	0,006	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0.009	0.006
Total	3,000	2,999	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3.000	3.000
XCr	78,11	80,22	80,09	80,25	79,73	79,86	79,77	81.82	81.80
YFe3+	3,08	3,00	3,25	4,55	4,13	3,68	3,88	3.49	2.96
XFe	31,51	31,79	31,86	28,73	30,76	34,42	35,50	31,20	31.78

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahine
Echantillon	5A-D	5A-M	5A-M	5A-M	5A-M	5A-M	10A-D	10A-D	35A-M
Site	2	2	2	4	4	4	1	3	2
Position	C	Pt	B	C	Pt	B	C	C	C
SiO2	0,07	0,00	0,14	0,00	0.00	0,36	0.04	0.01	0.00
TiO2	0,11	0,12	0,08	0,07	0.10	0,11	0.16	0.12	0.19
Al2O3	9,39	9,32	7,59	9,49	9,53	9,32	10.06	9.30	9.07
Cr2O3	61,26	60,54	62,35	62,04	61,23	60,87	60.75	62.08	61.34
V2O3	0,00	0,11	0,00	0,00	0,16	0,13	0.17	0.04	0.09
Fe2O3 calc	1,99	3,88	3,76	2,15	2,03	2,53	2.81	2.09	2.98
FeO calc	11,31	10,85	10,57	11,73	10.89	10,73	11.14	11.67	11.91
MnO	0,15	0,04	0,24	0,24	0,17	0,11	0.25	0.06	0.22
MgO	14,18	14,74	14,66	14,05	14,39	14,99	14.48	14.22	14.02
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,05	0.14	0.00	0.00
NiO	0,10	0,03	0,05	0,09	0,12	0,01	0,23	0.01	0.00
Total	98,56	99,63	99,44	99,86	98,62	99,21	100,22	99.58	99.82
Si	0,002	0,000	0,005	0,000	0,000	0,012	0.001	0.000	0.000
Ti	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0.003	0.005
Al	0,361	0,354	0,291	0,361	0,366	0,354	0.380	0.354	0.346
Cr	1,580	1,543	1,604	1,583	1,576	1,552	1,538	1.588	1.570
V	0,000	0,003	0,000	0,000	0,004	0,003	0.004	0.001	0.002
Fe3+	0,049	0,094	0,092	0,052	0,050	0,061	0.068	0.051	0.073
Fe2+	0,309	0,293	0,288	0,317	0,296	0,289	0.298	0.316	0.322
Mn	0,004	0,001	0,007	0,007	0,005	0,003	0.007	0.002	0.006
Mg	0,690	0,708	0,711	0,676	0,698	0,721	0.691	0.685	0.676
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0.003	0.000	0.000
Ni	0,003	0,001	0,001	0,002	0,003	0,000	0.006	0.000	0.000
Total	3,001	3,000	3,001	3,000	3,000	2,999	3.000	3.000	3.000
XCr	81,40	81,33	84,64	81,43	81,17	81,42	80.20	81.75	81.95
YFe3+	2,45	4,73	4,64	2,61	2,50	3,12	3.41	2.55	3.65
XFe	30,91	29,23	28,80	31,90	29,80	28,66	30.16	31,54	32.26

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine
Echantillon	35A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M
Site	5	4	4	4	5	5	5	8	8
Position	C	C	Pt	B	C	Pt	B	C	Pt
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.02	0.00	0.02
TiO2	0,08	0,13	0,09	0,13	0,14	0,08	0.06	0.11	0.12
Al2O3	9,32	9,67	9,29	9,48	9,10	9,20	9,21	9.20	9.21
Cr2O3	60,85	59,67	60,37	60,05	61,42	60,60	60.62	60.48	60.43
V2O3	0,34	0,10	0,06	0,19	0,03	0,12	0.24	0.00	0.24
Fe2O3 calc	2,58	3,15	2,35	2,34	1,25	3,18	3.12	1.96	2.82
FeO calc	12,26	12,90	12,37	12,54	12,44	11,90	11.83	12.32	12.73
MnO	0,15	0,22	0,16	0,15	0,09	0,18	0.25	0.25	0.12
MgO	13,66	13,15	13,35	13,30	13,25	13,67	13.85	13.17	13.38
ZnO	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,14	0.00	0.00	0.00
NiO	0,00	0,10	0,00	0,05	0,13	0,20	0.05	0.10	0.00
Total	99,30	99,16	98,04	98,23	97,85	99,27	99.25	97.59	99.07
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.001	0.000	0.001
Ti	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0.001	0.003	0.003
Al	0,358	0,372	0,361	0,368	0,355	0,353	0.353	0.360	0.355
Cr	1,566	1,541	1,574	1,563	1,606	1,561	1.560	1.586	1.562
V	0,009	0,003	0,002	0,005	0,001	0,003	0.006	0.000	0.006
Fe3+	0,063	0,077	0,058	0,058	0,031	0,078	0.077	0.049	0.069
Fe2+	0,334	0,352	0,341	0,345	0,344	0,324	0,322	0.342	0.348
Mn	0,004	0,006	0,004	0,004	0,003	0,005	0.007	0.007	0.003
Mg	0,663	0,640	0,656	0,653	0,653	0,664	0.672	0.651	0.652
Zn	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0.000	0.000	0.000
Ni	0,000	0,003	0,000	0,001	0,003	0,005	0.001	0.003	0.000
Total	3,000	2,999	2,998	3,000	2,999	2,998	3.000	3.001	2.999
XCr	81,42	80,54	81,34	80,95	81.91	81,55	81.53	81.52	81.49
YFe3+	3,18	3,89	2,92	2,92	1.56	3,92	3.85	2.45	3.49
XFe	33,50	35,49	34,20	34,59	34,50	32,80	32.40	34.43	34.60

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chojaie
Echantillon	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	36A-M	18A-M
Site	8	9	14	14	15	15	16	16	2
Position	B	C	C	B	C	B	C	B	C
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,01	0.00
TiO2	0,15	0,16	0,14	0,11	0,15	0,12	0.14	0,09	0.07
Al2O3	9,10	9,21	9,33	9,00	9,01	9,12	8.97	8,67	9.17
Cr2O3	61,02	60,74	60,80	61,32	60,57	60,52	60.81	61,13	60.17
V2O3	0,07	0,20	0,13	0,17	0,05	0,09	0.08	0,10	0.21
Fe2O3 calc	1,96	2,52	1,80	2,77	2,61	2,59	3.24	2,98	3.66
FeO calc	12,50	12,85	12,31	12,46	12,60	12,81	12.27	12,45	12.26
MnO	0,27	0,20	0,13	0,32	0,13	0,26	0.19	0,29	0.21
MgO	13,19	13,16	13,46	13,46	13,28	13,07	13.62	13,36	13.58
ZnO	0,04	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0.00	0,00	0.00
NiO	0,13	0,18	0,00	0,07	0,07	0,09	0.07	0,00	0.12
Total	98,43	99,27	98,10	99,69	98,47	98,67	99.39	99,08	99.45
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0,000	0.000
Ti	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0.003	0,002	0.002
Al	0,353	0,355	0,362	0,345	0,350	0,354	0.345	0,335	0.352
Cr	1,589	1,570	1,583	1,577	1,577	1,574	1.567	1,584	1.549
V	0,002	0,005	0,003	0,004	0,001	0,002	0.002	0,003	0.006
Fe3+	0,049	0,062	0,045	0,068	0,065	0,064	0.079	0,073	0.090
Fe2+	0,344	0,351	0,339	0,339	0,347	0,352	0.335	0,341	0.334
Mn	0,008	0,006	0,004	0,009	0,004	0,007	0.005	0,008	0.006
Mg	0,648	0,641	0,661	0,653	0,652	0,641	0.662	0,653	0.659
Zn	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0,000	0.000
Ni	0,003	0,005	0,000	0,002	0,002	0,002	0.002	0,000	0.003
Total	3,001	3,000	3,000	3,000	3,002	2,999	3.000	2,999	3.000
XCr	81,81	81,57	81,38	82,05	81,85	81,65	81.97	82,55	81.49
YFe3+	2,44	3,13	2,24	3,41	3,24	3,22	3.99	3,68	4.50
XFe	34,70	35,39	33,92	34,17	34,75	35,48	33.58	34,33	33.62

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie
Echantillon	18A-M	18A-M	20A-M	20A-M	20A-M	20A-M	20A-M	20A-M	20A-M
Site	3	6	2	2	2	5	5	5	6
Position	C	C	C	Pt	B	C	B	B	C
SiO2	0,00	0,00	0,02	0,00	0,09	0,00	0.00	0,00	0.00
TiO2	0,25	0,09	0,12	0,17	0,18	0,10	0.14	0,05	0,13
Al2O3	9,53	9,11	9,24	9,46	9,10	8,64	8,73	8,59	9,19
Cr2O3	60,09	60,42	59,19	59,56	59,36	61,04	60.37	62,15	60.94
V2O3	0,00	0,18	0,17	0,24	0,06	0,04	0.19	0,06	0.18
Fe2O3 calc	2,33	3,31	3,38	2,94	3,71	3,68	3.17	3,02	2.82
FeO calc	13,31	12,42	13,02	13,30	12,93	12,95	13,20	12,83	12.93
MnO	0,23	0,45	0,16	0,17	0,12	0,29	0.24	0,31	0.10
MgO	12,96	13,21	12,94	12,87	13,25	13,19	12.89	13,34	13.38
ZnO	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,04	0.00	0,00	0.00
NiO	0,00	0,30	0,00	0,16	0,02	0,01	0,04	0,01	0.00
Total	98,70	99,50	98,35	98,87	98,82	99,96	98.98	100,36	99.66
Si	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0.000	0,000	0.000
Ti	0,006	0,002	0,003	0,004	0,004	0,002	0,004	0,001	0.003
Al	0,369	0,350	0,360	0,366	0,352	0,332	0,339	0,328	0.352
Cr	1,561	1,559	1,545	1,546	1,540	1,572	1.571	1,594	1.568
V	0,000	0,005	0,004	0,006	0,002	0,001	0.005	0,002	0.005
Fe3+	0,058	0,081	0,084	0,073	0,092	0,090	0.079	0.074	0.069
Fe2+	0,366	0,339	0,359	0,365	0,355	0,353	0.363	0,348	0.352
Mn	0,006	0,012	0,005	0,005	0,003	0,008	0.007	0,008	0.003
Mg	0,634	0,643	0,637	0,630	0,648	0,640	0.633	0,645	0.649
Zn	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0.000
Ni	0,000	0,008	0,000	0,004	0,001	0,000	0.001	0,000	0.000
Total	3,000	3,000	3,001	2,999	3,000	2,999	3,002	3,000	3.001
XCr	80,88	81,66	81,12	80,86	81,40	82,58	82.27	82,91	81.66
YFe3+	2,90	4,09	4,22	3,66	4,61	4,52	3.95	3,69	3.47
XFe	36,56	34,52	36,08	36,70	35,39	35,53	36,48	35,05	35.17

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chojaie	Chojaie	Amir	Amir	Amir	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr
Echantillon	20A-M	22A-D	11A-M	11A-M	11A-M	49A-M	49A-M	49A-M	49A-M
Site	6	1	2	2	2	1	1	1	2
Position	B	C	C	Pt	B	C	Pt	B	C
SiO2	0,00	0,05	0,07	0,02	0,00	0,03	0.00	0,22	0.15
TiO2	0,12	0,00	0,11	0,13	0,08	0,10	0.06	0.14	0.13
Al2O3	9,21	9,09	9,65	9,23	8,89	9,16	8,98	7,72	9.45
Cr2O3	60,67	60,26	62,63	62,83	63,57	61,78	61,96	62,32	60.73
V2O3	0,17	0,21	0,01	0,05	0,17	0,12	0.01	0.13	0.15
Fe2O3 calc	3,16	2,93	3,16	3,17	3,46	2,12	2.62	2,61	2.78
FeO calc	13,31	12,05	10,94	10,81	10,13	11,47	11,36	11,15	11.43
MnO	0,10	0,07	0,14	0,03	0,18	0,08	0,16	0,10	0.19
MgO	13,16	13,56	15,15	15,13	15,51	14,19	14,24	14,33	14.30
ZnO	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00
NiO	0,03	0,16	0,09	0,13	0,14	0,08	0.00	0,12	0.19
Total	99,92	98,38	102,00	101,53	102,13	99,13	99.39	98.84	99.50
Si	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0:000	0,007	0.005
Ti	0,003	0,000	0,003	0,003	0,002	0,002	0.001	0,003	0.003
Al	0,353	0,352	0,358	0,344	0,329	0,351	0.343	0,298	0.360
Cr	1,560	1,566	1,557	1,572	1,581	1,587	1.589	1,613	1.552
V	0,005	0,005	0,000	0,001	0,004	0,003	0.000	0.003	0.004
Fe3+	0,077	0,073	0,075	0,075	0,082	0,052	0.064	0.064	0.068
Fe2+	0,362	0,331	0,288	0,286	0,266	0,312	0.308	0.305	0.309
Mn	0,003	0,002	0,004	0,001	0,005	0,002	0,004	0,003	0.005
Mg	0,638	0,664	0,710	0,714	0,727	0,687	0,689	0,699	0.689
Zn	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000
Ni	0,001	0,004	0,002	0,003	0,004	0,002	0,000	0,003	0.005
Total	3,002	3,000	3,000	3,000	3,000	2,999	2,998	2,998	3.000
XCr	81,55	81,64	81,32	82,04	82,75	81,90	82,23	84,41	81.17
YFe3+	3,88	3,64	3,76	3,79	4,11	2,61	3.20	3,25	3.41
XFe	36,20	33,27	28,83	28,62	26,81	31,20	30,92	30,39	30.95

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Nematte	Nematte
Echantillon	50A-M	50A-M	50A-M	50A-M	50A-M	51A-M	51A-M	52A-M	52A-M
Site	2	2	2	3	3	5	5	3	3
Position	C	Pt	B	C	B	C	B	C	B
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0.00
TiO2	0,11	0,12	0,02	0,10	0,05	0,09	0,15	0,00	0.16
Al2O3	9,60	9,79	9,83	9,37	9,31	9,32	9,70	9,30	9.46
Cr2O3	60,78	60,39	60,43	60,65	60,84	61,74	60,73	61,83	61.90
V2O3	0,11	0,09	0,00	0,00	0,15	0,13	0,00	0,00	0.21
Fe2O3 calc	3,43	2,74	2,70	3,97	4,26	2,27	3,17	2,92	2.53
FeO calc	11,53	11,16	11,03	10,90	10,82	11,54	11,19	10,97	11.57
MnO	0,14	0,11	0,21	0,14	0,15	0,16	0,11	0,20	0.21
MgO	14,32	14,33	14,16	14,70	14,85	14,15	14,55	14,35	14.14
ZnO	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
NiO	0,08	0,12	0,27	0,00	0.00	0,07	0,00	0,37	0.49
Total	100,12	98,88	98,65	99,83	100,46	99,46	99.60	99,95	100.67
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0.000
Ti	0,003	0,003	0,000	0,002	0.001	0,002	0,004	0,000	0.004
Al	0,364	0,375	0,377	0,355	0,351	0,356	0,368	0,353	0.357
Cr	1,545	1,550	1,555	1,543	1,539	1,581	1,547	1,576	1.569
V	0,003	0,002	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0.005
Fe3+	0,083	0,067	0,066	0,096	0,102	0,055	0,077	0,071	0.061
Fe2+	0,310	0,303	0,300	0,293	0,290	0,313	0,302	0,296	0.310
Mn	0,004	0,003	0,006	0,004	0,004	0,004	0,003	0,006	0.006
Mg	0,686	0,693	0,687	0,705	0.708	0,683	0,699	0,689	0.675
Zn	0,001	0,001	0,000	0,000	0.000	0,000	0,000	0,000	0.000
Ni	0,002	0,003	0,007	0,000	0,000	0,002	0,000	0,010	0.013
Total	3,001	3,000	2,998	2,998	3.000	3.000	3.000	3,000	3.000
XCr	80,94	80,54	80,48	81,29	81,43	81,63	80,77	81,69	81.45
YFe3+	4,17	3,37	3,31	4,82	5,14	2,78	3,86	3,54	3.07
XFe	31,11	30,41	30,42	29,38	29,02	31,39	30,14	30,03	31.47

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Nematte	Nematte	Nematte	Nematte	Nematte	Nematte	Nazafarine	Nazafarine	Ismaeil
Echantillon	53A-M	53A-M	53A-M	53A-M	53A-M	53A-M	28A-D	28A-D	46A-M
Site	4	4	4	7	7	7	1	1	3
Position	C	Pt	B	C	Pt	B	C	B	C
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,07	0,08	0,09	0,00	0,00	0.00
TiO2	0,04	0,10	0,09	0,10	0,06	0,08	0.10	0,03	0.17
Al2O3	9,43	9,57	9,18	9,73	9,51	9,10	10.06	10,10	11.59
Cr2O3	62,11	61,45	62,31	60,95	61,63	61,91	60.98	60,05	58.60
V2O3	0,08	0,12	0,10	0,01	0,21	0,18	0.00	0.18	0.09
Fe2O3 calc	2,44	2,54	2,30	2,91	2,14	2,19	2.71	2,39	2.37
FeO calc	11,27	11,49	11,56	11,19	10,92	11,37	12.53	12,95	13.11
MnO	0,21	0,24	0,25	0,23	0,22	0,19	0.09	0.32	0.11
MgO	14,32	14,20	14,16	14,44	14,49	14,33	13.83	13,10	13.46
ZnO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,03	0.00
NiO	0,19	0,14	0,12	0,15	0,24	0,00	0,05	0,07	0.08
Total	100,12	99,85	100,07	99,78	99,50	99,44	100,35	99,22	99.58
Si	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000
Ti	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0.004
Al	0,357	0,364	0,349	0,369	0,362	0,347	0,381	0,388	0.440
Cr	1,580	1,567	1,588	1,551	1,573	1,585	1,549	1,547	1.492
V	0,002	0,003	0,003	0,000	0,006	0,005	0,000	0,005	0.002
Fe3+	0,059	0,062	0,056	0,071	0,052	0,053	0,065	0,059	0,058
Fe2+	0,303	0,310	0,312	0,301	0,295	0,308	0,337	0,353	0.353
Mn	0,006	0,006	0,007	0,006	0,006	0,005	0,003	0,009	0,003
Mg	0,687	0,683	0,681	0,693	0,697	0,692	0,662	0,636	0,646
Zn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ni	0,005	0,004	0,003	0,004	0,006	0,000	0,001	0,002	0,002
Total	3,001	3,001	3,001	2,999	3,001	3,000	3,000	3,000	3.000
XCr	81,55	81,16	81,99	80,78	81,30	82,03	80,27	79,96	77.24
YFe3+	2,96	3,09	2,79	3,55	2,62	2,68	3,28	2,95	2.89
XFe	30,63	31,23	31,42	30,31	29,72	30,79	33,70	35,68	35.33

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Reza Balla	Reza Balla
Echantillon	46A-M	47A-M	47A-M	47A-M	47A-M	47A-M	47A-M	71A-M	71A-M
Site	4	1	1	1	2	2	2	6	6
Position	C	C	Pt	B	C	Pt	B	C	B
SiO2	0,03	0,00	0,14	0,00	0,10	0,00	0,00	0,07	0.00
TiO2	0,13	0,17	0,11	0,17	0,13	0,13	0,16	0,09	0,11
Al2O3	10,94	12,13	11,56	12,10	11,71	11,52	11,99	10,49	10,24
Cr2O3	58,52	59,45	59,45	59,48	59,23	58,29	58.95	61,90	61.20
V2O3	0,26	0,04	0,08	0,04	0,17	0,22	0,19	0,16	0,17
Fe2O3 calc	2,60	1,36	1,62	1,62	1,34	2,08	2,10	0,50	1,72
FeO calc	13,31	12,86	13,48	13,65	12,96	12,93	13,23	12,89	12.16
MnO	0,22	0,20	0,19	0,20	0,20	0,23	0,19	0,18	0.11
MgO	13,14	13,70	13,39	13,32	13,56	13,34	13.54	13,46	13.91
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.09	0,01	0.00
NiO	0,00	0,10	0,00	0,10	0,07	0,00	0,00	0,20	0.13
Total	99,13	100,01	100,02	100,68	99,47	98,74	100,44	99,95	99,75
Si	0,001	0,000	0,004	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0.000
Ti	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,002	0.003
Al	0,419	0,457	0,437	0,454	0,444	0,441	0,451	0,398	0,389
Cr	1,503	1,502	1,508	1,498	1,506	1,496	1,486	1,577	1,560
V	0,007	0,001	0,002	0,001	0,004	0,006	0,005	0,004	0,004
Fe3+	0,063	0,033	0,039	0,039	0,032	0,051	0,050	0,012	0,042
Fe2+	0,362	0,344	0,362	0,364	0,349	0,351	0,353	0,347	0,328
Mn	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005	0,003
Mg	0,636	0,652	0,640	0,632	0,650	0,646	0,644	0,647	0.668
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0.000
Ni	0,000	0,003	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,005	0.003
Total	3,000	3,001	3,000	3,000	2,998	3,000	3.000	2,999	3.000
XCr	78,21	76,68	77,53	76,73	77,24	77,24	76.73	79,84	80,04
YFe3+	3,20	1,64	1,97	1,94	1,63	2,55	2.54	0,61	2.10
XFe	36,25	34,50	36,10	36,51	34,91	35,23	35.41	34,95	32,91

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Asssemion	Asssemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Vassate	Reza Vassate	Reza Paeine	Reza Paeine	Reza Paeine
Echantillon	71A-M	71A-M	71A-M	71A-M	1A-D	1A-D	16A-M	16A-M	16A-M
Site	8	8	8	9	2	3	1	1	4
Position	C	Pt	B	C	C	C	C	C	C
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10	0.00	0,00	0.01
TiO2	0,14	0,11	0,13	0,16	0,11	0,08	0.17	0.13	0.09
Al2O3	10,67	10,21	10,33	11,05	9,99	9,86	10,13	9.93	10.70
Cr2O3	60,65	60,14	60,98	61,16	61,23	61,13	60,23	61,08	58.89
V2O3	0,26	0,16	0,00	0,07	0,18	0,09	0,00	0,17	0.10
Fe2O3 calc	1,73	2,20	2,23	1,25	0,10	0,03	2,75	1,53	2.81
FeO calc	12,36	12,12	12,22	11,87	14,23	13,99	13,09	12,95	12.29
MnO	0,24	0,08	0,23	0,14	0,00	0,11	0,18	0,25	0.30
MgO	13,82	13,74	13,90	14,30	12,25	12,40	13,34	13,21	13.59
ZnO	0,00	0,13	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0.00
NiO	0,11	0,08	0,11	0,14	0,22	0,08	0,11	0,13	0.06
Total	99,98	98,97	100,13	100,16	98,36	97,86	100,00	99,38	98.83
Si	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0.000	0,000	0.000
Ti	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0.004	0,003	0.002
Al	0,404	0,391	0,391	0,416	0,389	0,385	0.386	0.381	0.410
Cr	1,541	1,546	1,549	1,544	1,598	1,601	1.539	1.571	1.514
V	0,007	0,004	0,000	0,002	0,005	0,002	0.000	0.004	0.003
Fe3+	0,042	0,054	0,054	0,030	0,003	0,001	0.067	0.037	0.069
Fe2+	0,332	0,329	0,328	0,317	0,393	0,388	0,354	0,352	0.334
Mn	0,007	0,002	0,006	0,004	0,000	0,003	0,005	0,007	0.008
Mg	0,662	0,666	0,666	0,680	0,603	0,612	0,643	0,641	0.659
Zn	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0.000
Ni	0,003	0,002	0,003	0,004	0,006	0,002	0,003	0,003	0.001
Total	3,001	3,000	3,000	3,002	3,000	3,000	3,001	2,999	3.000
XCr	79,22	79,80	79,84	78,79	80,44	80,62	79,96	80,49	78.68
YFe3+	2,11	2,70	2,70	1,51	0,13	0,04	3,36	1,88	3.45
XFe	33,41	33,10	33,04	31,77	39,46	38,76	35,52	35,49	33.66

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Reza Paeine	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-TS
Echantillon	16A-M	18N-D	18N-D	18N-D	41N-D	41N-D	41N-D	41N-D	1N-M
Site	4	1	1	2	1	1	1	2	1
Position	C	C	C	C	C	C	C	C	C
SiO2	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0.05
TiO2	0,11	0,22	0,36	0,11	0,16	0,26	0,25	0,08	0.00
Al2O3	10,29	20,78	20,28	18,74	15,45	12,28	14,88	17,06	13.44
Cr2O3	59,73	43,31	45,36	47,93	50,79	54,00	49,87	50,24	58.44
V2O3	0,09	0,24	0,11	0,05	0,14	0,08	0,14	0,06	0.07
Fe2O3 calc	2,30	4,47	4,07	3,49	3,41	3,12	4,48	3,90	1.38
FeO calc	13,13	19,95	21,25	21,37	20,12	20,15	22,90	17,51	13.05
MnO	0,16	0,33	0,18	0,43	0,24	0,31	0,36	0,32	0.17
MgO	13,12	9,73	9,45	8,88	9,21	8,74	7,49	11,14	13.80
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0.00
NiO	0,12	0,01	0,06	0,04	0,00	0,04	0.10	0,00	0.05
Total	99,06	99,04	101,15	101,05	99,52	98,99	100,52	100,31	100.45
Si	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0.002
Ti	0,003	0,005	0,009	0,003	0,004	0,007	0,006	0,002	0.000
Al	0,395	0,782	0,753	0,703	0,594	0,483	0,576	0,639	0.501
Cr	1,540	1,094	1,129	1,206	1,311	1,424	1,294	1,262	1.461
V	0,002	0,006	0,003	0,001	0,004	0,002	0,004	0,002	0.002
Fe3+	0,056	0,107	0,096	0,084	0,084	0,078	0,111	0,093	0.033
Fe2+	0,358	0,533	0,560	0,569	0,549	0,562	0.629	0,465	0.345
Mn	0,004	0,009	0,005	0,012	0,007	0,009	0,010	0,009	0.005
Mg	0,638	0,463	0,444	0,421	0,448	0,435	0,367	0,528	0.651
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000
Ni	0,003	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0.001
Total	2,999	2,999	3,002	3,000	3,001	3,001	3,002	3,000	3.001
XCr	79,56	58,30	60,01	63,18	68,80	74,68	69,21	66,39	74.47
YFe3+	2,83	5,42	4,88	4,20	4,21	3,95	5,59	4,67	1.64
XFe	35,96	53,49	55,79	57,45	55,07	56,39	63,17	46,86	34.66

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8
Echantillon	1N-M	1N-M	1N-M	1N-M	1N-M	19N-M	19N-M	30N-M	30N-M
Site	1	4	4	5	5	2	2	2	2
Position	B	C	B	C	B	C	B	C	Pt
SiO2	0,09	0,00	0,04	0,08	0,03	0,01	0.00	0.00	0.00
TiO2	0,07	0,02	0,06	0,00	0,00	0.04	0.06	0.07	0.03
Al2O3	13,85	12,95	13,34	12,44	12,02	12,41	12.45	12.19	12.04
Cr2O3	56,72	58,07	58,47	58,98	59,39	58,83	57.96	57.97	57.20
V2O3	0,10	0,08	0,20	0,25	0,13	0,10	0.07	0.19	0.02
Fe2O3 calc	2,08	2,22	1,26	2,07	1,68	2,10	1.93	1.87	2.80
FeO calc	12,82	11,88	13,24	13,01	13,79	12,37	12,32	13.45	12.73
MnO	0,13	0,25	0,12	0,20	0,25	0,11	0.17	0.14	0.10
MgO	13,90	14,28	13,76	13,81	13,09	14,08	13,83	13.05	13.39
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00
NiO	0,16	0,06	0,00	0,08	0,06	0,05	0.04	0.20	0.16
Total	99,92	99,81	100,49	100,92	100,44	100,10	98.82	99.13	98.47
Si	0,003	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000	0.000	0.000	0.000
Ti	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0.002	0.001
Al	0,517	0,485	0,497	0,464	0,453	0,465	0.473	0.464	0.461
Cr	1,422	1,459	1,463	1,475	1,501	1,480	1.476	1.482	1.468
V	0,003	0,002	0,005	0,006	0,003	0,003	0.002	0.005	0.001
Fe3+	0,050	0,053	0,030	0,049	0,040	0,050	0.047	0.045	0.068
Fe2+	0,340	0,316	0,350	0,344	0,369	0,329	0.332	0.364	0.346
Mn	0,003	0,007	0,003	0,005	0,007	0,003	0.005	0.004	0.003
Mg	0,657	0,677	0,649	0,651	0,624	0,668	0.664	0.629	0.648
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000	0.000
Ni	0,004	0,002	0,000	0,002	0,002	0,001	0.001	0.005	0.004
Total	3,001	3,001	2,999	2,999	3,000	3,000	3.000	3.000	3.000
XCr	73,32	75,05	74,62	76,08	76,82	76,07	75.74	76.13	76.12
YFe3+	2,50	2,66	1,50	2,48	2,03	2,52	2.34	2.28	3.42
XFe	34,09	31,81	35,06	34,58	37,15	33,00	33,33	36.64	34.77

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8
Echantillon	30N-M	30N-M	30N-M	30N-M	30N-M	36N-M	36N-M	39N-M	39N-M
Site	2	4	4	7	7	2	2	1	2
Position	B	C	B	C	B	C	B	C	C
SiO2	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0.03	0.00	0.00
TiO2	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,08	0.00	0.07	0.02
Al2O3	9,31	12,02	11,96	12,46	12,22	11,62	11,87	9,12	9.39
Cr2O3	62,01	57,47	56,86	57,54	57,18	59,04	58,45	61.22	60.80
V2O3	0,05	0,05	0,12	0,25	0,21	0,29	0.18	0.00	0.05
Fe2O3 calc	2,15	2,68	2,21	2,28	2,57	2,29	2,25	4.12	3.38
FeO calc	13,52	12,97	12,90	13,28	12,94	13,77	13,42	11.08	10.43
MnO	0,22	0,25	0,24	0,28	0,21	0,14	0.07	0.28	0.23
MgO	12,94	13,29	12,92	13,16	13,25	13,13	13.17	14.57	14.69
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0.11	0.00	0.00
NiO	0,10	0,09	0,20	0,14	0,14	0,09	0.10	0.03	0.10
Total	100,32	98,90	97,41	99,55	98,72	100,45	99,64	100.49	99.10
Si	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0.000	0.000
Ti	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0.002	0.000
Al	0,356	0,458	0,463	0,472	0,467	0,438	0,451	0.345	0.358
Cr	1,589	1,471	1,478	1,463	1,465	1,495	1,488	1.552	1.557
V	0,001	0,001	0,003	0,006	0,006	0,008	0,005	0.000	0.001
Fe3+	0,053	0,065	0,055	0,055	0,063	0,055	0,055	0.099	0.082
Fe2+	0,367	0,351	0,355	0,357	0,351	0,369	0,362	0.297	0.283
Mn	0,006	0,007	0,007	0,008	0,006	0,004	0,002	0.007	0.006
Mg	0,625	0,642	0,633	0,631	0,640	0,627	0,632	0.696	0.709
Zn	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0.000	0.000
Ni	0,003	0,002	0,005	0,004	0,004	0,002	0.003	0.001	0.003
Total	3,001	2,998	2,999	3,000	3,002	3,000	3.000	2.999	2.999
XCr	81,71	76,24	76,14	75,60	75,83	77,32	76,77	81.82	81.28
YFe3+	2,63	3,27	2,74	2,77	3,14	2,78	2,74	4.98	4.13
XFe	36,95	35,37	35,90	36,14	35,39	37,05	36,38	29.92	28.50

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T
Echantillon	39N-M	39N-M	39N-M	39N-M	14N-M	14N-M	14N-M	14N-M	14N-M
Site	3	4	5	6	1	1	4	4	3
Position	C	C	C	C	C	B	C	B	C
SiO2	0,05	0,01	0,00	0,02	0,13	0,00	0.03	0.00	0.03
TiO2	0,07	0,11	0,04	0,08	0,10	0,08	0.05	0.08	0.07
Al2O3	8,84	9,16	9,11	9,02	12,79	14,55	13.15	11.58	13.04
Cr2O3	61,64	60,76	60,96	60,82	56,69	54,55	57.99	59.18	57.79
V2O3	0,14	0,05	0,13	0,03	0,12	0,07	0.18	0.02	0.04
Fe2O3 calc	2,80	3,94	3,46	4,01	1,81	2,19	1.51	0.59	1.98
FeO calc	11,62	10,96	11,08	11,20	12,78	14,52	12.94	16.37	13.05
MnO	0,12	0,11	0,16	0,15	0,19	0,38	0.17	0.25	0.22
MgO	14,13	14,65	14,38	14,41	13,44	12,45	13,72	11.16	13.57
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0.00	0.00	0.00
NiO	0,00	0,03	0,05	0,08	0,23	0,06	0.05	0.03	0.15
Total	99,39	99,77	99,36	99,82	98,28	98,90	99.79	99.26	99.94
Si	0,002	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0.001	0.000	0.001
Ti	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002	0.001	0.002	0.002
Al	0,338	0,348	0,348	0,343	0,488	0,552	0.494	0.447	0.490
Cr	1,583	1,549	1,562	1,553	1,452	1,389	1.461	1.534	1.456
V	0,004	0,001	0,003	0,001	0,003	0,002	0.005	0.000	0.001
Fe3+	0,068	0,096	0,084	0,097	0,044	0,053	0.036	0.014	0.047
Fe2+	0,316	0,296	0,300	0,303	0,346	0,391	0,345	0.449	0.348
Mn	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,010	0.005	0.007	0.006
Mg	0,684	0,704	0,695	0,694	0,649	0,598	0.651	0.545	0.645
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0.000	0.000	0.000
Ni	0,000	0,001	0,001	0,002	0,006	0,002	0.001	0.001	0.004
Total	3,000	3,001	2,998	3,000	2,999	3,000	3.000	2.999	3.000
XCr	82,39	81,66	81,79	81,90	74,84	71,56	74.74	77.43	74.63
YFe3+	3,44	4,80	4,24	4,89	2,23	2,66	1.82	0.72	2.38
XFe	31,57	29,58	30,18	30,37	34,79	39,57	34.61	45.15	35.05

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6
Echantillon	14N-M	14N-M	14N-M	14N-M	14N-M	47N-M	47N-M	17N-M	17N-M
Site	9	9	11	11	12	1	1	3	3
Position	Pt	B	C	B	C	C	B	C	Pt
SiO2	0,05	0,03	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0.02	0.00
TiO2	0,05	0,04	0,08	0,08	0,05	0,03	0.04	0.06	0.09
Al2O3	13,08	13,91	13,08	12,63	13,01	12,13	11.85	13.52	13.71
Cr2O3	58,05	56,99	57,81	56,36	57,50	58,36	58.23	57.96	56.05
V2O3	0,09	0,21	0,06	0,10	0,15	0,13	0.00	0.21	0.13
Fe2O3 calc	2,15	1,05	2,02	2,40	0,73	2,51	1.83	0.84	2.64
FeO calc	13,16	13,42	12,74	15,91	12,98	14,06	13.87	13.83	12.65
MnO	0,21	0,13	0,13	0,42	0,13	0,08	0.13	0.10	0.16
MgO	13,73	13,36	13,88	11,45	13,30	12,99	12.70	13.22	13.51
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00
NiO	0,03	0,09	0,08	0,04	0,09	0,08	0.14	0.06	0.22
Total	100,60	99,23	99,91	99,43	97,97	100,37	98.81	99.82	99.66
Si	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0.000	0.001	0.000
Ti	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0.001	0.001	0.002
Al	0,488	0,524	0,490	0,484	0,498	0,458	0.455	0.508	0.514
Cr	1,453	1,441	1,454	1,450	1,476	1,477	1.498	1.462	1.410
V	0,002	0,005	0,002	0,003	0,004	0,003	0.000	0.005	0.003
Fe3+	0,051	0,025	0,048	0,059	0,018	0,060	0.045	0.020	0.066
Fe2+	0,348	0,359	0,339	0,433	0,352	0,376	0.378	0.369	0.337
Mn	0,006	0,004	0,004	0,012	0,004	0,002	0.004	0.003	0.005
Mg	0,648	0,637	0,658	0,555	0,644	0,620	0.616	0.629	0.655
Zn	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0.000	0.000	0.000
Ni	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0.004	0.002	0.006
Total	3,000	2,999	3,000	3,000	3,000	3,000	3.000	3.000	3.000
XCr	74,86	73,32	74,78	74,96	74,78	76,35	76.72	74.20	73.28
YFe3+	2,57	1,27	2,43	2,95	0,89	3,03	2.25	1.01	3.42
XFe	34,97	36,05	33,98	43,82	35,38	37,77	37.99	36.99	33.94

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6
Echantillon	17N-M	17N-M	17N-M	17N-M	17N-M	17N-M	17N-M	31N-M	31N-M
Site	3	6	6	6	8	8	8	1	1
Position	B	C	Pt	B	C	Pt	B	C	B
SiO2	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0.00
TiO2	0,08	0,07	0,04	0,05	0,00	0,03	0.04	0,03	0.00
Al2O3	13,45	13,27	13,33	13,91	13,39	12,76	13.27	12,39	13.11
Cr2O3	57,02	57,96	57,78	56,61	57,65	56,01	57.62	59,31	58.74
V2O3	0,18	0,17	0,19	0,21	0,07	0,15	0.03	0,08	0.00
Fe2O3 calc	1,16	1,15	1,82	1,91	2,20	1,40	1.08	1,42	2.34
FeO calc	12,97	12,97	13,50	13,83	12,35	12,90	12.91	13,30	12.89
MnO	0,17	0,19	0,19	0,18	0,15	0,22	0.22	0,07	0.14
MgO	13,51	13,54	13,48	13,24	14,06	12,87	13.46	13,46	13.94
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0.11
NiO	0,00	0,18	0,11	0,00	0,15	0,16	0.03	0,14	0.09
Total	98,56	99,50	100,50	99,94	100,02	96,50	98.66	100,21	101.37
Si	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000	0.000
Ti	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0.001	0.001	0.000
Al	0,510	0,500	0,498	0,522	0,500	0,497	0.504	0,466	0.485
Cr	1,452	1,465	1,448	1,425	1,445	1,463	1.467	1,496	1.459
V	0,005	0,004	0,005	0,005	0,002	0,004	0.001	0.002	0.000
Fe3+	0,028	0,028	0,044	0,046	0,052	0,035	0.026	0,034	0.055
Fe2+	0,349	0,347	0,358	0,368	0,328	0,357	0.348	0,355	0.339
Mn	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,006	0,006	0,002	0,004
Mg	0,649	0,645	0,637	0,628	0,665	0,634	0.646	0,640	0.653
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0,000	0.003
Ni	0,000	0,005	0,003	0,000	0,004	0,004	0.001	0,004	0.002
Total	3,001	3,001	3,001	3,000	3,000	3,001	3.000	3,000	3,000
XCr	73,99	74,56	74,41	73,19	74,28	74,65	74.44	76,26	75.04
YFe3+	1,41	1,39	2,19	2,30	2,63	1,75	1.31	1,71	2.77
XFe	35,01	34,96	35,98	36,94	33,01	36,00	34,99	35,67	34,17

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5
Echantillon	9N-M	9N-M	9N-M	9N-M	9N-M	9N-M	26N-M	26N-M	40N-M
Site	1	1	1	2	2	2	2	2	1
Position	C	Pt	B	C	Pt	B	C	B	C
SiO2	0,03	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0.00	0,00	0.04
TiO2	0,03	0,04	0,04	0,06	0,05	0,07	0,00	0,05	0.04
Al2O3	12,81	11,38	13,10	12,12	11,84	12,12	14,89	15,00	15.44
Cr2O3	57,35	58,63	57,89	59,03	58,78	59,29	55.55	56,06	56.47
V2O3	0,16	0,19	0,10	0,09	0,01	0,11	0.00	0,18	0.00
Fe2O3 calc	2,59	3,14	1,70	2,11	2,45	2,17	2.48	2,13	2.45
FeO calc	14,48	14,42	15,11	14,54	14,87	17,67	11,71	11,63	11.95
MnO	0,17	0,28	0,17	0,18	0,17	0,11	0.09	0,12	0.23
MgO	12,72	12,64	12,21	12,74	12,53	11,15	14.56	14,76	14.70
ZnO	0,00	0,00	0,22	0,00	0,02	0,00	0.00	0,00	0.13
NiO	0,18	0,07	0,25	0,14	0,13	0,07	0.14	0,15	0.36
Total	100,52	100,79	100,79	101,02	100,93	102,76	99.43	100,09	101.81
Si	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0.001
Ti	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0.000	0,001	0.001
Al	0,482	0,430	0,493	0,455	0,446	0,454	0,554	0,554	0.561
Cr	1,448	1,487	1,462	1,488	1,487	1,488	1,387	1,389	1.377
V	0,004	0,005	0,003	0,002	0,000	0,003	0.000	0,004	0.000
Fe3+	0,062	0,076	0,041	0,051	0,059	0,052	0.059	0,050	0.057
Fe2+	0,387	0,387	0,403	0,388	0,398	0,469	0.309	0,305	0.308
Mn	0,005	0,008	0,005	0,005	0,005	0,003	0.002	0,003	0,006
Mg	0,606	0,605	0,581	0,606	0,598	0,528	0.685	0,689	0.676
Zn	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.003
Ni	0,005	0,002	0,006	0,004	0,003	0,002	0.004	0,004	0.009
Total	3,001	3,001	3,000	3,000	3,000	3,001	3.000	2,999	3.000
XCr	75,02	77,56	74,78	76,57	76,91	76,64	71.45	71,49	71.05
YFe3+	3,12	3,80	2,05	2,54	2,96	2,60	2.95	2,51	2.85
XFe	38,98	39,03	40,97	39,03	39,96	47,06	31,09	30,67	31.33

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T2	Cheshmeh Bid-T2	Cheshmeh Bid-T2	Cheshmeh Bid-T2	Roni	Roni	Roni	Roni
Echantillon	40N-M	51N-M	51N-M	51N-M	51N-M	25N-M	25N-M	25N-M	25N-M
Site	1	1	1	1	2	1	1	2	2
Position	B	C	Pt	B	B	C	Pt	Pt	B
SiO2	0,00	2,56	3,07	0,12	0,25	0,64	0,00	0.00	0.00
TiO2	0,00	0,02	0,12	0,08	0,04	0,07	0.07	0.11	0.07
Al2O3	15,27	20,09	18,73	21,69	21,37	16,39	15.95	16.03	16.25
Cr2O3	56,08	45,45	42,70	48,49	46,92	53,11	53.36	53.15	53.36
V2O3	0,16	0,00	0,12	0,13	0,12	0,13	0,07	0.08	0.07
Fe2O3 calc	2,40	0,82	2,84	1,70	1,96	0,52	2,39	2.76	1.69
FeO calc	11,43	11,36	11,33	12,89	11,59	12,32	11,98	12.41	12.30
MnO	0,25	0,12	0,15	0,23	0,16	0,00	0,25	0.16	0.25
MgO	14,91	17,19	17,22	14,71	15,13	14,66	14,22	14.16	13.98
ZnO	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0.00	0.00
NiO	0,07	0,04	0,10	0,12	0,13	0,13	0,12	0.09	0.12
Total	100,69	97,65	96,38	100,16	97,67	98,00	98,41	98.95	98.09
Si	0,000	0,078	0,095	0,004	0,008	0,020	0,000	0.000	0.000
Ti	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0.003	0.002
Al	0,560	0,724	0,686	0,779	0,782	0,611	0,597	0.598	0.610
Cr	1,380	1,099	1,049	1,168	1,152	1,329	1,340	1.329	1.344
V	0,004	0,000	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0.002	0.002
Fe3+	0,056	0,019	0,066	0,039	0,046	0,012	0.057	0.066	0.041
Fe2+	0,297	0,291	0,294	0,328	0,301	0,326	0,318	0.328	0.328
Mn	0,007	0,003	0,004	0,006	0,004	0,000	0,007	0.004	0.007
Mg	0,692	0,784	0,797	0,668	0,700	0,692	0,674	0.668	0.664
Zn	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0.000	0.000
Ni	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0.002	0.003
Total	3,000	2,999	2,999	3,000	3,000	2,999	3.000	3.000	3.001
XCr	71,13	60,28	60,46	60,00	59,56	68,49	69,18	68.99	68.78
YFe3+	2,81	1,02	3,69	1,96	2,31	0,63	2,86	3.30	2.03
XFe	30,06	27,05	26,96	32,96	30,06	32,04	32,09	32,96	33.06

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Roni	Roni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni
Echantillon	34N-M	34N-M	4N-M	4N-M	4N-M	4N-M	4N-M	4N-M	4N-M
Site	1	1	2	2	2	5	5	5	7
Position	C	B	C	Pt	B	C	Pt	B	C
SiO2	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0.00	0.00
TiO2	0,09	0,21	0,03	0,06	0,01	0,07	0,01	0.06	0.05
Al2O3	20,44	20,45	20,76	20,64	21,12	21,33	21,48	21.30	21.36
Cr2O3	48,59	48,51	48,42	48,27	49,19	49,14	49,07	49.03	49.78
V2O3	0,06	0,01	0,13	0,14	0,11	0,14	0,13	0.09	0.09
Fe2O3 calc	3,65	2,76	2,48	2,35	1,76	1,97	2,19	1.75	1.95
FeO calc	12,51	14,11	11,89	11,82	12,06	12,92	12,94	12.84	12.18
MnO	0,21	0,25	0,19	0,23	0,15	0,13	0,15	0.16	0.19
MgO	14,73	13,63	14,87	14,79	15,03	14,74	14,74	14.65	15.18
ZnO	0,09	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,08	0.00	0.02
NiO	0,21	0,31	0,14	0,20	0,00	0,02	0,00	0.02	0.16
Total	100,59	100,25	98,98	98,50	99,43	100,46	100.80	99.90	100.96
Si	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000
Ti	0,002	0,005	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0.001	0.001
Al	0,736	0,743	0,755	0,755	0,763	0,766	0,768	0.768	0.761
Cr	1,173	1,183	1,182	1,184	1,193	1,183	1,177	1.186	1.190
V	0,001	0,000	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0.002	0.002
Fe3+	0,084	0,064	0,058	0,055	0,041	0,045	0,050	0.040	0.044
Fe2+	0,319	0,364	0,307	0,307	0,309	0,329	0,328	0.329	0.308
Mn	0,005	0,006	0,005	0,006	0,004	0,003	0.004	0.004	0.005
Mg	0,671	0,627	0,684	0,684	0,687	0,669	0,667	0.668	0.684
Zn	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0.000	0.000
Ni	0,005	0,008	0,004	0,005	0,000	0,000	0,000	0.001	0.004
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,999	2,999	2.999	2.999
XCr	61,46	61,41	61,01	61,07	60,97	60,71	60,51	60.69	60.99
YFe3+	4,21	3,22	2,89	2,75	2,03	2,27	2,51	2.02	2.22
XFe	32,26	36,73	30,97	30,95	31,05	32,96	33,00	32.96	31.05

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni
Echantillon	4N-M	4N-M	5N-D	5N-D	5N-D	20N-D	20N-D	20N-D	20N-D
Site	7	7	3	4	5	4	4	10	10
Position	Pt	B	C	C	C	C	B	C	B
SiO2	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00
TiO2	0,04	0,02	0,00	0,09	0,16	0,00	0.00	0.10	0.03
Al2O3	21,27	21,54	20,46	20,69	20,55	20,54	20.53	20.78	20.57
Cr2O3	49,73	49,96	48,48	48,09	48,62	49,08	48.55	49.68	49.35
V2O3	0,17	0,09	0,04	0,29	0,14	0,15	0.19	0.03	0.27
Fe2O3 calc	1,91	1,34	1,72	2,63	1,83	2,48	2.66	1.30	2.47
FeO calc	12,17	12,19	11,84	12,48	12,49	11,81	11.39	11.94	11.33
MnO	0,12	0,10	0,22	0,17	0,23	0,12	0.05	0.07	0.17
MgO	15,20	15,22	14,62	14,59	14,54	15,08	15.25	15.04	15.43
ZnO	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0.00	0.02	0.00
NiO	0,14	0,02	0,06	0,14	0,00	0,06	0.09	0.07	0.12
Total	100,75	100,52	97,52	99,18	98,55	99,32	98.72	99.04	99.75
Si	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000
Ti	0,001	0,000	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0.002	0.001
Al	0,759	0,769	0,755	0,753	0,752	0,745	0,747	0.754	0.741
Cr	1,191	1,197	1,201	1,174	1,194	1,194	1,186	1,210	1.193
V	0,004	0,002	0,001	0,007	0,004	0,004	0,005	0.001	0.007
Fe3+	0,044	0,031	0,041	0,061	0,043	0,057	0,062	0.030	0.057
Fe2+	0,308	0,309	0,310	0,322	0,325	0,304	0,294	0.308	0.290
Mn	0,003	0,003	0,006	0,004	0,006	0,003	0,001	0.002	0.004
Mg	0,686	0,688	0,683	0,672	0,673	0,692	0,702	0.691	0.704
Zn	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0.001	0.000
Ni	0,003	0,000	0,002	0,003	0,000	0,001	0,002	0.002	0.003
Total	2,999	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,999	3.001	3.000
XCr	61,07	60,88	61,38	60,93	61,35	61,58	61.34	61.59	61.68
YFe3+	2,19	1,53	2,03	3,07	2,15	2,88	3.10	1.51	2.85
XFe	30,99	31,00	31,25	32,44	32,53	30,53	29,54	30.81	29.17

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Rajoni	Rajoni	Khajeh Jamali	Khajeh Jamali	Khajeh Jamali	Neypik	Neypik	Neypik	Neypik
Echantillon	20N-D	20N-D	42N-M	42N-M	42N-M	22N-D	22N-D	21N-M	21N-M
Site	11	11	1	1	1	1	1	2	2
Position	C	B	C	Pt	B	C	B	C	B
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.01	0.00
TiO2	0,00	0,04	0,16	0,09	0,09	0,07	0.20	0.22	0.16
Al2O3	20,54	20,25	20,70	20,66	20,86	16,16	21.20	21.63	21.44
Cr2O3	49,50	49,24	48,52	48,22	48,21	52,94	47.43	47.86	47.46
V2O3	0,29	0,03	0,14	0,29	0,29	0,10	0.26	0.03	0.14
Fe2O3 calc	2,12	2,23	2,13	2,63	1,83	3,68	1.95	2.16	2.80
FeO calc	11,62	11,26	12,73	12,71	12,63	11,09	15.16	12.36	12.99
MnO	0,29	0,22	0,23	0,17	0,17	0,21	0.25	0.15	0.22
MgO	15,11	15,13	14,51	14,49	14,41	15,11	13,07	14.93	14.45
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
NiO	0,13	0,19	0,00	0,14	0,14	0,00	0.01	0.16	0.22
Total	99,62	98,59	99,12	99,40	98,63	99,37	99,53	99.51	99.88
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000
Ti	0,000	0,001	0,004	0,002	0,002	0,002	0,005	0.005	0.004
Al	0,743	0,739	0,754	0,751	0,763	0,596	0.775	0.780	0.774
Cr	1,201	1,206	1,185	1,176	1,183	1,311	1.164	1.158	1.150
V	0,007	0,001	0,004	0,007	0,007	0,003	0.006	0.001	0.004
Fe3+	0,049	0,052	0,050	0,061	0,043	0,087	0.045	0.050	0.065
Fe2+	0,298	0,292	0,329	0,328	0,328	0,291	0.393	0.317	0.333
Mn	0,008	0,006	0,006	0,004	0,004	0,006	0,006	0.004	0.006
Mg	0,691	0,699	0,668	0,666	0,667	0,705	0.605	0.681	0.660
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000	0.000	0.000
Ni	0,003	0,005	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0.004	0.005
Total	3,000	3,001	3,000	2,998	3,000	3,000	2,999	3.000	3.001
XCr	61,78	61,99	61,13	61,02	60,79	68,73	60.02	59.75	59.76
YFe3+	2,46	2,61	2,50	3,07	2,15	4,35	2.29	2.51	3.25
XFe	30,13	29,44	32,99	32,98	32,96	29,18	39.42	31.73	33.53

Tableau 2.5. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Hassankhani	Hassankhani	Hassankhani	Hassankhani	Hassan-Anjirak	Hassan-Anjirak	Anjirak	Anjirak	Anjirak
Echantillon	35N-M	35N-M	35N-M	35N-M	37N-M	37N-M	15N-D	15N-D	15N-D
Site	1	1	2	2	1	1	1	1	1
Position	C	B	C	B	C	B	C	C	B
SiO2	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0.06	0.00	0.00
TiO2	0,00	0,04	0,01	0,03	0,00	0,00	0.07	0.12	0.00
Al2O3	16,44	16,90	16,66	16,41	18,52	19,67	20.58	20.55	20.62
Cr2O3	54,52	54,17	54,29	54,53	50,94	50,20	48.32	48.38	48.47
V2O3	0,16	0,10	0,09	0,23	0,13	0,16	0.02	0.00	0.13
Fe2O3 calc	2,28	1,96	1,76	1,89	1,98	1,86	2.88	2.73	2.84
FeO calc	12,48	12,60	12,44	12,46	11,94	13,29	12.07	12.38	12.26
MnO	0,19	0,20	0,00	0,16	0,27	0,15	0.39	0.32	0.41
MgO	14,38	14,35	14,39	14,45	14,24	13,95	14.84	14.63	14.58
ZnO	0,00	0,00	0,09	0,00	0,34	0,00	0.00	0.00	0.13
NiO	0,18	0,16	0,08	0,19	0,20	0,22	0.00	0.00	0.02
Total	100,62	100,48	99,82	100,43	98,57	99,48	99.22	99.11	99.45
Si	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0.002	0.000	0.000
Ti	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0.002	0.003	0.000
Al	0,602	0,619	0,614	0,602	0,685	0,720	0.748	0.749	0.749
Cr	1,340	1,331	1,342	1,342	1,264	1,232	1.178	1.182	1.181
V	0,004	0,002	0,002	0,006	0,003	0,004	0.000	0.000	0.003
Fe3+	0,053	0,046	0,041	0,044	0,047	0,043	0.067	0.063	0.066
Fe2+	0,324	0,327	0,325	0,324	0,313	0,345	0,311	0.320	0.316
Mn	0,005	0,005	0,000	0,004	0,007	0,004	0.010	0.008	0.011
Mg	0,666	0,664	0,671	0,670	0,667	0,646	0.682	0.674	0.670
Zn	0,000	0,000	0,002	0,000	0,008	0,000	0.000	0.000	0.003
Ni	0,004	0,004	0,002	0,005	0,005	0,005	0.000	0.000	0.001
Total	2,998	2,999	2,999	3,001	3,000	3,000	3.000	3.000	3.000
XCr	68,99	68,25	68,61	69,03	64,85	63.12	61.16	61.23	61.19
YFe3+	2,67	2,30	2,07	2,22	2,35	2.17	3.36	3.18	3.30
XFe	32,75	33,02	32,66	32,61	31,98	34,84	31.33	32.19	32.05

Tableau 3.1. Laurites

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse
Echantillon	38A	38A	38A	38A	38A	38A	38A	38A	38A	38A	38A	38A	39A	39A
Site	3	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	15	2	2
*Position	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B
S	33,45	33,59	12,22	14,13	32,00	16,01	27,87	27,86	25,12	30,02	16,52	17,08	33,01	32,79
As	0,30	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	1,39
Sb	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02
Os	18,27	18,63	8,27	3,23	11,60	7,27	18,80	13,00	11,31	16,00	10,36	10,16	21,96	24,40
Ir	5,23	4,78	1,71	2,01	13,38	4,42	4,58	4,78	8,49	1,91	1,50	2,45	6,28	5,46
Ru	35,35	36,92	14,60	19,37	34,90	17,81	32,09	33,19	27,20	38,59	18,39	20,90	35,11	35,38
Rh	0,82	1,12	0,40	0,42	0,88	0,47	0,96	0,71	0,71	0,87	0,69	0,52	0,41	0,70
Pt	0,09	0,55	0,00	0,37	0,29	0,00	0,00	0,56	0,52	0,00	0,29	0,14	0,45	0,24
Pd	0,20	0,00	0,00	0,18	0,00	0,04	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,56	0,67	0,00	0,08	0,00	0,34	0,29	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Ni	2,40	0,58	0,20	0,58	0,36	0,23	0,26	0,32	0,34	0,30	0,17	0,14	0,25	0,23
Fe	0,86	0,17	5,23	5,09	1,31	4,75	1,83	2,37	2,56	1,60	4,59	5,50	0,67	0,85
Cr	2,26	2,04	23,71	18,82	3,13	17,63	5,84	7,11	12,00	6,63	20,54	18,02	1,78	2,22
Total	99,78	99,05	66,35	64,28	97,95	69,03	92,52	89,89	88,51	95,93	73,07	74,92	101,35	103,70
S	34,50	34,69	32,67	34,67	34,03	34,06	32,71	34,39	33,97	34,23	34,47	32,60	33,30	32,50
As	0,30	0,00	0,01	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	1,38
Sb	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,11	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02
Os	18,84	19,24	22,11	7,92	12,33	15,46	22,06	16,05	15,30	18,25	21,60	19,40	22,16	24,18
Ir	5,39	4,93	4,56	4,94	14,23	9,41	5,37	5,90	11,48	2,17	3,14	4,67	6,33	5,41
Ru	36,46	38,12	39,03	47,53	37,11	37,89	37,65	40,97	36,78	44,00	38,37	39,89	35,41	35,05
Rh	0,85	1,16	1,07	1,02	0,93	1,01	1,13	0,87	0,95	0,99	1,44	0,99	0,41	0,69
Pt	0,09	0,56	0,00	0,92	0,31	0,00	0,00	0,69	0,70	0,00	0,61	0,27	0,45	0,24
Pd	0,20	0,00	0,00	0,45	0,00	0,09	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,58	0,69	0,00	0,20	0,00	0,72	0,34	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Ni	2,47	0,60	0,53	1,42	0,38	0,50	0,31	0,39	0,46	0,35	0,36	0,27	0,25	0,23
Fe	0,31	0,00	0,00	0,94	0,56	0,74	0,43.	0,73	0,00	0,00	0,00	1,90	0,23	0,29
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,974	2,002	1,953	1,929	1,995	1,977	1,954	1,980	2,001	1,970	2,006	1,921	1,982	1,960
As	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035	0,036
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Os	0,182	0,187	0,223	0,074	0,122	0,151	0,222	0,156	0,152	0,177	0,212	0,193	0,222	0,246
Ir	0,051	0,047	0,045	0,046	0,139	0,091	0,054	0,057	0,113	0,021	0,030	0,046	0,063	0,054
Ru	0,662	0,698	0,740	0,839	0,690	0,698	0,714	0,748	0,687	0,803	0,708	0,746	0,669	0,671
Rh	0,015	0,021	0,020	0,018	0,017	0,018	0,021	0,016	0,017	0,018	0,026	0,018	0,008	0,013
Pt	0,001	0,005	0,000	0,008	0,003	0,000	0,000	0,006	0,007	0,000	0,006	0,003	0,004	0,002
Pd	0,003	0,000	0,000	0,007	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,017	0,020	0,000	0,006	0,000	0,021	0,010	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,077	0,019	0,017	0,043	0,012	0,016	0,010	0,012	0,015	0,011	0,011	0,009	0,008	0,008
Fe	0,010	0,000	0,000	0,030	0,019	0,025	0,015	0,024	0,000	0,000	0,000	0,064	0,008	0,010
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Doveisse	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram
Echantillon	39A	39A	40A	40A	40A	40A	40A	40A	40A	3A	3A	3A	3A	3A
Site	3	3	1	2	4	6	7	10	10	2	2	3	3	3
Position	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	B	B
S	27,85	31,17	22,73	30,86	21,76	31,75	11,70	25,11	28,79	31,55	29,24	31.36	28.15	20.22
As	1,60	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,01	0.47	0.00	0.00
Sb	0.00	0.06	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0.08	0.00	0.04
Os	14,09	18,13	12,89	18,20	15,29	22,37	11,15	15,02	18,63	20,80	13,41	13.58	13.18	8.64
Ir	5,71	6,60	5,41	6,65	3,26	8,01	2,80	2,92	3,28	8,33	17,34	8.71	6.61	3.71
Ru	28,64	31,97	25,76	34,29	24,23	31,42	12,52	28,62	32,74	33,99	23,02	35.05	27.09	17.63
Rh	0,44	0,49	0,68	0,83	0,36	0,80	0,55	0,51	0,73	1,01	1,21	0.80	0.54	0.45
Pt	0,74	0,47	0,36	0,52	0,08	0,48	0,35	0,60	0,40	0,59	0,00	0.48	0.00	0.47
Pd	0,26	0,00	0,00	0,00	0,35	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0.54	0.00
Cu	5,07	4,84	0,03	0,00	0,00	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	1,60	2,83	6,99	9,10
Ni	0,25	0,23	0,37	0,19	0,15	0,43	0,22	0,31	0,35	0,01	6,13	0,22	2,15	0,86
Fe	1,86	1,28	3,21	1,27	3,29	0,92	5,50	2,22	1,21	0,58	3,81	1,65	3,17	5,59
Cr	2,36	3,75	13,56	5,27	14,58	3,61	22,27	10,97	4,63	2,23	3,43	3,54	5,87	14,45
Total	88,87	100,99	85,01	98,10	83,38	100,18	67,12	86,28	90,75	99,37	99,20	98,87	94,29	81,16
S	32,41	32,36	33,32	33,71	33,22	33,18	29,73	34,35	33,88	32,66	30,81	33,21	32,37	32,04
As	1,86	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,27	0,01	0,50	0,00	0,00
Sb	0,00	0,06	0,00	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,08	0,00	0,06
Os	16,39	18,83	18,89	19,88	23,33	23,39	28,34	20,54	21,92	21,53	14,12	14,38	15,16	13,69
Ir	6,65	6,86	7,92	7,27	4,97	8,37	7,11	4,00	3,86	8,63	18,27	9,22	7,60	5,87
Ru	33,33	33,20	37,76	37,45	36,99	32,85	31,81	39,15	38,54	35,19	24,25	37,11	31,16	27,95
Rh	0,51	0,50	0,99	0,91	0,55	0,84	1,40	0,69	0,85	1,05	1,28	0,85	0,62	0,71
Pt	0,86	0,49	0,53	0,57	0,13	0,50	0,89	0,82	0,47	0,61	0,00	0,51	0,00	0,75
Pd	0,31	0,00	0,00	0,00	0,54	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,62	0,00
Cu	5,90	5,02	0,04	0,00	0,00	0,09	0,10	0,00	0,00	0,00	1,68	2,99	8,04	14,42
Ni	0,29	0,24	0,54	0,20	0,23	0,45	0,56	0,43	0,41	0,01	6,46	0,23	2,47	1,37
Fe	1,48	0,36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06	0,03	3,11	0,81	1,96	3,13
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,869	1,895	1,979	1,997	1,985	2,004	1,908	2,001	1,991	1,981	1,830	1,928	1,833	1,768
As	0,046	0,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,012	0,000	0,000
Sb	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Os	0,159	0,186	0,189	0,198	0,235	0,238	0,307	0,202	0,217	0,220	0,141	0,141	0,145	0,127
Ir	0,064	0,067	0,078	0,072	0,050	0,084	0,076	0,039	0,038	0,087	0,181	0,089	0,072	0,054
Ru	0,609	0,617	0,711	0,704	0,701	0,629	0,648	0,724	0,718	0,677	0,457	0,684	0,560	0,489
Rh	0,009	0,009	0,018	0,017	0,010	0,016	0,028	0,013	0,016	0,020	0,024	0,015	0,011	0,012
Pt	0,008	0,005	0,005	0,006	0,001	0,005	0,009	0,008	0,005	0,006	0,000	0,005	0,000	0,007
Pd	0,005	0,000	0,000	0,000	0,010	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,011	0,000
Cu	0,172	0,148	0,001	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,050	0,088	0,230	0,401
Ni	0,009	0,008	0,018	0,007	0,008	0,015	0,020	0,014	0,013	0,000	0,210	0,007	0,076	0,041
Fe	0,049	0,012	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001	0,106	0,027	0,064	0,099
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Bahram	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine
Echantillon	6A	6A	6A	6A	74A	74A	74A	74A	23A	23A	24A	24A	25A	25A
Site	1	2	2	5	1	1	1	1	1	1	3	3	1	3
Position	C	C	C	C	C	B	B	C	C	B	C	C	C	B
S	31,31	23,60	21,10	29,81	34,67	32,80	33,23	18,69	33,64	34,56	2.39	24.88	20.16	31.00
As	0,03	0,00	0,00	0,00	1,88	2,01	1,81	1,28	0,00	0,00	0,00	0.00	1.40	1.21
Sb	0,08	0,00	0,00	0,12	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00
Os	15,38	8,81	7,04	33,64	15,42	3,18	16,35	6,60	16,58	17,98	2,10	21,20	12.63	26.21
Ir	6,49	4,54	3,29	8,61	7,63	0,94	7,32	3,74	4,92	4,87	0,48	3,46	3.03	8.92
Ru	37.96	28,87	24,61	21,84	39,84	7,57	38,30	18,56	40,96	41,43	1,98	26.56	23.58	27.17
Rh	1.41	0,98	0,67	0,63	0,99	0,51	1,25	0,58	0,91	0,90	0,39	0,63	0.65	1.05
Pt	0,94	0,16	0,44	0,32	0,00	0,01	0,24	0,37	0,25	0,39	0,00	0.69	0.24	0.82
Pd	0,28	0,35	0,15	0,27	0,01	0,10	0,40	0,06	0,00	0,13	0,17	0,00	0.02	0.00
Cu	0,23	1,84	1,50	1,63	0,00	0,05	0,00	0,06	0,02	0,00	0,03	0,02	0.00	0,27
Ni	0,07	0,16	0,08	0,12	0,06	0,36	0,08	0,32	0,07	0,05	0,00	0,02	0.10	0,14
Fe	1,68	2,80	3,65	1,01	0,87	8,07	0,15	4,95	0,74	0,00	8,86	2,26	3.81	1,24
Cr	5,77	8,25	10,30	3,82	2,10	3,55	1,48	17,71	2,09	0,97	32,05	10,60	15,90	2,62
Total	101,62	80,34	72,83	101,82	103,48	59,17	100,61	72,93	100,18	101,30	48,44	90,32	81,52	100,64
S	33,16	33,70	35,19	30,72	34,37	59,92	33,58	36,80	34,48	34,45	28,52	32,12	32,62	31,84
As	0,03	0,00	0,00	0,00	1,87	3,67	1,82	2,52	0,00	0,00	0,02	0,00	2,26	1,24
Sb	0,09	0,00	0,00	0,13	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Os	16,29	12,58	11,75	34,66	15,29	5,81	16,52	12,99	16,99	17,93	25,02	27,37	20,44	26,92
Ir	6,87	6,48	5,49	8,87	7,57	1,72	7,39	7,36	5,04	4,85	5,69	4,46	4,90	9,16
Ru	40,20	41,22	41,04	22,51	39,51	13,82	38,70	36,54	41,97	41,30	23,64	34,29	38,15	27,90
Rh	1,49	1,39	1,12	0,65	0,98	0,93	1,26	1,14	0,93	0,90	4,64	0,81	1,06	1,07
Pt	1,00	0,23	0,73	0,33	0,00	0,02	0,24	0,72	0,25	0,39	0,01	0,89	0,39	0,84
Pd	0,30	0,49	0,25	0,28	0,01	0,18	0,40	0,13	0,00	0,13	2,03	0,00	0,03	0,00
Cu	0,24	2,63	2,51	1,68	0,00	0,09	0,00	0,11	0,02	0,00	0,31	0,02	0,00	0,28
Ni	0,08	0,23	0,14	0,12	0,06	0,66	0,08	0,64	0,07	0,05	0,01	0,02	0,16	0,14
Fe	0,25	1,05	1,80	0,06	0,34	13,13	0,00	1,03	0,23	0,00	10,08	0,00	0,00	0,60
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,956	1,920	1,954	1,982	1,980	2,383	1,965	2,029	1,989	1,995	1,739	1,975	1,940	1,977
As	0,001	0,000	0,000	0,000	0,046	0,062	0,046	0,060	0,000	0,000	0,001	0,000	0,058	0,033
Sb	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,162	0,121	0,110	0,377	0,148	0,039	0,163	0,121	0,165	0,175	0,257	0,284	0,205	0,282
Ir	0,068	0,062	0,051	0,095	0,073	0,011	0,072	0,068	0,048	0,047	0,058	0,046	0,049	0,095
Ru	0,752	0,745	0,723	0,461	0,722	0,174	0,719	0,639	0,768	0,759	0,457	0,669	0,720	0,549
Rh	0,027	0,025	0,019	0,013	0,018	0,012	0,023	0,020	0,017	0,016	0,088	0,016	0,020	0,021
Pt	0,010	0,002	0,007	0,003	0,000	0,000	0,002	0,007	0,002	0,004	0,000	0,009	0,004	0,009
Pd	0,005	0,008	0,004	0,005	0,000	0,002	0,007	0,002	0,000	0,002	0,037	0,000	0,000	0,000
Cu	0,007	0,076	0,070	0,055	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,010	0,001	0,000	0,009
Ni	0,002	0,007	0,004	0,004	0,002	0,014	0,003	0,019	0,002	0,002	0,000	0,001	0,005	0,005
Fe	0,008	0,034	0,057	0,002	0,011	0,300	0,000	0,033	0,008	0,000	0,353	0,000	0,000	0,021
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Yassamine	Keramat	Keramat	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar
Echantillon	25A	25A	25A	25A	31A	31A	31A	31A	31A	8A	8A	5A	5A	10A	10A
Site	3	3	4	4	3	3	4	4	1	1	1	3	5	1	1
Position	C	B	C	C	C	B	C	B	C	C	C	C	C	C	C
S	31,33	30,53	33,87	35,92	33,83	33,33	30,41	29,16	15,10	15,91	34,41	26.48	27.94	30.15	
As	1.17	1,02	2,38	2,27	0,24	0,03	0,37	0,37	0,64	0,00	0,09	1.16	0.00	0.06	
Sb	0.00	0,00	0,17	0,00	0,05	0,09	0,00	0,05	0,06	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00	
Os	26,03	27,67	4,78	5,76	16,15	14,93	30,55	30,47	22,28	17,43	17,66	17.65	16.57	18.75	
Ir	9.37	8,48	6,76	6,08	6,56	6,35	12,15	11,90	6,93	5,41	5,76	7.08	8.03	9.16	
Ru	27.11	25,18	45,70	46,23	39,07	40,40	23,89	22,57	12,64	10,31	36,90	28,67	29.10	31.76	
Rh	1,27	0,80	1.36	1,34	1,31	1,69	0,56	0,75	0,25	0,21	2,82	1.73	1.59	2.04	
Pt	0,13	0,54	0,56	0,12	0,41	0,07	0,29	0,43	0,00	0,40	0,46	0.57	0.24	0.70	
Pd	0,50	0,06	0,13	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0.00	0,31	
Cu	0,00	1,57	0,00	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,18	0,11	0,00	0,06	1,36	0,80	
Ni	0,36	1,78	0,94	0,43	0,06	0,06	0,07	0,07	0,55	1,32	0,22	0,00	0,06	0,01	
Fe	0,49	1,27	1,64	0,86	1,00	0,66	1,17	1,30	1,27	1,56	0,63	1,42	0,35	1,02	
Cr	2,65	2,84	1,05	1,30	1,52	1,10	2,21	3,17	2,23	7,98	1,99	8,58	2,33	2,95	
Total	100,41	101,74	99,33	100,39	100,20	98,71	101,69	100,22	62,13	60,65	101,31	93,42	87,58	97,70	
S	32,21	31,09	34,56	36,36	34,41	34,24	30,74	31,67	25,44	31,12	34,82	31,74	32,91	32,06	
As	1,21	1,04	2,43	2,30	0,25	0,03	0,37	0,14	1,07	0,00	0,09	1,39	0,00	0,06	
Sb	0,00	0,00	0,17	0,00	0,05	0,09	0,00	0,12	0,10	0,00	0,07	0,02	0,00	0,00	
Os	26,76	28,18	4,87	5,83	16,42	15,34	30,88	29,78	37,54	34,11	17,87	21,15	19,52	19,94	
Ir	9,63	8,64	6,89	6,15	6,67	6,53	12,28	11,80	11,67	10,58	5,83	8,49	9,46	9,74	
Ru	27,87	25,64	46,63	46,81	39,74	41,50	24,14	25,16	21,30	20,17	37,34	34,37	34,28	33,79	
Rh	1,30	0,81	1,38	1,36	1,33	1,73	0,56	0,68	0,42	0,42	2,85	2,07	1,87	2,16	
Pt	0,14	0,55	0,57	0,12	0,42	0,07	0,29	0,60	0,00	0,78	0,46	0,69	0,28	0,75	
Pd	0,51	0,06	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,33	
Cu	0,00	1,60	0,00	0,04	0,01	0,00	0,03	0,03	0,31	0,22	0,00	0,08	1,60	0,85	
Ni	0,37	1,81	0,96	0,43	0,06	0,06	0,07	0,02	0,93	2,59	0,22	0,00	0,08	0,01	
Fe	0,00	0,57	1,40	0,54	0,63	0,39	0,62	0,00	1,21	0,00	0,13	0,00	0,00	0,30	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
S	1,994	1,929	1,909	1,975	1,989	1,978	1,985	2,018	1,798	1,994	2,010	1,942	1,969	1,951	
As	0,032	0,028	0,057	0,053	0,006	0,001	0,010	0,004	0,032	0,000	0,002	0,037	0,000	0,002	
Sb	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	
Os	0,279	0,295	0,045	0,053	0,160	0,149	0,336	0,320	0,447	0,368	0,174	0,218	0,197	0,205	
Ir	0,099	0,089	0,064	0,056	0,064	0,063	0,132	0,125	0,138	0,113	0,056	0,087	0,094	0,099	
Ru	0,547	0,505	0,817	0,806	0,729	0,761	0,495	0,509	0,478	0,410	0,684	0,667	0,651	0,652	
Rh	0,025	0,016	0,024	0,023	0,024	0,031	0,011	0,014	0,009	0,008	0,051	0,039	0,035	0,041	
Pt	0,001	0,006	0,005	0,001	0,004	0,001	0,003	0,006	0,000	0,008	0,004	0,007	0,003	0,007	
Pd	0,010	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,006	
Cu	0,000	0,050	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,011	0,007	0,000	0,002	0,048	0,026	
Ni	0,012	0,061	0,029	0,013	0,002	0,002	0,003	0,001	0,036	0,091	0,007	0,000	0,002	0,000	
Fe	0,000	0,020	0,044	0,017	0,021	0,013	0,023	0,000	0,049	0,000	0,004	0,000	0,000	0,011	
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine
Echantillon	32A	33A	33A	33A	33A	33A	33A	34A	34A	34A	34A	34A	34A	34A
Site	4	3	3	5	7	11	11	5	6	7	8	9	11	11
Position	C	C	B	C	C	C	B	C	C	C	C	C	C	C
S	32,36	31,55	30,46	27,58	32,55	31,77	31,13	33,73	27,81	33,55	23,58	30,45	12,33	13,09
As	0,29	2,14	1,76	0,00	0,26	0,36	0,30	0,22	3,47	0,25	0,57	0,00	0,41	0,27
Sb	0,14	0,08	0,02	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	15,85	14,04	13,67	9,42	12,41	16,32	17,67	12,59	11,67	17,44	14,91	13,04	1,82	0,66
Ir	10,36	12,16	11,98	8,02	6,95	11,95	11,54	12,64	10,54	10,30	10,85	11,90	2,24	2,36
Ru	36,32	35,51	34,03	36,70	39,87	32,96	33,36	37,31	32,83	36,86	22,86	35,12	15,09	15,57
Rh	2,24	1,67	1,91	1,93	2,17	1,23	1,35	1,84	2,58	2,34	1,20	1,37	1,16	1,12
Pt	0,37	0,00	0,28	0,34	0,22	0,64	0,24	0,40	0,43	0,61	0,61	0,21	0,94	0,43
Pd	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,43
Cu	0,84	0,02	0,00	0,27	0,05	0,17	0,12	0,00	0,00	0,47	1,48	0,41	0,00	0,00
Ni	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,19	0,07	0,08	0,00	0,07	0,33	0,27	0,00	0,00
Fe	0,59	0,29	0,71	0,46	0,61	0,68	0,68	0,34	1,24	0,47	2,11	0,88	0,53	0,60
Cr	1,66	1,46	3,70	2,54	0,87	1,34	2,75	1,94	5,64	2,26	10,53	3,08	4,09	2,87
Total	101,02	99,00	98,52	87,53	95,96	97,72	99,20	101,09	96,21	104,63	89,04	96,73	38,82	37,41
S	32,71	32,44	32,36	32,63	34,31	33,07	32,50	34,13	31,13	32,93	30,86	32,78	36,06	38,57
As	0,29	2,20	1,87	0,00	0,28	0,37	0,32	0,22	3,89	0,24	0,74	0,00	1,20	0,79
Sb	0,14	0,09	0,02	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Os	16,02	14,43	14,53	11,14	13,08	16,99	18,45	12,74	13,06	17,12	19,52	14,04	5,32	1,94
Ir	10,47	12,51	12,73	9,49	7,33	12,44	12,05	12,80	11,80	10,11	14,20	12,81	6,54	6,96
Ru	36,71	36,52	36,16	43,42	42,02	34,32	34,83	37,76	36,75	36,17	29,93	37,81	44,12	45,88
Rh	2,26	1,71	2,03	2,28	2,28	1,28	1,41	1,86	2,89	2,30	1,58	1,48	3,39	3,31
Pt	0,37	0,00	0,30	0,40	0,23	0,67	0,25	0,41	0,48	0,60	0,80	0,23	2,74	1,27
Pd	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	1,27
Cu	0,85	0,02	0,00	0,32	0,05	0,18	0,12	0,00	0,00	0,46	1,93	0,44	0,00	0,00
Ni	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,20	0,07	0,08	0,00	0,07	0,43	0,29	0,00	0,00
Fe	0,18	0,00	0,00	0,00	0,42	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,952	1,943	1,946	1,923	1,972	1,984	1,974	2,001	1,883	1,969	1,922	1,958	1,994	2,045
As	0,008	0,056	0,048	0,000	0,007	0,010	0,008	0,006	0,101	0,006	0,020	0,000	0,028	0,018
Sb	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,161	0,146	0,147	0,111	0,127	0,172	0,189	0,126	0,133	0,173	0,205	0,141	0,050	0,017
Ir	0,104	0,125	0,128	0,093	0,070	0,125	0,122	0,125	0,119	0,101	0,148	0,128	0,060	0,062
Ru	0,695	0,694	0,690	0,812	0,766	0,653	0,671	0,702	0,705	0,686	0,591	0,716	0,774	0,772
Rh	0,042	0,032	0,038	0,042	0,041	0,024	0,027	0,034	0,054	0,043	0,031	0,027	0,058	0,055
Pt	0,004	0,000	0,003	0,004	0,002	0,007	0,002	0,004	0,005	0,006	0,008	0,002	0,025	0,011
Pd	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,020
Cu	0,025	0,001	0,000	0,010	0,001	0,005	0,004	0,000	0,000	0,014	0,061	0,013	0,000	0,000
Ni	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,007	0,002	0,003	0,000	0,002	0,015	0,009	0,000	0,000
Fe	0,006	0,000	0,000	0,000	0,014	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chojaie	Chojaie
Echantillon	35A	35A	35A	35A	35A	35A	35A	36A	36A	36A	36A	36A	18A	18A
Site	2	2	4	5	7	8	8	5	5	15	17	17	1	2
Position	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C	C	B	C	C
S	27,86	25,26	24,62	17,36	31,77	27,39	28,80	31,42	32,84	32,51	32,22	32,64	30,29	29.60
As	0,00	0,00	0,24	0,00	0,21	0,00	0,37	0,00	0,00	0,16	0,12	0,00	1.39	0.00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,37	0,00	0,05	0,09	0,00	0.05
Os	15,76	11,84	11,85	19,89	12,92	30,54	30,62	16,87	16,16	16,64	12,06	13,85	12,55	18,88
Ir	8,67	7.73	8,14	3,95	8,43	6,85	7,56	9,12	9,60	10,70	12,51	11,65	8,89	3,05
Ru	34,01	30,37	26,68	15,90	38,62	19,17	20,05	33,42	35,41	34,19	35,10	36,82	36,33	35,51
Rh	0,96	0,91	2,24	0,97	1,34	0,89	0,84	1.98	2,56	1,68	2,06	1,74	2,00	0.66
Pt	0,52	0,14	0,69	0,31	0,42	0,32	0,23	0,16	0,28	0,64	0,05	0,45	0,75	0,09
Pd	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,13	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04
Cu	2,77	3,08	0,08	0,16	0,75	0,27	0,17	0,70	0,04	0,67	0,16	0,40	0,00	1,75
Ni	0,05	0,05	0,53	0,07	0,03	0,22	0,07	0,00	0,10	0,18	0,14	0,16	0,16	0,01
Fe	0,68	1,35	2,73	3,49	0,96	1,32	1,48	0,30	0,23	0,92	0,00	0,35	1,09	1,90
Cr	2,68	2,95	9,81	17,46	3,59	6,40	3,27	0,91	0,89	2,19	1,27	1,88	4,37	2,96
Total	94,02	83,93	87,59	79,58	99,04	93,37	93,45	94,95	98,61	100,54	95,74	100,04	97,83	94,50
S	30,73	31,48	32,68	29,61	33,60	31,97	32,22	33,50	33,68	33,24	34,10	33,37	32,80	32,60
As	0,00	0,00	0,31	0,00	0,23	0,00	0,41	0,00	0,00	0,16	0,12	0,00	1,50	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,38	0,00	0,06	0,09	0,00	0,06
Os	17,38	14,75	15,73	33,92	13,66	35,65	34,27	17,98	16,57	17,01	12,77	14,16	13,59	20,79
Ir	9,56	9,63	10,80	6,74	8,91	8,00	8,46	9,72	9,85	10,94	13,24	11,91	9,62	3,36
Ru	37,51	37,84	35,42	27,12	40,84	22,38	22,44	35,63	36,32	34,96	37,15	37,65	39,33	39,10
Rh	1,06	1,13	2,97	1,66	1,42	1,03	0,93	2,11	2,63	1,71	2,18	1,78	2,17	0,73
Pt	0,58	0,17	0,91	0,54	0,44	0,37	0,26	0,17	0,29	0,65	0,06	0,46	0,81	0,10
Pd	0,06	0,32	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,13	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04
Cu	3,06	3,84	0,10	0,27	0,79	0,32	0,19	0,75	0,04	0,68	0,17	0,41	0,00	1,93
Ni	0,06	0,06	0,70	0,12	0,03	0,25	0,07	0,00	0,10	0,18	0,14	0,16	0,17	0,01
Fe	0,01	0,76	0,37	0,00	0,07	0,00	0,74	0,07	0,01	0,38	0,00	0,00	0,00	1,27
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,875	1,871	1,952	1,937	1,960	2,036	2,031	1,987	1,992	1,978	1,999	1,977	1,940	1,916
As	0,000	0,000	0,008	0,000	0,006	0,000	0,011	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,038	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Os	0,179	0,148	0,158	0,374	0,134	0,383	0,364	0,180	0,165	0,171	0,126	0,141	0,135	0,206
Ir	0,097	0,096	0,108	0,074	0,087	0,085	0,089	0,096	0,097	0,109	0,129	0,118	0,095	0,033
Ru	0,726	0,714	0,671	0,563	0,756	0,452	0,449	0,670	0,681	0,660	0,691	0,707	0,738	0,729
Rh	0,020	0,021	0,055	0,034	0,026	0,021	0,018	0,039	0,048	0,032	0,040	0,033	0,040	0,013
Pt	0,006	0,002	0,009	0,006	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003	0,006	0,001	0,005	0,008	0,001
Pd	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Cu	0,094	0,115	0,003	0,009	0,023	0,010	0,006	0,022	0,001	0,020	0,005	0,012	0,000	0,057
Ni	0,002	0,002	0,023	0,004	0,001	0,009	0,003	0,000	0,003	0,006	0,005	0,005	0,006	0,000
Fe	0,000	0,026	0,013	0,000	0,002	0,000	0,027	0,003	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,043
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Amir	Amir	Amir	Amir	Amir	Amir	Amir	Fétr	Fétr
Echantillon	18A	20A	20A	20A	20A	9A	9A	9A	9A	11A	11A	11A	48A	48A
Site	3	1	2	4	5	2	4	4	5	1	3	4	1	3
Position	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C	C	C	C	C
S	23,31	31,29	29,57	20,12	34,41	35,13	32,35	32,55	33,15	9,87	26,72	29,72	22,10	21,01
As	0,24	0,02	0,00	0,00	0,02	3,02	3,42	3,46	1,84	0,00	0,47	0,38	2,45	3,47
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,07	0,00
Os	20,10	16,64	12,17	10,03	15,13	6,74	9,63	11,67	18,37	7,40	13,38	14,96	4,81	8,00
Ir	10,31	8,09	7,40	5,30	3,40	5,77	9,82	10,08	9,22	4,03	11,01	11,17	22,43	5,55
Ru	24,59	33,56	33,26	19,62	42,98	47,92	38,03	37,78	32,24	9,91	27,06	34,40	26,39	27,52
Rh	1,04	1,56	0,70	0,50	0,70	2,51	2,66	2,95	3,13	0,41	1,50	1,70	2,16	2,11
Pt	0,42	0,57	0,54	0,14	0,41	0,00	0,16	0,23	0,61	0,22	0,27	0,22	0,41	0,00
Pd	0,05	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,09	0,31	0,00	0,04	0,00	0,00
Cu	2,58	0,00	0,07	0,06	0,08	0,15	0,00	0,00	0,00	0,31	0,36	0,03	6,59	0,14
Ni	0,00	0,06	0,25	3,04	0,22	0,06	0,00	0,00	0,00	0,11	0,12	0,06	0,20	0,10
Fe	2,06	1,17	2,23	5,01	0,64	0,36	0,16	0,19	0,85	6,26	0,86	0,68	1,55	2,68
Cr	6,58	3,87	6,24	15,69	2,08	2,71	2,81	1,88	2,75	24,98	7,93	2,85	9,58	14,28
Total	91,27	96,80	92,77	79,51	100,06	104,36	99,15	100,96	102,26	63,81	89,73	96,24	98,71	84,87
S	28,07	34,02	34,79	33,59	35,31	34,68	33,63	32,92	33,55	30,28	33,01	32,05	25,23	30,94
As	0,29	0,02	0,00	0,00	0,02	2,98	3,55	3,50	1,86	0,01	0,58	0,41	2,79	5,11
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,08	0,00
Os	24,20	18,09	14,32	16,74	15,53	6,66	10,01	11,80	18,59	22,72	16,53	16,13	5,49	11,78
Ir	12,41	8,79	8,71	8,84	3,49	5,69	10,21	10,19	9,33	12,38	13,60	12,05	25,61	8,17
Ru	29,61	36,49	39,15	32,75	44,10	47,30	39,54	38,20	32,63	30,42	33,44	37,11	30,12	40,53
Rh	1,25	1,69	0,83	0,83	0,71	2,48	2,77	2,98	3,17	1,24	1,85	1,83	2,46	3,11
Pt	0,50	0,62	0,63	0,24	0,42	0,00	0,16	0,24	0,61	0,67	0,33	0,24	0,46	0,00
Pd	0,06	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,10	0,95	0,00	0,05	0,00	0,00
Cu	3,11	0,00	0,08	0,10	0,08	0,15	0,00	0,00	0,00	0,95	0,45	0,03	7,52	0,21
Ni	0,00	0,06	0,30	5,08	0,22	0,05	0,00	0,00	0,00	0,34	0,15	0,07	0,23	0,15
Fe	0,50	0,22	0,78	1,82	0,12	0,00	0,00	0,00	0,16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,827	2,005	1,999	1,921	1,998	1,930	1,940	1,927	1,989	1,920	1,986	1,946	1,647	1,839
As	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,071	0,088	0,088	0,047	0,000	0,015	0,011	0,078	0,130
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000
Os	0,266	0,180	0,139	0,161	0,148	0,062	0,097	0,116	0,186	0,243	0,168	0,165	0,060	0,118
Ir	0,135	0,086	0,083	0,084	0,033	0,053	0,098	0,100	0,092	0,131	0,136	0,122	0,279	0,081
Ru	0,612	0,682	0,713	0,594	0,791	0,835	0,724	0,709	0,614	0,612	0,638	0,715	0,624	0,764
Rh	0,025	0,031	0,015	0,015	0,013	0,043	0,050	0,054	0,059	0,025	0,035	0,035	0,050	0,058
Pt	0,005	0,006	0,006	0,002	0,004	0,000	0,002	0,002	0,006	0,007	0,003	0,002	0,005	0,000
Pd	0,001	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,018	0,000	0,001	0,000	0,000
Cu	0,102	0,000	0,002	0,003	0,002	0,004	0,000	0,000	0,000	0,030	0,014	0,001	0,248	0,006
Ni	0,000	0,002	0,009	0,159	0,007	0,002	0,000	0,000	0,000	0,012	0,005	0,002	0,008	0,005
Fe	0,019	0,007	0,026	0,060	0,004	0,000	0,000	0,000	0,006	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Fétr	Nematte
Echantillon	48A	48A	48A	48A	49A	50A	50A	51A	51A	51A	51A	51A	51A	52A
Site	5	6	7	8	4	2	2	1	1	2	3	5	5	3
Position	C	C	C	C	C	C	B	C	C	C	C	C	B	C
S	32,42	27,50	14,17	23,69	15,57	33,80	33,10	22,10	22,09	28,51	27,93	30,72	16.19	30.46
As	1,67	1,83	6,37	2,02	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,53	0.00	3.03
Sb	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,03	0,00	0,00	0,11	0.00	0.00	0.00
Os	19,20	20,84	1,85	7,73	9,72	14,35	13,66	13,76	12,40	3,45	14,71	9,88	5.23	18.90
Ir	7,60	6,63	13,20	7,09	5,13	7,65	7,80	7,63	7,31	2,75	8,08	8.38	4.57	15.47
Ru	35,12	28,80	17,44	30,07	16,27	40,47	40,00	24,18	24,46	42,38	32,74	38,15	18.45	27.77
Rh	2,06	1.15	2,34	2,60	1,18	1,65	1,71	1,67	1,56	3,42	2,80	2.04	1.41	1.51
Pt	0,53	0,34	0,00	0,10	0,26	0,15	0,69	0,10	0,32	0,56	0,65	0,45	0.35	0.24
Pd	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0.14
Cu	0,13	0,79	0,36	2,77	0,53	0,03	0,00	0,37	0,35	0,86	0,04	0,26	0,19	0,05
Ni	0,00	0,08	0,15	0,00	0,03	0,04	0,05	0,06	0,01	0,11	0,02	0,01	0,00	0,11
Fe	0,62	1,62	4,86	2,70	4,61	0,60	0,59	2,82	2,63	1,82	1,73	1,54	5,34	1,00
Cr	2,16	6,69	20,78	12,36	19,88	1,72	3,40	12,27	12,92	7,07	6,89	5,55	19,88	2,57
Total	101,52	96,36	81,53	91,30	73,17	100,77	101,13	84,99	84,05	91,04	96,00	97,51	71,61	101,24
S	32,80	31,23	25,36	31,07	31,97	34,28	34,08	31,61	32,25	34,68	31,97	33,91	34,63	31,07
As	1,69	2,08	11,39	2,65	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,58	0,00	3,09
Sb	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,04	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00
Os	19,43	23,67	3,32	10,14	19,96	14,55	14,06	19,68	18,10	4,19	16,84	10,90	11,19	19,27
Ir	7,69	7,53	23,62	9,31	10,54	7,75	8,02	10,92	10,67	3,35	9,24	9,25	9,77	15,79
Ru	35,54	32,70	31,20	39,44	33,40	41,03	41,18	34,59	35,71	51,56	37,47	42,12	39,46	28,33
Rh	2,09	1,31	4,19	3,41	2,43	1,67	1,76	2,39	2,28	4,16	3,20	2,25	3,01	1,54
Pt	0,54	0,39	0,00	0,14	0,54	0,15	0,71	0,14	0,46	0,68	0,74	0,50	0,75	0,25
Pd	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,15
Cu	0,13	0,90	0,64	3,63	1,09	0,03	0,00	0,53	0,52	1,05	0,05	0,29	0,40	0,05
Ni	0,00	0,10	0,26	0,00	0,06	0,04	0,06	0,09	0,01	0,13	0,02	0,01	0,00	0,11
Fe	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,17	0,79	0,37
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,960	1,922	1,639	1,829	1,952	1,983	1,982	1,943	1,956	1,913	1,935	1,959	1,983	1,937
As	0,043	0,055	0,315	0,067	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,014	0,000	0,082
Sb	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Os	0,196	0,246	0,036	0,101	0,205	0,142	0,138	0,204	0,185	0,039	0,172	0,106	0,108	0,203
Ir	0,077	0,077	0,255	0,091	0,107	0,075	0,078	0,112	0,108	0,031	0,093	0,089	0,093	0,164
Ru	0,674	0,638	0,640	0,737	0,647	0,753	0,760	0,674	0,687	0,902	0,719	0,772	0,717	0,560
Rh	0,039	0,025	0,084	0,063	0,046	0,030	0,032	0,046	0,043	0,071	0,060	0,041	0,054	0,030
Pt	0,005	0,004	0,000	0,001	0,005	0,001	0,007	0,001	0,005	0,006	0,007	0,005	0,007	0,003
Pd	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003
Cu	0,004	0,028	0,021	0,108	0,034	0,001	0,000	0,016	0,016	0,029	0,002	0,008	0,012	0,001
Ni	0,000	0,003	0,009	0,000	0,002	0,001	0,002	0,003	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,004
Fe	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006	0,026	0,013
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Nematte	Nematte	Nematte	Nematte	Nematte	Nazafarine	Nazafarine	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil
Echantillon	52A	55A	55A	55A	55A	28A	28A	46A	46A	46A	46A	46A	47A	47A
Site	3	1	1	2	2	1	1	3	3	3	4	4	1	2
Position	C	C	B	C	B	C	C	C	B	B	C	B	C	C
S	27,26	29,63	23,46	30,34	29,71	28,41	30,03	30,35	30,82	2,80	32,67	30,02	31,20	23.55
As	3,25	0,47	0,00	0,67	0,50	1,89	1,90	6,23	5,59	0,34	2,25	2,30	0.55	0,08
Sb	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00	0.03	0.08	0.00
Os	17,61	31,64	26,00	28,81	28,45	12,74	15,59	12,02	12,78	1.88	15,76	15,05	15,41	20.52
Ir	14,54	15,23	10,27	13,64	12,24	8,24	7,81	12,33	10.58	0,58	8,86	7,42	8.40	8,15
Ru	25,20	20.04	15,46	22,98	23,69	29,71	32,62	32,70	35.44	2,94	35,13	32,18	34,10	27,41
Rh	1,50	1.17	1,01	0,97	0,97	1.43	1,61	2.87	3.50	0,47	2,01	1.59	1.63	1.27
Pt	0,18	0,00	0,47	0,07	0,37	0,00	0,86	0,22	0,40	0,58	0,44	0,38	0,48	0,31
Pd	0,16	0,12	0,14	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,23	0,19
Cu	0,27	0,02	0,07	0,23	0,04	0,69	0,40	0,02	0,09	0,50	0,18	0,40	0,86	0,01
Ni	0,11	0,05	0,00	0,02	0,01	0,05	0,22	0,03	0,01	0,03	0,15	0,02	0,82	0,31
Fe	1,30	0,30	2,96	0,60	0,24	1,65	0,45	0,63	0,24	8,13	0,70	0,66	0,54	3,24
Cr	4,86	1,12	10,84	1,63	2,36	5,22	4,39	1,98	2,46	34,33	3,01	2,64	1,97	5,35
Total	96,23	99,79	90,69	100,05	98,56	90,04	95,87	99,39	102,23	52,58	101,16	92,69	96,28	90,38
S	30,24	30,11	30,41	30,95	30,96	34,02	32,99	31,32	30,96	27,61	33,52	33,59	33,25	28,14
As	3,60	0,48	0,00	0,69	0,52	2,26	2,09	6,43	5,62	3,37	2,31	2,57	0,59	0,10
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,09	0,00
Os	19,53	32,16	33,71	29,39	29,64	15,26	17,12	12,40	12,84	18,59	16,17	16,83	16,43	24,52
Ir	16,13	15,48	13,32	13,92	12,76	9,86	8,58	12,73	10,63	5,76	9,09	8,30	8,96	9,74
Ru	27,95	20,37	20,04	23,44	24,68	35,57	35,83	33,75	35,61	29,04	36,05	36,01	36,35	32,75
Rh	1,66	1,18	1,30	0,99	1,01	1,71	1,77	2,97	3,51	4,62	2,06	1,78	1,74	1,52
Pt	0,20	0,00	0,61	0,07	0,39	0,00	0,94	0,22	0,41	5,68	0,45	0,43	0,51	0,37
Pd	0,17	0,12	0,19	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	0,32	0,01	0,00	0,00	0,24	0,22
Cu	0,30	0,02	0,09	0,24	0,04	0,82	0,44	0,02	0,09	4,97	0,19	0,44	0,92	0,01
Ni	0,13	0,05	0,00	0,02	0,01	0,06	0,25	0,03	0,01	0,34	0,15	0,02	0,88	0,37
Fe	0,09	0,01	0,32	0,19	0,00	0,41	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	2,27
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,910	1,997	2,007	1,995	1,996	1,974	1,955	1,877	1,861	1,747	1,969	1,968	1,956	1,818
As	0,097	0,014	0,000	0,019	0,014	0,056	0,053	0,165	0,145	0,091	0,058	0,064	0,015	0,003
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Os	0,208	0,359	0,375	0,319	0,322	0,149	0,171	0,125	0,130	0,198	0,160	0,166	0,163	0,267
Ir	0,170	0,171	0,147	0,150	0,137	0,095	0,085	0,127	0,107	0,061	0,089	0,081	0,088	0,105
Ru	0,560	0,429	0,419	0,479	0,505	0,655	0,674	0,642	0,679	0,583	0,672	0,669	0,678	0,671
Rh	0,033	0,024	0,027	0,020	0,020	0,031	0,033	0,055	0,066	0,091	0,038	0,032	0,032	0,030
Pt	0,002	0,000	0,007	0,001	0,004	0,000	0,009	0,002	0,004	0,059	0,004	0,004	0,005	0,004
Pd	0,003	0,002	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004
Cu	0,010	0,001	0,003	0,008	0,001	0,024	0,013	0,000	0,003	0,159	0,006	0,013	0,027	0,000
Ni	0,004	0,002	0,000	0,001	0,000	0,002	0,008	0,001	0,000	0,012	0,005	0,001	0,028	0,013
Fe	0,003	0,001	0,012	0,007	0,000	0,014	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,084
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Ismaeil	Reza Balla	eshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8
Echantillon	47A	71A	18N	18N	18N	18N	1N	1N	1N	1N	1N	1N	1N
Site	8	8	6	12_1	12_1	12_2	1	2	2	3	3	4	4
Position	C	C	C	C	B	C	C	C	B	C	B	C	B
S	27,14	32,98	32,72	33,71	32,61	33,61	32,24	32,95	33,55	33,74	34,41	33,40	33,44
As	0,42	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,20	0,24	0,24	0,30	0,20
Sb	0,17	0,00	0,09	0,00	0,08	0,04	0,10	0,00	0,04	0,01	0,07	0,00	0,00
Os	27,88	16,31	20,77	18,81	16,57	16,14	21,48	20,84	11,57	14,16	16,44	14,52	14,95
Ir	9,07	5,77	5,39	6,60	6,22	6,19	8,91	9,16	5,96	8,51	8,32	7,59	7,75
Ru	24,13	37,91	36,42	38,17	37,86	37,51	32,88	33,85	43,04	39,60	38,93	39,77	40,27
Rh	1,13	1,08	0,62	0,91	0,81	0,69	1,20	1,10	1,37	1,41	1,29	1,34	1,31
Pt	0,31	0,26	0,47	0,70	0,41	0,43	0,68	0,39	0,47	0,37	0,12	0,87	0,98
Pd	0,00	0,01	0,00	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,07	0,00	0,09	0,14	0,06	0,06	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00
Ni	0,14	0,27	0,10	0,23	0,30	0,19	0,00	0,00	0,00	0,08	0,07	0,00	0,00
Fe	1,73	0,79	1,24	0,41	1,32	0,92	0,19	0,75	0,83	0,37	0,63	0,40	0,64
Cr	4,16	1,52	1,93	0,61	1,40	0,73	0,94	1,67	1,33	0,79	1,26	1,95	2,99
Total	96,32	97,14	99,83	100,40	97,70	96,51	98,84	100,71	98,65	99,32	101,79	100,17	102,54
S	29,78	34,62	33,59	33,84	33,98	35,16	32,99	33,41	34,59	34,32	34,34	34,14	33,81
As	0,46	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,20	0,25	0,24	0,31	0,21
Sb	0,19	0,00	0,09	0,00	0,08	0,04	0,10	0,00	0,04	0,01	0,07	0,00	0,00
Os	30,59	17,12	21,32	18,88	17,27	16,88	21,98	21,13	11,93	14,40	16,41	14,84	15,12
Ir	9,95	6,06	5,53	6,62	6,48	6,47	9,12	9,28	6,14	8,65	8,30	7,76	7,83
Ru	26,48	39,80	37,38	38,31	39,46	39,24	33,65	34,33	44,37	40,28	38,85	40,65	40,72
Rh	1,24	1,14	0,64	0,91	0,84	0,72	1,23	1,11	1,41	1,43	1,29	1,37	1,32
Pt	0,33	0,27	0,49	0,70	0,42	0,45	0,70	0,39	0,49	0,38	0,12	0,89	0,99
Pd	0,00	0,01	0,00	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,08	0,00	0,09	0,14	0,06	0,06	0,10	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00
Ni	0,15	0,28	0,10	0,23	0,31	0,20	0,00	0,00	0,00	0,08	0,07	0,00	0,00
Fe	0,75	0,43	0,77	0,26	1,01	0,77	0,00	0,34	0,52	0,17	0,31	0,00	0,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,932	1,995	1,983	1,988	1,974	2,012	1,999	2,004	1,969	1,990	1,997	1,987	1,979
As	0,013	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,005	0,006	0,006	0,008	0,005
Sb	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Os	0,335	0,166	0,212	0,187	0,169	0,163	0,224	0,214	0,114	0,141	0,161	0,146	0,149
Ir	0,108	0,058	0,055	0,065	0,063	0,062	0,092	0,093	0,058	0,084	0,081	0,075	0,076
Ru	0,545	0,728	0,700	0,714	0,727	0,712	0,647	0,653	0,801	0,741	0,717	0,750	0,756
Rh	0,025	0,020	0,012	0,017	0,015	0,013	0,023	0,021	0,025	0,026	0,023	0,025	0,024
Pt	0,004	0,003	0,005	0,007	0,004	0,004	0,007	0,004	0,005	0,004	0,001	0,008	0,010
Pd	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,003	0,000	0,003	0,004	0,002	0,002	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Ni	0,005	0,009	0,003	0,007	0,010	0,006	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000
Fe	0,028	0,014	0,026	0,009	0,034	0,025	0,000	0,012	0,017	0,006	0,010	0,000	0,000
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8
Echantillon	1N	19N	19N	30N	30N	30N	30N	36N	36N	36N	36N	39N
Site	5	2	2	1	2	4	7	1	2_1	2_1	2_2	1
Position	C	C	C	C	C	B	C	C	C	B	C	C
S	21,66	16,79	19,52	32,06	26,48	31,22	31,52	28,44	34,07	32,31	33,23	35,13
As	0,00	0,52	0,84	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	2,09
Sb	0,00	0,04	0,00	0,03	0,06	0,00	0,11	0,00	0,08	0,06	0,00	0,00
Os	0,04	5,50	9,40	15,94	21,86	20,26	20,12	13,20	16,27	17,75	14,89	9,86
Ir	0,16	2,59	2,95	10,16	3,80	9,19	6,48	4,37	10,36	9,73	4,04	5,19
Ru	33,55	22,93	26,87	35,76	26,28	34,02	34,31	36,15	37,18	35,93	41,49	46,13
Rh	0,29	0,55	0,87	1,38	1,26	0,96	1,80	1,51	1,18	1,14	1,34	1,73
Pt	0,32	0,12	0,18	0,28	0,00	0,65	0,46	0,00	0,40	0,42	0,41	0,66
Pd	0,17	0,36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,05	0,14	0,06	0,00	0,13	0,03	0,00
Ni	0,04	0,07	0,09	0,05	0,01	0,07	0,08	0,06	0,09	0,06	0,07	0,00
Fe	3,64	1,74	2,15	0,84	1,45	0,64	1,08	2,07	0,17	1,07	0,24	0,00
Cr	13,64	7,54	6,24	2,07	5,69	2,27	2,82	6,49	1,61	2,81	3,19	0,44
Total	73,50	58,75	69,12	98,58	86,90	99,46	98,91	92,50	101,53	101,41	98,92	101,24
S	38,36	33,94	31,82	33,39	33,19	32,31	33,04	33,70	34,15	33,00	34,80	34,85
As	0,00	1,06	1,36	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	2,08
Sb	0,01	0,07	0,00	0,03	0,07	0,00	0,11	0,00	0,08	0,06	0,00	0,00
Os	0,07	11,13	15,33	16,61	27,39	20,97	21,09	15,65	16,31	18,13	15,59	9,78
Ir	0,28	5,24	4,81	10,59	4,76	9,51	6,79	5,18	10,38	9,94	4,23	5,14
Ru	59,43	46,35	43,82	37,25	32,93	35,21	35,97	42,84	37,27	36,70	43,44	45,76
Rh	0,51	1,10	1,42	1,44	1,58	0,99	1,88	1,79	1,18	1,17	1,40	1,72
Pt	0,57	0,23	0,30	0,29	0,00	0,67	0,49	0,00	0,40	0,43	0,43	0,66
Pd	0,30	0,73	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,05	0,14	0,07	0,00	0,13	0,03	0,00
Ni	0,07	0,14	0,15	0,05	0,02	0,07	0,09	0,07	0,09	0,06	0,07	0,00
Fe	0,41	0,00	0,97	0,34	0,04	0,08	0,39	0,52	0,00	0,38	0,00	0,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,988	1,938	1,878	1,983	2,008	1,971	1,975	1,953	2,008	1,975	1,989	1,958
As	0,000	0,026	0,034	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,050
Sb	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Os	0,001	0,107	0,152	0,166	0,279	0,216	0,213	0,153	0,162	0,183	0,150	0,093
Ir	0,002	0,050	0,047	0,105	0,048	0,097	0,068	0,050	0,102	0,099	0,040	0,048
Ru	0,977	0,839	0,820	0,702	0,632	0,681	0,682	0,787	0,695	0,697	0,788	0,815
Rh	0,008	0,020	0,026	0,027	0,030	0,019	0,035	0,032	0,022	0,022	0,025	0,030
Pt	0,005	0,002	0,003	0,003	0,000	0,007	0,005	0,000	0,004	0,004	0,004	0,006
Pd	0,005	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,004	0,002	0,000	0,004	0,001	0,000
Ni	0,002	0,004	0,005	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000
Fe	0,012	0,000	0,033	0,012	0,001	0,003	0,013	0,017	0,000	0,013	0,000	0,000
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7
Echantillon	39N	2N	2N	10N	10N	10N	14N	14N	14N	14N	14N	14N
Site	1	1	1	2	3_1	3_2	4	4	9	9	9	11
Position	B	C	B	C	C	C	C	B	C	B	B	C
S	35,15	33,04	31,92	27,40	32,40	27,88	32,46	31,86	33,29	28.09	33.82	29.82
As	2,20	0,33	0,16	0,00	0,00	0,00	0,15	0.15	0,22	0.18	0.09	0.00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0.16	0,00	0.07	0.09	0.02
Os	8,78	17,66	19,21	3,70	12,78	11,40	23,00	20,46	10,85	0.00	13.36	11.42
Ir	5,25	10,15	9,64	5,78	6,04	4,58	7,56	6.65	9,85	0.00	8.80	5.25
Ru	48,11	36,49	34,51	38,19	38,35	35,69	35,25	34,82	39.51	39.56	39.57	39.31
Rh	1,41	1,62	1,54	1,56	1,72	1,21	1,33	1.55	1,36	0.14	1.32	1.57
Pt	0,48	0,64	0,37	0,24	0,00	0,22	0,24	0,85	0,26	0,32	0,28	0.52
Pd	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	0.00
Cu	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	0,03	0,00	0,08	0,00
Ni	0,00	0,11	0,03	0,07	0,00	0,13	0,00	0,04	0,07	0,03	0,12	0,00
Fe	0,22	0,00	0,66	3,02	1,24	2,48	0,42	0,43	0,48	0,89	0,73	1,96
Cr	2,27	1,19	1,93	8,66	2,89	7,72	2,15	1,79	1,73	1,40	1,14	5,05
Total	103,89	101,23	99,97	88,65	95,42	91,34	102,63	98,81	97,70	70,68	99,41	94,91
S	34,66	33,03	32,71	35,20	35,29	34,13	32,44	32,98	34,84	40,75	34,51	33,65
As	2,17	0,33	0,17	0,00	0,00	0,00	0,15	0,16	0,23	0,26	0,09	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,16	0,00	0,10	0,09	0,02
Os	8,66	17,65	19,69	4,76	13,92	13,96	22,98	21,19	11,35	0,00	13,64	12,89
Ir	5,18	10,14	9,88	7,42	6,58	5,61	7,55	6,88	10,31	0,00	8,98	5,92
Ru	47,45	36,48	35,38	49,08	41,77	43,69	35,23	36,05	41,36	57,39	40,39	44,37
Rh	1,39	1,62	1,58	2,00	1,87	1,48	1,33	1,61	1,43	0,21	1,35	1,77
Pt	0,48	0,64	0,38	0,31	0,00	0,27	0,23	0,88	0,27	0,46	0,29	0,58
Pd	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	0,03	0,00	0,09	0,00
Ni	0,00	0,11	0,03	0,09	0,00	0,16	0,00	0,04	0,07	0,04	0,12	0,00
Fe	0,00	0,00	0,18	1,09	0,56	0,68	0,00	0,00	0,05	0,78	0,46	0,79
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,944	1,979	1,976	1,949	2,002	1,959	1,974	1,982	1,999	2,048	1,990	1,942
As	0,052	0,008	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,006	0,005	0,002	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000
Os	0,082	0,178	0,200	0,044	0,133	0,135	0,236	0,215	0,110	0,000	0,133	0,125
Ir	0,048	0,101	0,100	0,069	0,062	0,054	0,077	0,069	0,099	0,000	0,086	0,057
Ru	0,844	0,693	0,678	0,862	0,752	0,795	0,680	0,687	0,753	0,915	0,739	0,812
Rh	0,024	0,030	0,030	0,034	0,033	0,026	0,025	0,030	0,025	0,003	0,024	0,032
Pt	0,004	0,006	0,004	0,003	0,000	0,003	0,002	0,009	0,003	0,004	0,003	0,006
Pd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000
Ni	0,000	0,004	0,001	0,003	0,000	0,005	0,000	0,001	0,002	0,001	0,004	0,000
Fe	0,000	0,000	0,006	0,035	0,018	0,022	0,000	0,000	0,002	0,022	0,015	0,026
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T6
Echantillon	54N	54N	54N	17N	17N	17N	17N	17N	23N	23N	23N	31N
Site	1	1	1	3	3	6	8	8	2	2	6	1
Position	B	C	B	C	B	C	C	B	C	B	C	C
S	32,89	33,61	34,30	33,18	32,36	31,53	33,92	33,62	32,82	32,13	32,99	34,15
As	0,15	0,01	0,13	0,24	0,23	0,00	0,17	0,19	0,00	0,14	0,12	2,04
Sb	0,02	0,07	0,13	0,00	0,02	0,03	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
Os	15,80	15,91	16,70	17,18	16,95	14,60	13,52	13,50	18,40	17,74	11,24	12,50
Ir	4,32	5,43	5,28	8,18	8,73	7,97	10,43	9,73	6,37	6,16	6,89	6,33
Ru	40,32	40,79	41,15	36,93	37,54	35,84	40,03	39,43	37,75	37,21	41,51	42,55
Rh	1,62	1,21	1,58	1,07	0,99	1,40	1,64	1,51	1,27	1,26	1,49	1,29
Pt	0,78	0,80	0,49	0,16	0,39	0,88	0,82	0,59	0,24	0,24	0,46	0,49
Pd	0,00	0,01	0,03	0,10	0,43	0,02	0,19	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
Cu	0,00	0,00	0,12	0,03	0,00	0,00	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,13	0,01	0,05	0,00	0,07	0,00	0,06	0,08	0,08	0,09	0,04	0,12
Fe	1,06	0,00	0,58	0,17	0,31	1,12	0,00	0,50	0,17	0,03	0,75	0,34
Cr	1,35	0,91	1,37	1,32	0,95	3,04	0,52	1,18	1,50	2,64	2,15	4,19
Total	98,44	98,75	101,92	98,57	98,97	96,43	101,37	100,44	98,61	97,62	97,97	104,01
S	33,99	34,35	34,23	34,18	33,09	34,04	33,63	33,97	33,85	33,84	34,62	34,33
As	0,16	0,01	0,13	0,25	0,24	0,00	0,17	0,19	0,00	0,14	0,13	2,05
Sb	0,02	0,07	0,13	0,00	0,02	0,03	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00
Os	16,33	16,26	16,66	17,70	17,34	15,76	13,41	13,64	18,98	18,68	11,80	12,57
Ir	4,47	5,55	5,27	8,42	8,92	8,60	10,34	9,83	6,57	6,48	7,23	6,36
Ru	41,67	41,69	41,07	38,04	38,39	38,69	39,69	39,84	38,94	39,18	43,56	42,77
Rh	1,67	1,24	1,58	1,11	1,02	1,51	1,62	1,52	1,30	1,33	1,56	1,29
Pt	0,80	0,81	0,49	0,17	0,40	0,95	0,81	0,59	0,25	0,25	0,48	0,50
Pd	0,00	0,01	0,03	0,10	0,44	0,02	0,19	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00
Cu	0,00	0,00	0,12	0,04	0,00	0,00	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,13	0,01	0,05	0,00	0,07	0,00	0,06	0,08	0,08	0,09	0,05	0,12
Fe	0,75	0,00	0,24	0,00	0,08	0,39	0,00	0,21	0,00	0,00	0,22	0,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,963	1,990	1,981	2,004	1,970	1,992	1,977	1,982	1,991	1,988	1,978	1,961
As	0,004	0,000	0,003	0,006	0,006	0,000	0,004	0,005	0,000	0,004	0,003	0,050
Sb	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,159	0,159	0,163	0,175	0,174	0,155	0,133	0,134	0,188	0,185	0,114	0,121
Ir	0,043	0,054	0,051	0,082	0,089	0,084	0,101	0,096	0,064	0,064	0,069	0,061
Ru	0,764	0,766	0,754	0,708	0,725	0,718	0,740	0,737	0,727	0,730	0,789	0,775
Rh	0,030	0,022	0,028	0,020	0,019	0,028	0,030	0,028	0,024	0,024	0,028	0,023
Pt	0,008	0,008	0,005	0,002	0,004	0,009	0,008	0,006	0,002	0,002	0,005	0,005
Pd	0,000	0,000	0,001	0,002	0,008	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000
Cu	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,004	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,004
Fe	0,025	0,000	0,008	0,000	0,003	0,013	0,000	0,007	0,000	0,000	0,007	0,000
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T5	Cheshmeh Bid-T2	Roni	Roni	Roni	Roni	Roni	Roni	Rajoni	Rajoni	Rajoni
Echantillon	9N	9N	40N	51N	12N	25N	25N	25N	34N	34N	4N	4N	4N
Site	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	3
Position	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	C	C
S	36,33	33,93	31,52	29,76	32,06	30,88	34,89	35,07	32,86	32,51	21,73	32,51	32,74
As	0,00	0,13	1,53	0,18	1,62	0,00	0,00	0,23	0,16	0,12	0,24	0,07	0,37
Sb	0,08	0,00	0,06	0,01	0,06	0,08	0,00	0,05	0,00	0,11	0,01	0,00	0,16
Os	11,12	15,63	17,70	33,32	17,31	23,71	13,77	15,71	20,09	18,98	15,36	17,81	18,43
Ir	4,22	7,64	8,85	9,19	5,15	7,32	8,34	8,20	7,73	7,52	10,47	7,98	6,81
Ru	47,76	39,65	34,98	22,00	40,08	30,64	43,34	40,65	36,24	36,15	21,10	36,68	35,55
Rh	1,47	1,47	1,11	0,51	1,44	1,09	1,20	1,34	0,84	0,80	1,68	1,12	0,63
Pt	0,31	0,45	0,34	0,67	0,43	0,74	0,18	0,52	0,00	0,75	0,29	0,73	0,35
Pd	0,40	0,14	0,00	0,20	0,36	0,00	0,00	0,23	0,31	0,19	0,02	0,00	0,07
Cu	0,19	0,02	1,08	0,01	0,02	0,24	0,03	0,00	0,01	0,06	0,18	0,00	0,00
Ni	0,09	0,00	0,12	0,00	0,00	0,10	0,08	0,00	0,09	0,16	0,06	0,05	0,02
Fe	0,02	0,76	0,25	0,59	0,00	0,71	0,55	0,00	0,00	0,31	2,16	0,56	0,49
Cr	0,99	1,62	2,29	2,02	2,50	4,03	1,24	2,01	0,94	1,26	11,28	1,79	1,58
Total	102,99	101,44	99,84	98,44	101,02	99,54	103,61	104,01	99,27	98,91	84,58	99,30	97,19
S	35,63	34,13	32,39	31,02	32,54	32,58	34,18	34,38	33,42	33,39	30,55	33,49	34,38
As	0,00	0,13	1,57	0,18	1,64	0,00	0,00	0,22	0,17	0,12	0,34	0,08	0,38
Sb	0,07	0,00	0,06	0,01	0,06	0,08	0,00	0,05	0,00	0,11	0,02	0,00	0,16
Os	10,91	15,72	18,19	34,74	17,57	25,01	13,49	15,40	20,43	19,50	21,59	18,35	19,36
Ir	4,14	7,69	9,10	9,58	5,23	7,72	8,17	8,04	7,86	7,72	14,71	8,22	7,16
Ru	46,83	39,88	35,95	22,94	40,68	32,31	42,46	39,85	36,85	37,14	29,65	37,79	37,33
Rh	1,44	1,48	1,14	0,53	1,46	1,15	1,17	1,32	0,86	0,82	2,36	1,16	0,66
Pt	0,31	0,45	0,35	0,70	0,44	0,78	0,17	0,51	0,00	0,77	0,41	0,75	0,37
Pd	0,39	0,14	0,00	0,20	0,36	0,00	0,00	0,23	0,31	0,20	0,03	0,00	0,07
Cu	0,19	0,02	1,11	0,01	0,02	0,25	0,03	0,00	0,01	0,07	0,25	0,00	0,00
Ni	0,09	0,00	0,13	0,00	0,00	0,11	0,08	0,00	0,09	0,16	0,09	0,05	0,02
Fe	0,00	0,36	0,00	0,09	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,987	1,986	1,939	2,013	1,928	1,993	1,977	1,998	1,991	1,988	1,942	1,987	2,013
As	0,000	0,003	0,040	0,005	0,042	0,000	0,000	0,006	0,004	0,003	0,009	0,002	0,010
Sb	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003
Os	0,103	0,154	0,184	0,380	0,175	0,258	0,132	0,151	0,205	0,196	0,231	0,184	0,191
Ir	0,038	0,075	0,091	0,104	0,052	0,079	0,079	0,078	0,078	0,077	0,156	0,081	0,070
Ru	0,829	0,736	0,683	0,472	0,764	0,627	0,779	0,735	0,697	0,701	0,598	0,711	0,693
Rh	0,025	0,027	0,021	0,011	0,027	0,022	0,021	0,024	0,016	0,015	0,047	0,021	0,012
Pt	0,003	0,004	0,003	0,007	0,004	0,008	0,002	0,005	0,000	0,008	0,004	0,007	0,004
Pd	0,007	0,002	0,000	0,004	0,006	0,000	0,000	0,004	0,006	0,004	0,001	0,000	0,001
Cu	0,005	0,001	0,033	0,000	0,001	0,008	0,001	0,000	0,000	0,002	0,008	0,000	0,000
Ni	0,003	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,003	0,005	0,003	0,002	0,001
Fe	0,000	0,012	0,000	0,003	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Khajeh Jamali	Khajeh Jamali
Echantillon	4N	4N	4N	4N	4N	5N	20N	20N	28N	28N	28N	28N	42N	42N
Site	4	5	5	7	7	3	9	9	2	3	3	3	2	2
Position	C	C	C	C	B	C	C	B	C	C	B	B	C	C
S	32,82	22,49	23,94	31,09	1,67	17,32	32,49	30,96	9,55	34,77	29.77	32.46	33.71	29.37
As	0.09	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,26	0,18	0,65	2,30	1.90	1.97	2.29	1.95
Sb	0.03	0,05	0,00	0,17	0,00	0,00	0.02	0,00	0,00	0,00	0.00	0.05	0.06	0.00
Os	17,74	13,17	12,65	20,78	1,12	9,63	20,23	18,14	7,65	9,47	9.45	8.74	4.62	5.14
Ir	12,22	6.23	5,54	6,69	0,71	3,26	10,12	9,06	2,55	8,23	6.40	6.92	5.15	3.90
Ru	33,44	26,56	27,93	32,59	0,95	21,41	33,66	32,18	9,84	43,09	38.67	41.29	45.06	38.91
Rh	0,93	0,96	0,98	0,97	0,16	0,64	1,05	1,21	0,45	1,25	0.87	1.40	1.95	1.74
Pt	0,30	0,26	0,36	0,27	0,03	0,22	0,57	0,65	1,62	0,51	0,57	0,28	0,58	0.11
Pd	0,00	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,55	0,01	0,00	0,00	0,07	0.07
Cu	0,09	0,86	0,81	0,00	0,27	0,04	0,05	0,03	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0.05
Ni	0,01	0,03	0,05	0,00	0,16	0,07	0,00	0,14	0,06	0,00	0,01	0,14	0,00	0,10
Fe	0,69	2,03	1,74	0,96	5,95	3,60	0,43	0,87	5,35	0,74	0,84	0,39	0,28	1,82
Cr	1,83	6,44	5,13	2,65	16,86	13,00	1,32	1,45	19,83	2,64	6,48	2,83	2,73	6,87
Total	100,19	79,07	79,20	96,40	27,89	69,20	100,21	94,87	58,94	103,01	94,97	96,47	96,49	90,02
S	33,52	31,67	32,89	33,40	24,52	32,71	32,97	33,27	27,97	34,87	33,97	34,80	36,06	36,07
As	0,10	0,00	0,00	0,24	0,03	0,00	0,26	0,19	1,89	2,31	2,17	2,12	2,45	2,40
Sb	0,03	0,07	0,00	0,19	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	0,00
Os	18,12	18,54	17,38	22,32	16,42	18,19	20,53	19,49	22,40	9,50	10,79	9,38	4,94	6,31
Ir	12,48	8,77	7,61	7,19	10,45	6,16	10,27	9,74	7,46	8,25	7,30	7,42	5,50	4,78
Ru	34,15	37,39	38,37	35,01	13,94	40,44	34,15	34,58	28,79	43,21	44,12	44,27	48,20	47,78
Rh	0,95	1,35	1,35	1,04	2,39	1,21	1,07	1,30	1,33	1,25	0,99	1,51	2,09	2,13
Pt	0,31	0,37	0,49	0,29	0,38	0,42	0,57	0,70	4,75	0,51	0,65	0,30	0,62	0,13
Pd	0,00	0,00	0,11	0,00	0,18	0,00	0,00	0,01	1,61	0,01	0,00	0,00	0,07	0,08
Cu	0,09	1,21	1,11	0,00	3,89	0,07	0,05	0,03	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Ni	0,01	0,05	0,07	0,00	2,39	0,13	0,00	0,15	0,18	0,00	0,01	0,15	0,00	0,13
Fe	0,24	0,58	0,62	0,32	25,39	0,67	0,11	0,54	1,14	0,08	0,00	0,00	0,00	0,13
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	2,008	1,916	1,944	1,997	1,410	1,940	1,994	1,990	1,800	1,971	1,947	1,963	1,969	1,967
As	0,002	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,007	0,005	0,052	0,056	0,053	0,051	0,057	0,056
Sb	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Os	0,183	0,189	0,173	0,225	0,159	0,182	0,209	0,196	0,243	0,090	0,104	0,089	0,045	0,058
Ir	0,125	0,088	0,075	0,072	0,100	0,061	0,104	0,097	0,080	0,078	0,070	0,070	0,050	0,044
Ru	0,649	0,718	0,720	0,664	0,254	0,761	0,655	0,656	0,588	0,775	0,802	0,792	0,835	0,827
Rh	0,018	0,025	0,025	0,019	0,043	0,022	0,020	0,024	0,027	0,022	0,018	0,026	0,036	0,036
Pt	0,003	0,004	0,005	0,003	0,004	0,004	0,006	0,007	0,050	0,005	0,006	0,003	0,006	0,001
Pd	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Cu	0,003	0,037	0,033	0,000	0,113	0,002	0,002	0,001	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Ni	0,000	0,001	0,002	0,000	0,075	0,004	0,000	0,005	0,006	0,000	0,000	0,005	0,000	0,004
Fe	0,008	0,020	0,021	0,011	0,838	0,023	0,004	0,019	0,042	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.1. (suite)

Massif	Neyriz
Gisement	Neypik
Echantillon	22
Site	1
Position	C
S	17,60
As	1,19
Sb	0,00
Os	9,17
Ir	2,59
Ru	23,58
Rh	0.54
Pt	0,36
Pd	0,14
Cu	1,50
Ni	0,07
Fe	3,45
Cr	13,07
Total	73,26
S	30,92
As	2,09
Sb	0,00
Os	16,11
Ir	4,55
Ru	41,42
Rh	0,94
Pt	0,64
Pd	0,24
Cu	2,63
Ni	0,13
Fe	0,32
Total	100
S	1,838
As	0,053
Sb	0,000
Os	0,161
Ir	0,045
Ru	0,781
Rh	0,017
Pt	0,006
Pd	0,004
Cu	0,079
Ni	0,004
Fe	0,011
Total	3

Tableau 3.2. Erlichmanites

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Doveisse	Bahrsangue	Bahrsangue	Bahram	Keramat	Keramat	Keramat	Chahriar	Chahriar
Echantillon	38A	38A	60A	60A	6A	8A	8A	8A	5A	58A
Site	1	1	5	5	9	1	1	1	2	3
*Position	C	C	C	C	C	B	C	B	C	C
S	23,27	23,50	18,00	19,27	26,69	29,80	31.06	27.01	26.41	26.65
As	0,00	0,00	0,05	0,09	0,00	0,86	0,99	0,71	0.14	0.05
Sb	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.08	0.10
Os	50,24	49,67	42,39	44.64	37,84	36,30	36,56	35.48	55.73	52.42
Ir	6,50	7,00	3,71	4.61	8,17	10,29	10,46	10.94	9.42	10.13
Ru	4,25	4,45	3,41	3,57	17,64	18,87	19,43	16.47	3.60	4.94
Rh	0,20	0,07	0,18	0.00	0,53	0,77	0,93	0.63	0.13	0.71
Pt	0,23	0,53	0,56	0,75	0,07	0,34	0,48	0,22	0,51	0.53
Pd	0,00	0,00	0,03	0,19	0,00	0,40	0,13	0,29	0,19	0,00
Cu	0,00	0,05	0,32	0,47	0,00	0,00	0,03	0,19	0,64	0,50
Ni	0,13	0,25	0,49	1,19	1,51	0,03	0,11	0,13	0,32	0,80
Fe	1,76	1,52	3,55	3,29	1,55	0,43	0,75	0,72	0,94	1,05
Cr	7,13	6,45	13,84	13,60	6,75	2,53	2,80	2,88	2,59	4,11
Total	93,85	93,48	86,53	91,67	100,73	100,61	103,72	95,66	100,70	101,99
S	27,38	27,48	26,01	25,78	28,87	30,51	30,99	29,34	27,10	27,52
As	0,00	0,00	0,07	0,11	0,00	0,88	0,99	0,77	0,14	0,05
Sb	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,10
Os	59,13	58,09	61,23	59,70	40,93	37,17	36,47	38,54	57,18	54,12
Ir	7,65	8,18	5,36	6,16	8,83	10,54	10,43	11,88	9,66	10,46
Ru	5,00	5,20	4,92	4,77	19,08	19,32	19,38	17,89	3,69	5,10
Rh	0,23	0,08	0,26	0,00	0,57	0,78	0,93	0,68	0,13	0,73
Pt	0,27	0,62	0,81	1,01	0,07	0,34	0,48	0,23	0,53	0,54
Pd	0,00	0,00	0,04	0,25	0,00	0,41	0,13	0,32	0,20	0,00
Cu	0,00	0,05	0,46	0,63	0,00	0,00	0,03	0,21	0,66	0,52
Ni	0,16	0,29	0,71	1,59	1,63	0,03	0,11	0,14	0,33	0,82
Fe	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,31	0,03
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	2,030	2,030	1,964	1,940	1,952	2,012	2,023	1,985	2,009	2,009
As	0,000	0,000	0,002	0,004	0,000	0,025	0,028	0,022	0,005	0,002
Sb	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002
Os	0,739	0,723	0,779	0,757	0,466	0,413	0,401	0,439	0,714	0,666
Ir	0,095	0,101	0,068	0,077	0,100	0,116	0,114	0,134	0,119	0,127
Ru	0,118	0,122	0,118	0,114	0,409	0,404	0,401	0,384	0,087	0,118
Rh	0,005	0,002	0,006	0,000	0,012	0,016	0,019	0,014	0,003	0,017
Pt	0,003	0,007	0,010	0,012	0,001	0,004	0,005	0,003	0,006	0,007
Pd	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,008	0,003	0,006	0,004	0,000
Cu	0,000	0,002	0,017	0,024	0,000	0,000	0,001	0,007	0,025	0,019
Ni	0,006	0,012	0,029	0,065	0,060	0,001	0,004	0,005	0,013	0,033
Fe	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,013	0,001
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral

Tableau 3.2. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahriar	Chahriar	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Amir	Fétr	Fétr	Nematte	Nematte	Nematte	Nematte
Echantillon	58A	58A	18A	18A	22A	22A	22A	11A	48A	49A	53A	53A	53A	53A
Site	3	5	6	6	1	1	1	2	4	3	5	5	5	5
Position	C	C	C	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
S	26,70	26,29	25,29	22,92	20,72	19,38	12,78	25,00	6,25	27,77	12,23	12,93	20,54	19,98
As	0,20	0,21	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,37	2,49	0,00	0,00	0,58	0,17
Sb	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,15	0,09	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Os	50,17	52,50	53,35	49,53	36,49	34,96	14,46	49,51	53,12	34,50	15,74	9,94	9,47	19,01
Ir	10,20	9,24	10,92	9,36	9,08	8,24	10,74	9,39	11,79	13,32	7,44	5,08	6,65	17,57
Ru	5,29	5,03	3,62	2,85	3,98	3,77	2,26	4,93	1,31	17,69	1,35	1,27	1,90	1,58
Rh	0,71	0,68	0,32	0,21	0,23	0,17	0,06	0,04	0,69	2,00	0,70	0,64	1,86	2,19
Pt	0,35	0,34	0,81	0,74	0,29	0,73	0,27	0,63	0,75	0,31	0,27	0,27	0,16	0,00
Pd	0,00	0,07	0,00	0,00	0,09	0,00	0,12	0,26	0,34	0,00	0,12	0,06	0,03	0,00
Cu	0,47	0,10	0,19	2,87	0,55	0,51	0,37	2,10	4,82	0,30	0,82	0,66	1,89	2,39
Ni	1,30	0,25	0,11	0,00	0,25	0,26	0,33	0,07	0,00	0,08	0,13	0,21	0,26	0,21
Fe	0,91	0,56	1,05	0,77	1,12	0,63	1,08	1,60	3,05	0,37	5,28	5,73	2,78	3,15
Cr	2,70	2,11	2,90	3,60	2,27	2,14	3,55	6,31	10,28	2,37	17,42	16,75	7,25	9,77
Total	99,12	97,39	98,75	92,86	75,07	70,80	46,04	99,99	95,84	101,21	61,54	53,54	53,39	75,93
S	27,88	27,75	26,58	25,90	28,69	28,44	30,72	27,14	21,16	28,21	30,76	39,65	46,35	31,36
As	0,20	0,23	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,98	2,53	0,01	0,01	1,31	0,26
Sb	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,16	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
Os	52,40	55,41	56,08	55,98	50,52	51,32	34,77	53,76	33,41	35,04	39,58	30,48	21,36	29,84
Ir	10,66	9,75	11,47	10,58	12,58	12,10	25,82	10,19	6,26	13,53	18,71	15,59	15,01	27,58
Ru	5,52	5,31	3,81	3,22	5,50	5,54	5,44	5,35	5,32	17,96	3,40	3,89	4,29	2,47
Rh	0,74	0,71	0,34	0,24	0,32	0,25	0,13	0,05	1,66	2,03	1,75	1,95	4,21	3,30
Pt	0,37	0,36	0,85	0,83	0,39	1,07	0,65	0,69	1,39	0,32	0,69	0,83	0,36	0,00
Pd	0,00	0,07	0,00	0,00	0,12	0,00	0,29	0,28	0,00	0,00	0,29	0,19	0,07	0,00
Cu	0,49	0,11	0,20	3,25	0,76	0,75	0,89	2,28	27,80	0,30	2,06	2,03	4,27	3,76
Ni	1,36	0,27	0,12	0,00	0,35	0,38	0,79	0,08	0,01	0,08	0,33	0,63	0,60	0,33
Fe	0,24	0,03	0,35	0,00	0,76	0,14	0,47	0,02	0,00	0,00	2,33	4,75	2,18	1,10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	2,002	2,030	2,001	1,944	2,036	2,042	2,094	1,983	1,393	1,922	2,052	2,222	2,337	2,062
As	0,006	0,007	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,084	0,074	0,000	0,000	0,028	0,007
Sb	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Os	0,634	0,683	0,711	0,708	0,604	0,621	0,400	0,662	0,371	0,402	0,445	0,288	0,182	0,331
Ir	0,128	0,119	0,144	0,132	0,149	0,145	0,294	0,124	0,069	0,154	0,208	0,146	0,126	0,302
Ru	0,126	0,123	0,091	0,077	0,124	0,126	0,118	0,124	0,111	0,388	0,072	0,069	0,069	0,052
Rh	0,017	0,016	0,008	0,006	0,007	0,006	0,003	0,001	0,034	0,043	0,036	0,034	0,066	0,068
Pt	0,004	0,004	0,010	0,010	0,005	0,013	0,007	0,008	0,015	0,004	0,008	0,008	0,003	0,000
Pd	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,006	0,006	0,000	0,000	0,006	0,003	0,001	0,000
Cu	0,018	0,004	0,008	0,123	0,027	0,027	0,031	0,084	0,923	0,010	0,069	0,058	0,109	0,125
Ni	0,053	0,011	0,005	0,000	0,014	0,015	0,029	0,003	0,000	0,003	0,012	0,019	0,016	0,012
Fe	0,010	0,001	0,015	0,000	0,031	0,006	0,018	0,001	0,000	0,000	0,089	0,153	0,063	0,042
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.2. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Nematte	Nematte	Nematte	Abcharballa	Abcharballa	Abcharballa	Abcharballa	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu
Echantillon	53A	54A	54A	68A	68A	69A	69A	47A	47A	47A	18N	18N	18N
Site	5	2	2	2	2	1	1	4	5	7	7	7	7
Position	C	C	B	C	B	C	C	C	C	C	C	C	B
S	22,90	26,47	26,57	22,64	23,82	28,40	28,00	22,46	24,64	27,34	27,24	28,94	28,07
As	0,79	0,77	0,75	0,09	0,10	0,59	0,55	0,15	1,89	0,53	0,00	0,19	0,00
Sb	0,10	0,00	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,11	0,00	0,00	0,00
Os	27,92	51,78	51,60	40,18	51,64	45,50	43,78	34,73	25,07	36,97	40,35	48,77	49,02
Ir	27,12	11,69	11,39	18,02	10,03	5,14	4,68	7,17	11,42	9,78	4,49	5,37	4,54
Ru	2,34	4,24	4,57	1,63	2,92	16,13	15,50	14,52	21,18	17,41	13,32	14,26	14,18
Rh	2,40	0,16	0,55	0,77	0,14	0,37	0,35	0,79	0,91	1,66	0,24	0,32	0,21
Pt	0,96	0,37	0,65	0,42	0,54	0,34	0,33	0,23	0,00	0,42	0,36	0,00	0,47
Pd	0,00	0,07	0,00	0,30	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	3,43	0,00	0,00	1,73	0,12	0,00	0,22	0,34	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
Ni	1,17	0,06	0,05	0,00	0,12	0,00	0,23	1,07	0,09	0,07	0,05	0,05	0,07
Fe	1,83	0,22	1,14	1,05	0,98	1,16	1,25	2,12	1,55	0,55	0,59	0,32	1,26
Cr	5,38	2,65	2,38	6,50	4,45	3,48	3,28	9,09	6,04	3,57	1,17	0,82	1,66
Total	96,34	98,47	99,66	93,42	94,87	101,10	98,23	92,67	92,86	98,45	87,80	99,06	99,49
S	25,56	27,69	27,48	26,36	26,64	29,36	29,74	27,57	28,88	28,98	31,55	29,52	28,82
As	0,88	0,80	0,78	0,10	0,12	0,61	0,58	0,19	2,22	0,57	0,00	0,19	0,00
Sb	0,11	0,00	0,01	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,11	0,00	0,00	0,00
Os	31,16	54,16	53,37	46,80	57,73	47,02	46,50	42,64	29,38	39,19	46,74	49,75	50,32
Ir	30,26	12,23	11,78	20,99	11,21	5,31	4,97	8,80	13,38	10,37	5,20	5,48	4,66
Ru	2,61	4,44	4,73	1,89	3,27	16,67	16,46	17,83	24,83	18,46	15,42	14,54	14,56
Rh	2,67	0,17	0,56	0,89	0,15	0,38	0,37	0,97	1,06	1,76	0,28	0,33	0,22
Pt	1,07	0,38	0,67	0,49	0,60	0,35	0,35	0,28	0,00	0,45	0,41	0,00	0,48
Pd	0,00	0,07	0,00	0,35	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	3,83	0,00	0,00	2,01	0,14	0,00	0,24	0,41	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
Ni	1,30	0,06	0,05	0,00	0,14	0,00	0,25	1,31	0,10	0,08	0,06	0,05	0,07
Fe	0,54	0,00	0,57	0,00	0,00	0,30	0,45	0,00	0,05	0,00	0,34	0,12	0,87
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,867	2,037	2,015	1,982	2,017	1,999	2,001	1,913	1,911	1,971	2,077	2,026	1,993
As	0,028	0,025	0,024	0,003	0,004	0,018	0,017	0,006	0,063	0,016	0,000	0,006	0,000
Sb	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
Os	0,384	0,672	0,659	0,593	0,737	0,540	0,527	0,499	0,328	0,449	0,519	0,575	0,586
Ir	0,369	0,150	0,144	0,263	0,142	0,060	0,056	0,102	0,148	0,118	0,057	0,063	0,054
Ru	0,060	0,103	0,110	0,045	0,078	0,360	0,351	0,392	0,521	0,398	0,322	0,317	0,319
Rh	0,061	0,004	0,013	0,021	0,004	0,008	0,008	0,021	0,022	0,037	0,006	0,007	0,005
Pt	0,013	0,005	0,008	0,006	0,008	0,004	0,004	0,003	0,000	0,005	0,004	0,000	0,006
Pd	0,000	0,002	0,000	0,008	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,141	0,000	0,000	0,076	0,005	0,000	0,008	0,014	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ni	0,052	0,003	0,002	0,000	0,006	0,000	0,009	0,050	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003
Fe	0,023	0,000	0,024	0,000	0,000	0,012	0,018	0,000	0,002	0,000	0,013	0,005	0,034
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 3.2. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T8
Echantillon	39N	39N	39N	39N
Site	2	2	2	2
Position	B	C	B	C
S	28,58	29,17	28,98	29,24
As	0,67	0,78	0,51	0,54
Sb	0,03	0,04	0,00	0,00
Os	45,25	43,94	49,71	49,42
Ir	4,81	4,68	4,67	5,06
Ru	19,12	18,87	15,76	16,55
Rh	0,54	0,44	0,65	0,55
Pt	0,44	0,08	0,69	0,27
Pd	0,30	0,06	0,00	0,19
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,08	0,06
Fe	0,54	0,36	0,30	0,00
Cr	0,66	0,47	0,98	0,00
Total	100,94	98,87	102,32	101,88
S	28,55	29,68	28,66	28,70
As	0,67	0,79	0,50	0,53
Sb	0,03	0,04	0,00	0,00
Os	45,20	44,70	49,17	48,51
Ir	4,80	4,76	4,62	4,96
Ru	19,10	19,19	15,59	16,24
Rh	0,54	0,44	0,64	0,54
Pt	0,44	0,09	0,68	0,27
Pd	0,30	0,06	0,00	0,19
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,08	0,06
Fe	0,37	0,25	0,06	0,00
Total	100	100	100	100
S	1,952	1,989	1,987	1,984
As	0,020	0,023	0,015	0,016
Sb	0,000	0,001	0,000	0,000
Os	0,521	0,505	0,575	0,565
Ir	0,055	0,053	0,053	0,057
Ru	0,414	0,408	0,343	0,356
Rh	0,011	0,009	0,014	0,012
Pt	0,005	0,001	0,008	0,003
Pd	0,006	0,001	0,000	0,004
Cu	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,003	0,002
Fe	0,015	0,009	0,002	0,000
Total	3	3	3	3

Tableau 3.3. Alliages de EGP

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz
Gisement	Bahram	Chahriar	Fétr	Fétr	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-T8
Echantillon	6A	5A	48A	48A	18N	19N
Site	3	4	2	2	5	1
*Position	C	C	C	C	C	C
S	0,00	0,16	0,00	0.01	0.00	0.05
As	0,00	0,00	0,21	0.19	0.05	0.03
Sb	0,00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
Os	0,00	0,00	0,01	0.00	34.68	0.30
Ir	0,11	0.00	0,15	0.00	62.51	0.00
Ru	0,00	0,00	0,00	0.06	0.27	0.04
Rh	0,11	0.06	0.13	0.07	0.10	0.10
Pt	0,00	0,67	0,00	0.00	1.29	0.00
Pd	10,47	29,08	10,67	12,22	0.30	5.60
Cu	0,04	0,00	0,00	0.00	0.40	0.04
Ni	0,05	0,04	0,01	0,01	0.00	0.07
Fe	7,98	5,16	7,44	7,04	0,69	5,26
Cr	29,24	22,36	32,36	28,00	1,37	16,73
Total	48,00	57,52	50,97	47,60	101,70	28,22
S	0,01	0,52	0,03	0,08	0,00	0,73
As	0,02	0,01	1,89	1,52	0,05	0,47
Sb	0,01	0,00	0,01	0,01	0,05	0,01
Os	0,01	0,00	0,05	0,01	34,68	4,08
Ir	0,92	0,00	1,31	0,01	62,51	0,01
Ru	0,01	0,00	0,01	0,44	0,27	0,52
Rh	0,93	0,19	1,15	0,56	0,10	1,35
Pt	0,01	2,24	0,01	0,01	1,29	0,01
Pd	91,43	96,91	95,40	96,95	0,30	76,55
Cu	0,34	0,00	0,01	0,01	0,40	0,60
Ni	0,46	0,12	0,13	0,06	0,00	0,94
Fe	5,86	0,00	0,00	0,35	0,35	14,72
Total	100	100	100	100	100	100
S	0,000	0,017	0,001	0,003	0,000	0,021
As	0,000	0,000	0,027	0,021	0,001	0,006
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Os	0,000	0,000	0,000	0,000	0,341	0,020
Ir	0,005	0,000	0,007	0,000	0,609	0,000
Ru	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005	0,005
Rh	0,009	0,002	0,012	0,006	0,002	0,012
Pt	0,000	0,012	0,000	0,000	0,012	0,000
Pd	0,866	0,966	0,950	0,958	0,005	0,668
Cu	0,005	0,000	0,000	0,000	0,012	0,009
Ni	0,008	0,002	0,002	0,001	0,000	0,015
Fe	0,106	0,000	0,000	0,007	0,012	0,245
Total	1	1	1	1	1	1

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral

Tableau 3.3. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T6	Cheshmeh Bid-T5	Khajeh Jamali	Khajeh Jamali	Khajeh Jamali	Hassankhani	Hassankhani	Hassankhani
Echantillon	38N	38N	38N	17N	26N	46N	46	46	45N	45N	45N
Site	1_1	1_1	1_2	1	2	1	1	1	2	2	2
Position	C	C	C	C	C	C	C	B	C	B	B
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,09
As	0,10	0,15	0,07	0,10	0,16	0,26	0,28	0,20	0,19	0,09	0,24
Sb	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,13	0,09	0,00	0,06	0,05	0,04
Os	70,67	75,92	51,52	72,41	54,59	51,93	45,65	52,20	27,91	25,96	28,49
Ir	8,19	8,95	6,13	16,05	38,23	40,03	45,26	39,79	57,56	51,04	52,40
Ru	0,29	1,05	0,50	1,32	3,15	4,16	2,69	4,79	5,44	4,69	5,04
Rh	0,22	0,40	0,44	0,06	0,49	0,60	1,72	0,66	1,05	1,14	1,04
Pt	0,64	0,43	0,42	1,50	2,14	0,88	2,93	1,28	3,46	4,28	4,26
Pd	0,00	0,00	0,09	0,00	0,25	0,00	0,22	0,02	0,02	0,00	0,00
Cu	0,06	0,00	0,00	0,09	0,32	0,36	0,12	0,25	0,41	0,28	0,33
Ni	0,08	0,02	0,10	0,00	0,00	0,03	0,04	0,06	0,02	0,00	0,03
Fe	1,60	0,99	4,47	1,58	0,57	0,63	0,84	0,70	0,33	0,83	1,30
Cr	6,53	4,78	16,51	3,67	1,86	1,92	1,25	0,56	2,49	2,51	4,08
Total	88,39	92,70	80,25	96,81	101,75	100,99	101,15	100,54	98,94	90,89	97,34
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02	0,10
As	0,12	0,17	0,11	0,11	0,16	0,27	0,28	0,20	0,20	0,11	0,26
Sb	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,13	0,09	0,00	0,06	0,05	0,04
Os	88,05	87,34	86,43	78,52	54,90	52,67	45,84	52,28	29,04	29,58	30,89
Ir	10,21	10,30	10,28	17,41	38,45	40,60	45,45	39,86	59,87	58,16	56,81
Ru	0,36	1,20	0,84	1,44	3,16	4,22	2,70	4,80	5,66	5,34	5,47
Rh	0,28	0,46	0,74	0,06	0,49	0,61	1,73	0,66	1,09	1,30	1,13
Pt	0,80	0,49	0,70	1,62	2,15	0,89	2,94	1,28	3,60	4,87	4,62
Pd	0,00	0,00	0,15	0,00	0,25	0,00	0,22	0,02	0,02	0,00	0,00
Cu	0,08	0,00	0,00	0,10	0,33	0,37	0,12	0,25	0,42	0,32	0,36
Ni	0,10	0,03	0,17	0,00	0,00	0,03	0,04	0,06	0,02	0,00	0,03
Fe	0,00	0,00	0,57	0,72	0,10	0,15	0,53	0,56	0,00	0,23	0,31
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,005
As	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,006	0,007	0,005	0,005	0,003	0,006
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Os	0,872	0,859	0,837	0,761	0,527	0,498	0,433	0,490	0,273	0,278	0,287
Ir	0,100	0,100	0,098	0,167	0,365	0,380	0,425	0,369	0,556	0,540	0,523
Ru	0,007	0,022	0,015	0,026	0,057	0,075	0,048	0,085	0,100	0,094	0,096
Rh	0,005	0,008	0,013	0,001	0,009	0,011	0,030	0,011	0,019	0,023	0,019
Pt	0,008	0,005	0,007	0,015	0,020	0,008	0,027	0,012	0,033	0,045	0,042
Pd	0,000	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,002	0,000	0,000	0,003	0,009	0,010	0,003	0,007	0,012	0,009	0,010
Ni	0,003	0,001	0,005	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001
Fe	0,000	0,000	0,019	0,024	0,003	0,005	0,017	0,018	0,000	0,007	0,010
Total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau 3.4. Sulfoarséniures de EGP

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Chahine	Chahine	Chahine	Nematte	Nematte	Reza Balla	Reza Balla	Cheshmeh Bid-T8	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7
Echantillon	34A	34A	36A	53A	53A	14A	14A	30N	2N	2N
Site	3_1	3_2	8	4	4	2	2	4	4	4
*Position	C	C	C	C	C	C	B	C	C	B
S	11,99	3,81	15,34	12,45	12,68	11,45	10,85	15,20	18,05	16,36
As	23,71	28,99	15,85	21,75	22,33	23,93	24,74	17,32	20,49	20,32
Sb	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
Os	0,27	1,18	3,25	3,46	3,45	0,00	0,00	3,33	7,31	5,40
Ir	55,43	17,84	23,38	55,93	56,89	60,32	60,77	47,87	21,42	18,31
Ru	0,27	0,12	7,90	0,30	0,55	0,50	0,40	5,93	10,17	7,73
Rh	4,06	1,26	15,18	0,28	0,59	0,49	0,17	0,38	17,90	19,94
Pt	0,00	0,47	0,22	0,87	0,15	1,22	0,47	0,82	0,85	0,83
Pd	0,39	0,00	0,35	0,26	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00
Cu	0,38	0,89	0,05	0,45	0,44	0,59	0,42	0,33	0,09	0,11
Ni	0,36	41,70	0,01	0,02	0,02	0,04	0,00	0,09	0,00	0,09
Fe	0,45	0,70	1,69	0,12	0,02	0,13	0,03	0,74	1,08	1,33
Cr	2,54	1,48	7,69	1,19	1,86	1,53	1,78	2,83	4,18	6,09
Total	99,83	98,46	90,90	97,10	98,97	100,21	99,64	95,24	101,52	96,54
S	12,38	3,94	18,82	13,00	13,05	11,62	11,09	16,58	18,74	18,35
As	24,48	30,01	19,45	22,71	23,00	24,28	25,29	18,89	21,28	22,80
Sb	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
Os	0,28	1,22	3,98	3,61	3,56	0,00	0,00	3,64	7,59	6,06
Ir	57,24	18,47	28,68	58,39	58,59	61,21	62,12	52,20	22,24	20,55
Ru	0,27	0,13	9,69	0,31	0,56	0,50	0,41	6,46	10,56	8,67
Rh	4,19	1,30	18,62	0,29	0,61	0,49	0,17	0,42	18,59	22,38
Pt	0,00	0,48	0,27	0,91	0,15	1,24	0,48	0,89	0,88	0,93
Pd	0,40	0,00	0,43	0,28	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
Cu	0,39	0,92	0,06	0,47	0,46	0,60	0,43	0,36	0,09	0,12
Ni	0,37	43,17	0,01	0,02	0,02	0,04	0,00	0,10	0,00	0,10
Fe	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,081	0,264	1,355	1,156	1,155	1,054	1,016	1,355	1,333	1,294
As	0,915	0,859	0,599	0,864	0,871	0,943	0,991	0,661	0,648	0,688
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Os	0,004	0,014	0,048	0,054	0,053	0,000	0,000	0,050	0,091	0,072
Ir	0,834	0,206	0,344	0,866	0,865	0,926	0,949	0,712	0,264	0,242
Ru	0,008	0,003	0,221	0,009	0,016	0,014	0,012	0,168	0,238	0,194
Rh	0,114	0,027	0,418	0,008	0,017	0,014	0,005	0,011	0,412	0,491
Pt	0,000	0,005	0,003	0,013	0,002	0,018	0,007	0,012	0,010	0,011
Pd	0,011	0,000	0,009	0,007	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000
Cu	0,017	0,031	0,002	0,021	0,020	0,027	0,020	0,015	0,003	0,004
Ni	0,018	1,578	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,004	0,000	0,004
Fe	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral

Tableau 3.5.1 Sulfures formant des solutions solides entre EGP et MB, Cuproiridsites, malanite

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Ardechir	Yassamine	Yassamine	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chahriar	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Fétr	Fétr
Echantillon	67A	25A	25A	10A	10A	10A	10A	58A	58A	22A	22A	22A	49A	51A
Site	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	4
*Position	C	C	C	C	B	B	B	C	B	C	C	C	C	C
S	11,44	21,82	18,84	20,13	16,38	20,08	20,48	24,11	23,71	24,33	23,35	23,89	20,31	22,10
As	0,00	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
Os	0,00	0,00	0,61	32,69	0,05	0,91	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,49	0,33	0,00
Ir	29,67	33,77	30,38	34,31	41,42	52,05	52,86	56,14	51,17	49,24	47,28	48,51	42,64	51,94
Ru	0,00	0,22	0,00	1,83	0,08	0,00	0,00	0,15	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00
Rh	3,28	3,74	3,40	0,64	1,46	1,63	2,06	3,22	2,55	9,90	9,63	10,91	8,65	3,23
Pt	0,40	0,52	0,81	1,06	0,46	0,69	1,02	3,41	2,74	0,72	0,97	1,13	0,56	0,21
Pd	0,00	0,00	0,18	0,26	0,00	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,09	0,25	0,00	0,00
Cu	5,12	5,14	4,74	4,94	6,84	9,86	9,20	9,29	7,81	7,72	7,52	7,61	8,16	7,71
Ni	0,65	14,43	12,78	0,11	0,11	0,20	0,33	1,74	4,08	2,24	2,38	1,96	0,05	0,13
Fe	4,66	5,74	6,05	0,65	3,01	1,98	1,51	0,94	2,83	1,90	1,80	1,33	2,87	1,65
Cr	16,47	9,61	13,02	3,95	13,44	6,42	5,95	2,22	4,96	3,08	5,72	4,76	10,16	4,02
Total	71,71	94,99	90,80	101,59	83,25	94,29	93,84	101,24	99,89	99,16	98,74	100,91	93,75	90,99
S	22,39	26,29	25,28	20,75	24,52	23,27	23,71	24,49	25,31	25,52	25,50	25,16	25,06	25,70
As	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
Os	0,00	0,00	0,81	33,70	0,07	1,05	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,51	0,40	0,00
Ir	58,05	40,69	40,77	35,37	62,00	60,33	61,18	57,02	54,61	51,66	51,63	51,08	52,62	60,42
Ru	0,01	0,26	0,00	1,88	0,12	0,00	0,00	0,15	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00
Rh	6,42	4,51	4,57	0,66	2,19	1,88	2,39	3,27	2,72	10,38	10,51	11,48	10,67	3,75
Pt	0,78	0,62	1,08	1,09	0,69	0,80	1,18	3,46	2,92	0,76	1,05	1,18	0,69	0,25
Pd	0,00	0,00	0,24	0,27	0,00	0,57	0,23	0,00	0,00	0,00	0,10	0,26	0,00	0,00
Cu	10,01	6,20	6,36	5,09	10,24	11,43	10,65	9,43	8,34	8,10	8,21	8,01	10,07	8,96
Ni	1,28	17,39	17,15	0,11	0,16	0,23	0,38	1,77	4,35	2,35	2,59	2,07	0,07	0,15
Fe	1,06	4,03	3,74	0,00	0,00	0,43	0,02	0,39	1,70	1,18	0,40	0,15	0,41	0,75
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	3,864	3,710	3,640	3,982	4,190	4,018	4,089	4,121	4,090	4,101	4,115	4,105	4,109	4,281
As	0,000	0,000	0,000	0,088	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Os	0,000	0,000	0,020	1,090	0,002	0,031	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,014	0,011	0,000
Ir	1,671	0,958	0,979	1,132	1,767	1,737	1,760	1,601	1,472	1,385	1,390	1,390	1,439	1,678
Ru	0,000	0,012	0,000	0,115	0,006	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
Rh	0,345	0,198	0,205	0,039	0,117	0,101	0,128	0,171	0,137	0,520	0,528	0,584	0,545	0,195
Pt	0,022	0,014	0,026	0,034	0,019	0,023	0,033	0,096	0,078	0,020	0,028	0,032	0,019	0,007
Pd	0,000	0,000	0,010	0,016	0,000	0,030	0,012	0,000	0,000	0,000	0,005	0,013	0,000	0,000
Cu	0,871	0,441	0,462	0,493	0,883	0,995	0,927	0,801	0,680	0,657	0,668	0,659	0,833	0,753
Ni	0,120	1,341	1,349	0,012	0,015	0,021	0,036	0,163	0,384	0,207	0,229	0,184	0,006	0,014
Fe	0,105	0,326	0,309	0,000	0,000	0,043	0,002	0,038	0,158	0,109	0,037	0,014	0,038	0,072
Total	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral

Tableau 3.5.1 (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz
Gisement	Fétr	Nematte	Nematte	Abcharballa	Abcharballa	Abcharballa	Reza Vassate	Rajoni	Rajoni
Echantillon	51A	54A	54A	68A	68A	68A	1A	28N	28N
Site	4	2	2	2	2	2	2	2	2
Position	B	C	C	C	C	C	C	C	C
S	22,21	25,22	25,56	22,35	15,30	19,68	8,43	15,03	13,72
As	0,16	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,47
Sb	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04
Os	0,00	0,00	0,44	7,58	0,68	3,39	1,25	0,50	5,73
Ir	56,21	54,95	55,54	50,86	44,15	49,77	29,90	16,00	9,87
Ru	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,19	0,06	3,06	8,19
Rh	3,63	3,54	3,77	1,04	1,28	1,09	3,04	3,22	2,11
Pt	0,13	1,86	1,95	1,39	1,19	1,02	0,39	16,45	15,41
Pd	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,06	0,28	0,00	0,49
Cu	9,01	9,52	9,56	7,58	6,36	7,49	6,24	5,49	3,65
Ni	0,19	0,00	0,00	0,13	0,10	0,14	9,02	1,85	0,37
Fe	1,58	0,68	1,03	1,10	3,89	3,21	6,68	4,27	4,33
Cr	4,26	5,35	4,31	5,70	15,26	8,83	22,79	13,52	13,55
Total	97,37	101,14	102,18	98,21	88,21	94,92	88,07	79,44	77,92
S	24,12	26,52	26,39	24,45	22,13	23,46	14,14	24,03	22,49
As	0,18	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,09	0,76
Sb	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07
Os	0,00	0,00	0,46	8,29	0,98	4,04	2,10	0,80	9,39
Ir	61,07	57,77	57,36	55,63	63,87	59,33	50,18	25,59	16,18
Ru	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,22	0,10	4,89	13,43
Rh	3,94	3,73	3,90	1,14	1,85	1,30	5,10	5,15	3,46
Pt	0,14	1,95	2,01	1,52	1,72	1,21	0,66	26,30	25,26
Pd	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,07	0,47	0,00	0,80
Cu	9,78	10,01	9,88	8,30	9,20	8,93	10,46	8,78	5,99
Ni	0,20	0,00	0,00	0,14	0,14	0,17	15,13	2,96	0,61
Fe	0,56	0,00	0,00	0,00	0,11	1,19	1,65	1,41	1,56
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	4,118	4,348	4,340	4,262	4,014	4,101	2,524	3,929	3,831
As	0,013	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,006	0,056
Sb	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003
Os	0,000	0,000	0,013	0,244	0,030	0,119	0,063	0,022	0,270
Ir	1,739	1,580	1,573	1,618	1,932	1,730	1,494	0,698	0,460
Ru	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,012	0,006	0,254	0,726
Rh	0,210	0,190	0,200	0,062	0,104	0,071	0,284	0,263	0,184
Pt	0,004	0,053	0,054	0,043	0,051	0,035	0,019	0,707	0,707
Pd	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,004	0,025	0,000	0,041
Cu	0,843	0,828	0,819	0,730	0,842	0,788	0,942	0,724	0,514
Ni	0,019	0,000	0,000	0,013	0,014	0,016	1,475	0,265	0,057
Fe	0,055	0,000	0,000	0,000	0,011	0,120	0,169	0,132	0,152
Total	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Tableau 3.5.2 Sulfures formant des solutions solides entre EGP et MB. innomés

Massif	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Chahriar
Echantillon	38A	58A
Site	6	4
Position	C	C
S	21,19	24,70
As	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00
Os	1,12	0,00
Ir	35,97	36,65
Ru	2,68	0,01
Rh	0,60	0,86
Pt	0,43	1,01
Pd	0,00	0,12
Cu	2,93	5,18
Ni	11,00	17,11
Fe	4,70	6,25
Cr	9,95	7,61
Total	90,56	99,48
S	27,12	27,45
As	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00
Os	1,43	0,00
Ir	46,05	40,73
Ru	3,43	0,01
Rh	0,77	0,95
Pt	0,55	1,12
Pd	0,00	0,13
Cu	3,74	5,76
Ni	14,08	19,01
Fe	2,83	4,84
Total	100	100
S	3,984	3,780
As	0,000	0,000
Sb	0,000	0,000
Os	0,035	0,000
Ir	1,128	0,936
Ru	0,160	0,000
Rh	0,035	0,041
Pt	0,013	0,025
Pd	0,000	0,005
Cu	0,277	0,400
Ni	1,129	1,430
Fe	0,238	0,382
Total	7	7

Tableau 3.5.2. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahriar	Chahine	Chahriar	Chahriar
Echantillon	58A	36A	58A	58A
Site	5	15	3	3
Position	C	C	C	C
S	24,62	24,58	17,20	20,76
As	0,00	0,00	0.00	0,05
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,62	0,00	1,38	9,18
Ir	39,20	35,59	29,56	28,42
Ru	0,00	0,00	0,17	0,77
Rh	3,05	4,08	2.21	2,29
Pt	0,15	0,00	0,53	0,35
Pd	0,00	0,00	0,00	0,10
Cu	5,68	7,76	3,99	4,17
Ni	13,71	13,68	9,53	10,22
Fe	7,07	7,22	6,30	5,84
Cr	4,41	4,59	15,32	11,95
Total	98,51	97,52	86,18	94,10
S	26,48	26,78	25,66	26,23
As	0,00	0,00	0,00	0,07
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,66	0,00	2,06	11,59
Ir	42,15	38,78	44,09	35,90
Ru	0,00	0,00	0,26	0,97
Rh	3,28	4,45	3,30	2,90
Pt	0,16	0,00	0,79	0,44
Pd	0,00	0,00	0,00	0,13
Cu	6,10	8,46	5,95	5,27
Ni	14,74	14,91	14,21	12,91
Fe	6,42	6,61	3,68	3,60
Total	100	100	100	100
S	3,745	3,687	2,162	2,218
As	0,000	0,000	0,000	0,002
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,016	0,000	0,029	0,165
Ir	0,994	0,890	0,620	0,506
Ru	0,000	0,000	0,007	0,026
Rh	0,145	0,191	0,087	0,076
Pt	0,004	0,000	0,011	0,006
Pd	0,000	0,000	0,000	0,003
Cu	0,436	0,588	0,253	0,225
Ni	1,139	1,121	0,654	0,596
Fe	0,521	0,523	0,178	0,175
Total	7	7	4	4

Tableau 3.6. Alliages formant des solutions solides entre EGP et MB, innomés

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chojaie	Chojaie	Chojaie
Echantillon	34A	34A	36A	36A	18A	18A	18A
Site	3	3	4	4	4	4	4
*Position	C	B	C	C	C	B	B
S	0,00	0,26	0,86	0,83	0.61	0,63	0.65
As	0,35	1,41	0,00	0,06	0.55	0.00	0.22
Sb	0,00	0.00	0,07	0.00	0.00	0.00	0.00
Os	33,62	43,68	12,14	12,69	11.00	13.81	13.09
Ir	19,49	24.95	7,00	6,12	9.39	7.05	9.78
Ru	3,74	5,30	34,34	34,93	30.31	33.73	30.45
Rh	0,01	0.45	0,95	0,92	1.85	1.35	1.63
Pt	6,46	2,00	0,58	0,46	0.45	1.06	0.61
Pd	1,62	0,66	0,00	0,00	0,03	0.00	0.00
Cu	25,36	10,56	0,30	0,15	0,42	0,56	0.31
Ni	1,52	4,73	0,64	0,44	5,31	3,87	5,02
Fe	3,37	2,24	35,81	34,16	37,95	30,61	33,64
Cr	2,00	2,13	3,68	2,33	1,99	1,92	2,20
Total	97,52	98,37	96,38	93,07	99,85	94,58	97,59
S	0,00	0,27	0,94	0,92	0,62	0,68	0,68
As	0,37	1,47	0,00	0,07	0,56	0,00	0,23
Sb	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	35,38	45,64	13,22	14,07	11,30	14,98	13,80
Ir	20,51	26,07	7,63	6,79	9,64	7,64	10,31
Ru	3,93	5,54	37,42	38,74	31,13	36,59	32,11
Rh	0,01	0,47	1,04	1,02	1,90	1,46	1,72
Pt	6,80	2,09	0,64	0,50	0,47	1,15	0,65
Pd	1,70	0,69	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Cu	26,69	11,03	0,33	0,16	0,43	0,61	0,33
Ni	1,60	4,94	0,69	0,49	5,46	4,19	5,29
Fe	3,02	1,78	38,02	37,24	38,47	32,68	34,89
Total	100	100	100	100	100	100	100
S	0,000	0,011	0,024	0,024	0,015	0,018	0,018
As	0,006	0,025	0,000	0,001	0,006	0,000	0,003
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,209	0,312	0,057	0,061	0,047	0,066	0,060
Ir	0,120	0,176	0,033	0,029	0,040	0,033	0,044
Ru	0,044	0,071	0,303	0,316	0,246	0,305	0,263
Rh	0,000	0,006	0,008	0,008	0,015	0,012	0,014
Pt	0,039	0,014	0,003	0,002	0,002	0,005	0,003
Pd	0,018	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,473	0,225	0,004	0,002	0,005	0,008	0,004
Ni	0,031	0,109	0,010	0,007	0,074	0,060	0,075
Fe	0,061	0,041	0,558	0,550	0,549	0,493	0,517
Total	1	1	1	1	1	1	1

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral

Tableau 3.6. (suite)

Massif	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Nematte	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-T2	Cheshmeh Bid-T2	Cheshmeh Bid-T2	Cheshmeh Bid-T2
Echantillon	53A	18N	18N	18N	51N	51N	51N	51N
Site	4	5_2	5_3	5_3	2	2	2	2
Position	C	C	C	C	C	B	C	C
S	0,41	0,35	0,61	0,65	0,73	0,69	0,87	0,71
As	0,00	0,07	0,00	0,00	0,16	0,03	0,00	0,12
Sb	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	25,40	21,21	2,73	10,68	13,53	13,76	15,24	11,77
Ir	5,44	11,58	20,87	19,75	8,83	8,65	8,65	7,54
Ru	15,04	13,02	2,08	6,92	33,54	33,50	33,70	33,52
Rh	0,37	0,73	0,42	0,42	1,02	1,08	0,58	0,84
Pt	0,51	0,45	0,46	0,71	0,12	0,36	0,00	0,24
Pd	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,11
Cu	0,35	0,16	0,81	0,69	0,00	0,08	0,01	0,05
Ni	5,10	0,62	0,98	0,65	3,73	2,97	3,61	4,11
Fe	5,51	45,50	21,23	29,92	29,42	29,29	29,89	29,34
Cr	3,36	2,11	13,32	7,96	2,00	2,20	2,45	1,91
Total	61,62	95,78	63,52	78,34	93,07	92,61	95,08	90,26
S	0,72	0,38	1,30	0,95	0,81	0,77	0,94	0,80
As	0,00	0,07	0,00	0,00	0,17	0,03	0,00	0,14
Sb	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	44,22	22,77	5,82	15,61	14,94	15,32	16,56	13,40
Ir	9,46	12,43	44,53	28,87	9,75	9,62	9,40	8,58
Ru	26,20	13,98	4,44	10,12	37,02	37,28	36,62	38,15
Rh	0,64	0,78	0,90	0,61	1,13	1,20	0,63	0,96
Pt	0,88	0,49	0,97	1,04	0,13	0,40	0,00	0,27
Pd	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,12
Cu	0,61	0,17	1,73	1,01	0,00	0,08	0,01	0,06
Ni	8,88	0,66	2,09	0,94	4,11	3,30	3,93	4,68
Fe	8,13	48,28	38,19	40,84	31,93	31,99	31,82	32,84
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
S	0,025	0,010	0,037	0,026	0,021	0,021	0,025	0,021
As	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002
Sb	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,263	0,098	0,028	0,072	0,067	0,069	0,074	0,059
Ir	0,056	0,053	0,209	0,132	0,043	0,043	0,042	0,037
Ru	0,294	0,113	0,040	0,088	0,311	0,316	0,309	0,315
Rh	0,007	0,006	0,008	0,005	0,009	0,010	0,005	0,008
Pt	0,005	0,002	0,005	0,005	0,001	0,002	0,000	0,001
Pd	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Cu	0,011	0,002	0,025	0,014	0,000	0,001	0,000	0,001
Ni	0,171	0,009	0,032	0,014	0,060	0,048	0,057	0,066
Fe	0,165	0,706	0,618	0,643	0,486	0,490	0,486	0,490
Total	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau 4.1. Sulfures de métaux de base interstitiels et inclus dans la chromite des chromitites, heazlewoodites, millerites, pentlandites, pyrites, digenites, covellite, linnaeite

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz
Gisement	Vali	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7
Echantillon	65A	71A	71A	71A	71A	71A	71A	71A	18N	2N	2N	2N	14N	14N
Site	1	8_1	8_2	8_3	8_4	12_1	12`_2	14	11	2	2	3	5	5
*Position	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-B	Int-C	Int-C	Int-B
S	20,95	26,95	26,33	26,78	26,76	26,25	26,33	25,61	26,81	26,71	27,15	26,94	26,34	26,28
As	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,23	0,25	0,07	0,00	0,15	0,12	0,00	0,41	0,26
Sb	0,00	0,01	0,05	0,00	0,07	0,04	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
Os	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ir	0,06	0,84	0,05	0,38	0,12	0,22	0,00	0,52	0,47	0,63	0,10	0,29	0,00	0,08
Ru	0,18	0,05	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Rh	0,01	0,00	0,10	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,24	0,05	0,00	0,12	0,00	0,00
Pt	0,58	0,23	0,00	0,32	0,14	0,25	0,18	0,23	0,77	0,27	0,67	0,05	0,00	0,94
Pd	0,15	0,19	0,00	0,00	0,00	0,11	0,16	0,20	0,13	0,00	0,23	0,00	0,00	0,23
Cu	0,01	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
Ni	21,51	70,47	70,36	69,34	69,44	71,09	69,88	72,25	69,34	72,79	71,17	72,78	72,98	71,62
Co	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,04	0,02	0,00	0,00
Fe	40,97	0,76	0,75	0,10	0,20	0,21	0,29	1,72	1,32	0,07	0,16	0,26	0,22	0,55
Cr	0,00	1,39	0,74	0,32	0,37	0,00	0,00	0,00	2,37	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
Total	85,25	100,90	98,50	97,35	97,13	98,43	97,10	100,62	101,76	100,74	99,64	100,83	100,08	99,97
S	24,57	27,18	26,99	27,62	27,68	26,67	27,11	25,45	27,13	26,52	27,25	26,79	26,32	26,29
As	0,00	0,00	0,06	0,05	0,00	0,23	0,26	0,07	0,00	0,15	0,12	0,00	0,41	0,26
Sb	0,00	0,01	0,05	0,00	0,07	0,04	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
Os	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ir	0,06	0,85	0,06	0,39	0,12	0,22	0,00	0,52	0,48	0,62	0,10	0,29	0,00	0,08
Ru	0,21	0,05	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
Rh	0,01	0,00	0,10	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,24	0,05	0,00	0,12	0,00	0,00
Pt	0,68	0,23	0,00	0,32	0,14	0,26	0,18	0,23	0,78	0,27	0,67	0,05	0,00	0,94
Pd	0,18	0,19	0,00	0,00	0,00	0,11	0,16	0,19	0,13	0,00	0,23	0,00	0,00	0,23
Cu	0,01	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
Ni	25,23	71,06	72,12	71,52	71,83	72,22	71,97	71,80	70,18	72,26	71,43	72,36	72,93	71,64
Co	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00
Fe	48,06	0,42	0,58	0,02	0,11	0,22	0,30	1,71	0,73	0,07	0,16	0,20	0,22	0,55
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,841	2,044	2,020	2,066	2,065	2,006	2,030	1,932	2,047	2,001	2,045	2,011	1,980	1,989
As	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,008	0,008	0,002	0,000	0,005	0,004	0,000	0,013	0,008
Sb	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Os	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ir	0,001	0,011	0,001	0,005	0,001	0,003	0,000	0,007	0,006	0,008	0,001	0,004	0,000	0,001
Ru	0,005	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Rh	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000
Pt	0,008	0,003	0,000	0,004	0,002	0,003	0,002	0,003	0,010	0,003	0,008	0,001	0,000	0,012
Pd	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,004	0,003	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005
Cu	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000
Ni	1,032	2,918	2,947	2,921	2,925	2,967	2,943	2,977	2,891	2,977	2,928	2,967	2,995	2,960
Co	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000
Fe	2,067	0,018	0,025	0,001	0,005	0,009	0,013	0,075	0,032	0,003	0,007	0,009	0,009	0,024
Total	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

*Position: C, centre de minéral; B, bordure de minéral; Inc, interstitiel; Inc, inclu

Tableau 4.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Khajeh Jamali	Neypik	Barandaz	Doveisse	Doveisse	Bahrsangue	Bahram	Chahriar	Chahriar	Fétr	Cheshmeh Bid-cu
Echantillon	14N	14N	14N	42N	47N	44N	38A	40A	60A	3A	5A	58A	50A	18N
Site	7_1	7_1	7_2	1	3	1	3	3	6	1	2	4	1	11
Position	Int-C	Int-B	Int-C	Int-C	Int-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Int-C
S	25,18	25,34	28,28	27,75	27,38	15,66	34,20	35,27	35,49	34,14	23,88	21,36	34,02	21,50
As	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
Os	0,00	0,64	0,36	0,06	0,00	0,53	1,24	0,00	0,00	0,50	7,56	0,03	0,00	0,00
Ir	0,20	0,54	0,33	0,37	0,00	0,10	1,24	0,45	0,04	0,44	1,65	4,28	0,09	0,41
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,68	0,00	0,00	0,20	0,35	0,00	0,01	0,00
Rh	0,00	0,13	0,08	0,06	0,04	0,16	0,05	0,00	0,00	0,12	0,09	0,18	0,17	0,02
Pt	0,23	0,36	0,53	0,00	0,26	0,40	0,45	0,00	0,33	0,06	0,28	0,23	0,49	0,11
Pd	0,30	0,00	0,00	0,06	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	0,12	0,00
Cu	0,09	0,01	0,00	0,00	0,01	0,10	0,22	0,00	0,00	0,07	55,13	1,67	0,29	0,00
Ni	71,06	69,63	66,84	34,14	72,65	44,00	57,52	62,04	50,96	57,67	0,08	37,69	56,97	45,46
Co	0,01	0,00	0,00	9,55	0,00	0,05	0,04	0,00	0,25	0,10	0,00	0,02	0,20	0,05
Fe	1,22	0,94	0,65	26,29	0,07	5,26	2,00	1,08	5,92	3,96	4,67	4,31	0,93	1,15
Cr	1,07	0,90	0,56	0,16	0,12	15,61	2,96	2,92	6,67	2,95	3,43	14,25	3,61	2,77
Total	99,51	98,56	97,64	98,45	100,53	82,03	100,74	101,83	99,66	100,21	97,20	84,08	96,92	71,48
S	25,65	26,00	29,18	28,25	27,28	25,05	35,24	35,92	38,86	35,37	25,70	32,23	36,82	31,62
As	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00
Os	0,00	0,66	0,37	0,06	0,00	0,85	1,28	0,00	0,00	0,51	8,14	0,04	0,00	0,00
Ir	0,21	0,55	0,34	0,38	0,00	0,16	1,28	0,45	0,04	0,46	1,78	6,45	0,10	0,60
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,70	0,00	0,00	0,20	0,38	0,00	0,01	0,00
Rh	0,00	0,13	0,08	0,06	0,04	0,25	0,05	0,00	0,00	0,12	0,09	0,27	0,19	0,03
Pt	0,23	0,37	0,55	0,00	0,26	0,64	0,46	0,00	0,36	0,06	0,30	0,34	0,53	0,17
Pd	0,31	0,00	0,00	0,06	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,00	0,13	0,00
Cu	0,09	0,01	0,00	0,00	0,01	0,16	0,23	0,00	0,00	0,07	59,34	2,52	0,31	0,00
Ni	72,39	71,46	68,95	34,75	72,37	70,38	59,28	63,19	55,80	59,74	0,09	56,87	61,66	66,83
Co	0,01	0,00	0,00	9,72	0,00	0,09	0,04	0,00	0,27	0,10	0,00	0,03	0,22	0,07
Fe	0,97	0,74	0,52	26,71	0,04	2,17	1,30	0,36	4,66	3,33	4,10	1,13	0,03	0,66
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,943	1,976	2,166	2,078	2,039	1,918	1,017	1,016	1,076	1,007	0,858	0,970	1,037	0,921
As	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sb	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Os	0,000	0,008	0,005	0,001	0,000	0,011	0,006	0,000	0,000	0,002	0,046	0,000	0,000	0,000
Ir	0,003	0,007	0,004	0,005	0,000	0,002	0,006	0,002	0,000	0,002	0,010	0,032	0,000	0,003
Ru	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0,000
Rh	0,000	0,003	0,002	0,001	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,002	0,000
Pt	0,003	0,005	0,007	0,000	0,003	0,008	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001
Pd	0,007	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Cu	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,006	0,003	0,000	0,000	0,001	0,999	0,038	0,004	0,000
Ni	2,994	2,966	2,795	1,396	2,954	2,944	0,934	0,976	0,844	0,928	0,002	0,934	0,949	1,063
Co	0,000	0,000	0,000	0,389	0,000	0,004	0,001	0,000	0,004	0,002	0,000	0,001	0,003	0,001
Fe	0,042	0,032	0,022	1,128	0,002	0,095	0,021	0,006	0,074	0,054	0,079	0,020	0,001	0,011
Total	5	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2

Tableau 4.1. (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Cheshmeh Bid-T7	Neypik	Neypik	Bahrsangue	Bahram	Vali	Vali	Yassamine	Yassamine	chahine	Cheshmeh Bid-cu
Echantillon	18N	14N	14N	38N	47N	47N	60A	3A	65A	65A	24A	24A	36A	18N
Site	10	6	6	2	4	2	6	1	2	3	1	1	16	12
Position	Inc-C	Int-C	Int-B	Inc-C	Int-C	Int-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Int-C	Int-C	Int-B	Inc-C	Inc-C
S	16,04	34,10	33,85	28,97	33,61	33,98	31,88	30,15	26,46	32,89	32,87	8,28	30,35	30,14
As	0,00	0,41	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,05	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Os	0,00	0,00	0,24	0,00	0,68	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67
Ir	0,00	0,15	0,45	0,00	0,00	0,22	0,38	0,31	0,00	0,21	0,00	0,47	0,25	1,01
Ru	0,00	0,07	0,08	0,17	0,01	0,00	0,03	0,55	0,12	0,01	0,04	0,04	0,00	5,84
Rh	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,10	0,04	0,79	0,16	0,05	0,00	0,00	0,00	0,13
Pt	0,15	0,00	0,20	0,42	0,16	0,49	0,20	0,41	0,00	0,30	0,51	0,23	0,14	0,38
Pd	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,02	0,00	0,15
Cu	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,87	0,76	0,71	0,38	0,13	4,03	12,17
Ni	29,59	64,28	66,68	63,87	63,87	61,06	40,01	38,12	26,71	16,99	22,66	26,21	34,19	28,58
Co	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,13	0,38	0,25	0,30	0,67	1,07	0,26	0,18	0,09
Fe	1,17	0,16	0,11	2,83	0,01	0,83	19,89	17,28	21,10	29,19	41,15	38,47	26,31	14,38
Cr	2,05	0,14	0,36	3,71	0,20	0,19	6,12	5,12	11,07	10,31	0,24	0,00	3,06	1,97
Total	49,47	99,62	102,32	99,99	98,54	96,99	99,02	96,86	86,93	91,33	99,24	74,12	98,61	97,49
S	34,20	34,29	33,23	30,39	34,19	35,11	34,89	33,33	36,20	41,93	33,22	11,18	32,03	31,71
As	0,01	0,41	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,05	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Os	0,00	0,00	0,24	0,00	0,69	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,81
Ir	0,00	0,15	0,44	0,00	0,00	0,23	0,42	0,34	0,00	0,27	0,00	0,63	0,26	1,06
Ru	0,00	0,07	0,07	0,17	0,01	0,00	0,03	0,61	0,17	0,01	0,04	0,06	0,00	6,15
Rh	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,88	0,22	0,06	0,00	0,00	0,00	0,14
Pt	0,32	0,00	0,20	0,44	0,16	0,51	0,22	0,45	0,00	0,38	0,52	0,32	0,15	0,40
Pd	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,02	0,00	0,16
Cu	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,28	1,05	0,90	0,39	0,17	4,25	12,80
Ni	63,09	64,64	65,46	66,99	64,98	63,11	43,79	42,14	36,54	21,66	22,91	35,37	36,08	30,07
Co	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,13	0,41	0,27	0,40	0,86	1,08	0,35	0,19	0,09
Fe	1,39	0,13	0,02	1,99	0,00	0,81	20,10	17,69	25,08	33,92	41,53	51,90	26,95	14,62
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	0,977	0,980	0,959	0,890	0,980	1,000	8,388	8,164	8,604	9,596	8,001	3,127	7,828	8,195
As	0,000	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,031	0,000	0,006	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Os	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122
Ir	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,017	0,014	0,000	0,010	0,000	0,029	0,011	0,046
Ru	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,047	0,013	0,001	0,003	0,005	0,000	0,504
Rh	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,067	0,016	0,004	0,000	0,000	0,000	0,011
Pt	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,002	0,009	0,018	0,000	0,014	0,020	0,015	0,006	0,017
Pd	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,002	0,000	0,012
Cu	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,529	0,125	0,104	0,047	0,024	0,524	1,669
Ni	0,984	1,009	1,032	1,072	1,017	0,981	5,749	5,637	4,743	2,707	3,012	5,405	4,816	4,243
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,054	0,036	0,052	0,107	0,142	0,053	0,025	0,013
Fe	0,023	0,002	0,000	0,034	0,000	0,013	2,774	2,487	3,422	4,456	5,742	8,339	3,782	2,168
Totnl	2	2	2	2	2	2	17	17	17	17	17	17	17	17

Tableau 4.1 (suite)

Massif	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz
Gisement	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-T7	Bahram	Bahram	Yassamine	Yassamine	chahriar	Chojaie	Fétr	Fétr	Reza Balla	Khajeh Jamali	Khajeh Jamali
Echantillon	18N	18N	38N	74A	74A	24A	24A	58A	18A	49A	49A	14A	29N	29N
Site	4	4	2	2_1	2_2	2	2	1	6	6	6	1	1_1	1_2
Position	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Int-C	Int-B	Int-C	Inc-C	Int-C	In-B	Int-C	Inc-C	Inc-C
S	26,96	30,85	26,50	52,99	51,98	50,99	49,87	53,47	19,90	52,26	51,97	53,41	53,21	52,72
As	0,00	0,00	0,08	0,39	0,56	3,19	2,69	0,00	0,14	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,00	0,00	0,39	0,38	0,00	0,92	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ir	0,35	0,00	0,00	0,18	0,09	0,07	0,31	0,00	0,23	0,16	0,10	0,25	0,00	0,27
Ru	0,00	0,00	0,76	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Rh	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,09	0,05	0,22	0,08	0,00	0,00	0,08	0,01
Pt	0,37	0,36	0,00	0,00	0,23	0,41	0,44	0,20	0,05	0,00	0,52	0,40	0,00	0,00
Pd	0,00	0,14	0,02	0,20	0,00	0,26	0,19	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,12	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,05	0,00
Ni	28,58	39,17	53,18	0,00	0,04	0,05	0,00	0,01	0,16	0,08	0,01	0,00	0,04	0,10
Co	0,25	0,29	0,19	0,00	0,09	0,00	0,04	0,07	0,01	0,00	0,74	0,00	0,04	0,04
Fe	15,09	19,71	6,85	46,33	44,86	43,99	43,00	47,70	11,43	44,92	45,77	46,78	45,30	46,67
Cr	1,19	1,63	4,79	0,46	0,10	0,01	0,00	0,00	3,20	0,55	0,37	0,53	0,63	0,63
Total	72,80	92,15	92,91	100,96	97,99	99,89	98,62	101,55	35,36	98,33	99,55	101,40	99,35	100,44
S	37,80	34,23	30,49	52,79	53,11	51,05	50,57	52,66	63,43	53,51	52,45	53,02	53,98	52,90
As	0,00	0,00	0,09	0,38	0,57	3,19	2,73	0,00	0,45	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,00	0,00	0,45	0,38	0,00	0,92	2,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ir	0,49	0,00	0,00	0,18	0,09	0,07	0,31	0,00	0,74	0,16	0,10	0,24	0,00	0,27
Ru	0,00	0,00	0,88	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Rh	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,09	0,05	0,71	0,08	0,00	0,00	0,08	0,01
Pt	0,52	0,40	0,00	0,00	0,23	0,41	0,45	0,19	0,17	0,00	0,52	0,40	0,00	0,00
Pd	0,00	0,16	0,02	0,20	0,00	0,26	0,19	0,00	0,01	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,13	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,05	0,00
Ni	40,07	43,47	61,19	0,00	0,04	0,05	0,00	0,01	0,51	0,08	0,01	0,00	0,04	0,10
Co	0,35	0,32	0,22	0,00	0,09	0,00	0,04	0,07	0,04	0,00	0,75	0,00	0,04	0,04
Fe	20,74	21,42	6,50	46,04	45,82	44,04	43,60	46,97	33,88	45,86	46,10	46,30	45,80	46,67
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	8,931	8,248	7,598	1,991	1,997	1,962	1,962	1,981	2,272	2,006	1,980	1,995	2,015	1,988
As	0,000	0,000	0,010	0,006	0,009	0,053	0,045	0,000	0,007	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,000	0,000	0,019	0,002	0,000	0,006	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ir	0,020	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,004	0,001	0,001	0,002	0,000	0,002
Ru	0,000	0,000	0,069	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rh	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,008	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Pt	0,020	0,016	0,000	0,000	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000
Pd	0,000	0,011	0,002	0,002	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ni	5,170	5,720	8,325	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,010	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002
Co	0,046	0,041	0,029	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,015	0,000	0,001	0,001
Fe	2,813	2,963	0,930	0,997	0,989	0,972	0,971	1,015	0,696	0,987	0,999	1,000	0,981	1,007
Total	17	17	17	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Tableau 4.1. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Assemion	Assemion
Gisement	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Cheshmeh Bid-T5	Hassankhani	Hassankhani	Fétr	Yassamine
Echantillon	32A	34A	36A	36A	36A	9N	45N	45N	48A	24A
Site	4	7	5	15	16	1	1	1	6	4
Position	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-B	Inc-C	Inc-C	Int-C
S	21,73	15,92	21,58	19,38	23,48	21,10	25,08	24,05	4,35	27,64
As	0,27	0,00	0,31	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00
Sb	0,11	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01	0,00
Os	0,00	1,88	0,05	0,00	0,00	0,57	0,03	0,00	0,00	0,56
Ir	0,00	0,29	0,33	0,00	0,00	0,34	0,32	0,00	0,08	0,19
Ru	0,02	3,16	0,53	0,00	0,00	2,77	0,00	0,16	1,51	0,00
Rh	0,02	0,29	0,16	0,08	0,00	0,30	0,01	0,00	0,13	0,12
Pt	0,40	0,60	0,24	0,00	0,23	0,49	0,09	0,00	0,00	0,24
Pd	0,00	0,04	0,27	0,00	0,03	0,00	0,08	0,03	0,10	0,00
Cu	71,67	42,16	66,40	71,72	68,38	59,42	65,85	56,22	8,31	0,04
Ni	0,01	0,09	0,00	0,00	0,08	0,08	3,17	10,94	0,07	19,61
Co	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	28,21
Fe	3,09	5,23	3,09	0,98	4,49	3,71	0,71	0,94	6,95	8,98
Cr	2,31	12,33	1,57	4,35	2,70	4,68	2,41	3,62	27,14	5,87
Total	99,64	81,98	94,58	96,53	99,40	93,46	97,82	96,00	48,93	91,46
S	22,46	23,91	23,30	21,28	24,45	24,08	26,45	26,29	28,97	32,86
As	0,27	0,00	0,33	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	1,87	0,00
Sb	0,11	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,09	0,00
Os	0,00	2,82	0,05	0,00	0,00	0,65	0,03	0,00	0,01	0,67
Ir	0,00	0,43	0,36	0,00	0,00	0,39	0,34	0,00	0,52	0,22
Ru	0,02	4,75	0,57	0,00	0,00	3,16	0,00	0,17	10,07	0,00
Rh	0,02	0,44	0,17	0,09	0,00	0,34	0,01	0,00	0,85	0,15
Pt	0,42	0,90	0,26	0,00	0,24	0,56	0,09	0,00	0,01	0,28
Pd	0,00	0,05	0,29	0,00	0,03	0,00	0,08	0,03	0,64	0,00
Cu	74,08	63,33	71,69	78,73	71,21	67,82	69,46	61,46	55,36	0,05
Ni	0,01	0,14	0,00	0,00	0,08	0,09	3,34	11,96	0,48	23,31
Co	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07	33,53
Fe	2,60	3,22	2,91	0,00	3,97	2,90	0,12	0,04	1,07	8,93
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	1,094	1,193	1,132	1,047	1,169	1,177	1,249	1,233	0,929	3,323
As	0,006	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000
Sb	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Os	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,011
Ir	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,003	0,004
Ru	0,000	0,075	0,009	0,000	0,000	0,049	0,000	0,003	0,102	0,000
Rh	0,000	0,007	0,003	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000	0,009	0,005
Pt	0,003	0,007	0,002	0,000	0,002	0,005	0,001	0,000	0,000	0,005
Pd	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,000
Cu	1,821	1,594	1,758	1,955	1,717	1,672	1,655	1,455	0,896	0,002
Ni	0,000	0,004	0,000	0,000	0,002	0,002	0,086	0,306	0,008	1,287
Co	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	1,845
Fe	0,073	0,092	0,081	0,000	0,109	0,081	0,003	0,001	0,020	0,518
Total	3	3	3	3	3	3	3	3	2	7

Tableau 4.2 Alliages de métaux de base interstitiels et inclus dans la chromite

Massif	Assemion	Assemion
Gisement	Doveisse	Doveisse
Echantillon	39A	39A
Site	1	1
Position	Int-C	Int-B
S	0,02	0,02
As	0,14	0,30
Sb	0,00	0,00
Os	0,00	0,00
Ir	0,02	0,00
Ru	0,08	0,00
Rh	0,00	0,14
Pt	0,44	0,15
Pd	0,11	0,27
Cu	0,55	0,32
Ni	71,55	72,96
Co	0,08	0,18
Fe	25,80	27,88
Cr	0,00	0,07
Total	98,78	102,28
S	0,02	0,02
As	0,14	0,29
Sb	0,00	0,00
Os	0,00	0,00
Ir	0,02	0,00
Ru	0,08	0,00
Rh	0,00	0,14
Pt	0,45	0,15
Pd	0,11	0,27
Cu	0,55	0,31
Ni	72,43	71,39
Co	0,08	0,17
Fe	26,12	27,26
Total	100	100
S	0,002	0,002
As	0,004	0,009
Sb	0,000	0,000
Os	0,000	0,000
Ir	0,000	0,000
Ru	0,002	0,000
Rh	0,000	0,003
Pt	0,005	0,002
Pd	0,002	0,006
Cu	0,020	0,011
Ni	2,872	2,826
Co	0,003	0,007
Fe	1,089	1,135
Total	4	4

Tableau 4.2. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Bahram	Yassamine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chahine	Chojaie	Chojaie	Chojaie	Chojaie
Echantillon	6A	24A	32A	32A	32A	32A	33A	34A	34A	35A	36A	18A	18A	20A	20A
Site	8	1	2	2	3	3	14	4	10	1	14	5_1	5_2	3	3
Position	Int-C	Int-C	Int-C	Int-B	Inc-C	Inc-B	Int-C	Inc-C	Inc-C	Int-C	Inc-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-B
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,19	0,00	0,02	0,03	0,03	0,01	0,09	0,04	0,00	0,00
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,52	0,45	2,73	0,00	2,07	0,00	0,02	0,00
Sb	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,43	0,64	0,00	0,47
Ir	0,44	0,80	0,46	0,12	0,78	0,00	0,22	0,18	0,30	0,39	0,47	0,22	0,29	0,42	0,00
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rh	0,08	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,15	0,08	0,08	0,05	0,00
Pt	0,34	0,02	0,36	0,82	0,17	0,32	0,60	0,18	0,52	0,39	0,78	0,29	1,31	0,93	0,00
Pd	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,15	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,45	0,36	0,07	1,02	0,49	0,13	2,76	0,96	0,07	4,87	0,59	11,64	3,45	0,00	0,00
Ni	72,94	72,85	72,87	70,01	73,59	38,25	74,49	74,24	74,03	67,88	72,07	60,09	67,67	70,87	69,13
Co	0,22	0,18	0,27	0,48	0,02	0,82	0,04	0,20	0,07	0,50	0,03	0,28	0,00	0,07	0,12
Fe	21,51	24,72	23,46	25,42	23,88	16,52	20,62	21,96	24,23	20,69	23,38	17,25	21,45	25,84	23,76
Cr	2,65	0,00	0,00	0,54	0,33	0,16	1,42	2,25	0,27	1,62	1,70	1,09	1,49	3,28	3,40
Total	98,63	99,01	97,51	98,46	99,43	56,83	100,43	100,59	99,99	99,29	99,44	93,53	96,43	101,48	96,89
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,33	0,00	0,02	0,03	0,03	0,01	0,10	0,04	0,00	0,00
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,01	0,00	0,53	0,45	2,80	0,00	2,24	0,00	0,02	0,00
Sb	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,46	0,68	0,00	0,50
Ir	0,46	0,80	0,47	0,12	0,79	0,00	0,22	0,18	0,30	0,40	0,48	0,24	0,31	0,44	0,00
Ru	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rh	0,08	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,16	0,09	0,09	0,05	0,00
Pt	0,35	0,02	0,37	0,84	0,17	0,56	0,61	0,18	0,52	0,40	0,81	0,31	1,39	0,95	0,00
Pd	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,16	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,47	0,37	0,07	1,04	0,49	0,23	2,80	0,98	0,07	5,00	0,60	12,63	3,65	0,00	0,00
Ni	76,52	73,58	74,73	71,59	74,33	67,55	75,51	75,93	74,29	69,78	74,07	65,20	71,55	72,77	74,62
Co	0,23	0,18	0,27	0,49	0,02	1,46	0,04	0,20	0,07	0,51	0,03	0,30	0,00	0,07	0,13
Fe	21,87	24,97	24,05	25,86	24,03	29,10	20,54	21,88	24,25	20,86	23,58	18,42	22,29	25,70	24,73
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,024	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,007	0,003	0,000	0,000
As	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,016	0,014	0,088	0,000	0,071	0,000	0,001	0,000
Sb	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006	0,008	0,000	0,006
Ir	0,006	0,010	0,006	0,001	0,010	0,000	0,003	0,002	0,004	0,005	0,006	0,003	0,004	0,005	0,000
Ru	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rh	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002	0,001	0,000
Pt	0,004	0,000	0,004	0,010	0,002	0,007	0,007	0,002	0,006	0,005	0,010	0,004	0,017	0,011	0,000
Pd	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	0,017	0,013	0,003	0,038	0,018	0,008	0,103	0,036	0,003	0,186	0,022	0,472	0,136	0,000	0,000
Ni	3,046	2,924	2,970	2,848	2,958	2,679	3,016	3,018	2,955	2,807	2,961	2,639	2,885	2,902	2,958
Co	0,009	0,007	0,011	0,019	0,001	0,057	0,002	0,008	0,003	0,020	0,001	0,012	0,000	0,003	0,005
Fe	0,915	1,043	1,005	1,082	1,006	1,213	0,863	0,914	1,014	0,882	0,991	0,784	0,945	1,077	1,031
Total	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tableau 4.2. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Chojaie	Nematte	Nematte	Nematte	Ismaeil	Ismaeil	Ismaeil	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Paeine	Reza Paeine	Reza Paeine	Reza Paeine	Reza Paeine
Echantillon	20A	53A	53A	53A	46A	46A	46A	14A	71A	71A	16A	16A	16A	16A	16A
Site	6	2_1	2_2	3	1	1	1	3	14	15	1	2_1	2_2	3	5
Position	Inc-C	Int-C	Int-C	Inc-C	Int-C	Int-B	Int-B	Int-C	Int-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Int-C	Int-C
S	0,00	0,02	0,00	0,00	0,38	0,07	0,05	0,02	0,05	0,00	0,04	0,30	0,00	0,05	0,05
As	0,04	0,51	0,26	0,00	0,22	0,19	0,14	0,39	0,09	0,00	0,00	0,34	0,11	0,00	0,02
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,57	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00
Ir	0,22	0,10	0,06	0,17	0,51	0,00	0,00	0,27	0,57	0,11	0,25	0,12	0,33	0,00	0,00
Ru	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,10	0,04	0,00	0,00
Rh	0,09	0,11	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,05	0,21	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00
Pt	0,33	0,60	0,43	0,00	0,26	0,18	0,50	0,39	0,37	0,70	0,35	0,44	0,46	0,35	0,36
Pd	0,00	0,05	0,00	0,18	0,00	0,00	0,17	0,00	0,04	0,00	0,00	0,25	0,34	0,00	0,10
Cu	0,00	0,36	0,29	0,16	0,84	1,24	0,69	0,98	0,49	0,22	0,40	0,22	0,42	0,25	0,40
Ni	68,57	74,62	73,60	73,87	70,21	62,28	70,58	72,16	75,51	74,25	70,83	72,26	72,63	71,69	72,27
Co	0,05	0,03	0,00	0,15	1,40	1,22	1,32	0,00	0,03	0,00	0,31	0,14	0,14	0,42	0,07
Fe	22,39	24,10	24,06	25,64	21,54	20,93	22,61	23,00	23,51	23,31	21,81	23,00	24,94	23,70	22,56
Cr	3,41	0,02	0,16	0,03	2,64	4,77	2,75	0,00	0,00	0,05	0,77	1,31	0,61	1,00	0,92
Total	95,70	100,52	98,98	100,20	98,08	90,90	98,81	97,21	100,76	100,16	94,89	98,76	100,02	97,47	96,76
S	0,00	0,01	0,00	0,00	0,40	0,08	0,05	0,02	0,05	0,00	0,04	0,31	0,00	0,05	0,05
As	0,04	0,51	0,27	0,00	0,23	0,22	0,14	0,40	0,09	0,00	0,00	0,35	0,11	0,00	0,02
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Os	0,62	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
Ir	0,24	0,10	0,06	0,17	0,54	0,00	0,00	0,27	0,57	0,10	0,26	0,13	0,33	0,00	0,00
Ru	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,11	0,04	0,00	0,00
Rh	0,10	0,11	0,00	0,00	0,08	0,02	0,00	0,00	0,05	0,21	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00
Pt	0,36	0,59	0,44	0,00	0,27	0,21	0,53	0,40	0,37	0,70	0,37	0,46	0,46	0,36	0,38
Pd	0,00	0,05	0,00	0,18	0,00	0,00	0,18	0,00	0,04	0,00	0,00	0,26	0,34	0,00	0,10
Cu	0,00	0,36	0,29	0,16	0,88	1,46	0,72	1,01	0,48	0,22	0,43	0,23	0,43	0,26	0,42
Ni	75,00	74,26	74,51	73,74	74,08	73,32	74,01	74,23	74,94	74,18	75,42	74,41	73,18	74,50	75,59
Co	0,05	0,03	0,00	0,14	1,47	1,44	1,39	0,00	0,03	0,00	0,33	0,14	0,14	0,43	0,07
Fe	23,56	23,98	24,32	25,59	22,03	23,24	22,99	23,66	23,33	23,28	23,01	23,34	24,97	24,37	23,36
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	0,000	0,001	0,000	0,000	0,029	0,006	0,003	0,002	0,004	0,000	0,003	0,022	0,000	0,004	0,004
As	0,001	0,016	0,008	0,000	0,007	0,007	0,004	0,012	0,003	0,000	0,000	0,011	0,003	0,000	0,001
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Os	0,008	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
Ir	0,003	0,001	0,001	0,002	0,007	0,000	0,000	0,003	0,007	0,001	0,003	0,002	0,004	0,000	0,000
Ru	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000
Rh	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000
Pt	0,004	0,007	0,005	0,000	0,003	0,003	0,006	0,005	0,004	0,008	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005
Pd	0,000	0,001	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,006	0,008	0,000	0,002
Cu	0,000	0,013	0,011	0,006	0,032	0,053	0,026	0,037	0,018	0,008	0,016	0,008	0,016	0,009	0,015
Ni	2,991	2,954	2,958	2,918	2,942	2,906	2,940	2,952	2,984	2,978	2,996	2,958	2,912	2,950	2,997
Co	0,002	0,001	0,000	0,006	0,058	0,057	0,055	0,000	0,001	0,000	0,013	0,006	0,005	0,017	0,003
Fe	0,988	1,003	1,015	1,064	0,920	0,968	0,960	0,989	0,977	0,982	0,961	0,976	1,045	1,015	0,974
Total	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tableau 4.2 (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Assemion
Gisement	Reza Paeine	Reza Paeine	Reza Paeine	Reza Paeine	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-cu	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Rajoni	Barandaz	Hassan Anjirak	Hassan Anjirak	Chahme
Echantillon	16A	16A	16A	16A	18N	18N	4N	5N	20N	20N	20N	44N	37N	37N	32A
Site	5	6	14	15	1	1	6	2	3	6	11	3	5	5	1
Position	Int-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Int-C	Int-C	Inc-C	Int-C	Inc-C	Int-C	Inc-C	Inc-C	Inc-C	Inc-B	Int-C
S	0,04	0,10	0,10	0,05	0,18	0,26	0,13	0,08	0,05	0,04	0,04	0,93	0,00	0,54	0,03
As	0,07	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,47
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
Os	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70
Ir	0,51	0,25	0,32	0,43	0,41	0,29	0,00	0,12	0,26	0,16	0,00	0,11	0,00	0,38	0,71
Ru	0,00	0,00	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01
Rh	0,07	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,09	0,18	0,10	0,04	0,00
Pt	0,11	0,58	0,40	0,51	0,00	0,82	0,28	0,48	0,41	0,08	0,41	0,36	0,19	0,96	0,45
Pd	0,06	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,05	0,44	0,21	0,14	0,00
Cu	0,44	0,89	0,25	0,48	0,54	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,04	3,66
Ni	73,29	71,12	73,17	70,05	65,59	65,89	68,89	69,17	69,67	68,86	64,61	58,52	73,23	72,23	73,29
Co	0,19	0,20	0,24	0,12	0,21	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	0,03	0,27	0,19	0,09	0,05
Fe	22,45	23,85	23,72	23,40	19,06	18,74	22,59	23,34	23,58	22,72	21,64	20,55	21,57	23,66	19,35
Cr	0,30	0,92	0,14	0,15	1,37	0,66	4,70	1,70	0,64	0,00	5,63	6,55	1,97	1,03	0,30
Total	97,51	97,92	98,74	95,25	87,66	87,23	96,86	94,93	95,18	92,61	92,50	87,91	97,67	99,19	99,15
S	0,04	0,10	0,10	0,06	0,20	0,31	0,14	0,09	0,05	0,05	0,04	1,17	0,00	0,55	0,03
As	0,07	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,47
Sb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
Os	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71
Ir	0,52	0,26	0,33	0,46	0,48	0,33	0,00	0,13	0,28	0,17	0,00	0,13	0,00	0,39	0,72
Ru	0,00	0,00	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01
Rh	0,08	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,10	0,22	0,10	0,04	0,00
Pt	0,11	0,60	0,40	0,54	0,00	0,95	0,31	0,52	0,43	0,09	0,48	0,45	0,20	0,98	0,46
Pd	0,06	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,05	0,55	0,22	0,14	0,00
Cu	0,45	0,92	0,25	0,51	0,63	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,04	3,71
Ni	75,45	73,49	74,23	73,68	76,32	76,25	75,71	74,52	73,81	74,36	75,61	73,41	76,91	73,78	74,21
Co	0,19	0,21	0,24	0,12	0,25	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	0,03	0,34	0,20	0,09	0,05
Fe	23,04	24,41	24,03	24,58	21,78	21,50	23,54	24,69	24,82	24,53	23,68	23,72	22,14	23,90	19,51
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	0,003	0,008	0,007	0,004	0,015	0,022	0,010	0,007	0,004	0,003	0,003	0,084	0,000	0,040	0,003
As	0,002	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,019
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003
Os	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011
Ir	0,006	0,003	0,004	0,006	0,006	0,004	0,000	0,002	0,003	0,002	0,000	0,002	0,000	0,005	0,011
Ru	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Rh	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,002	0,005	0,002	0,001	0,000
Pt	0,001	0,007	0,005	0,006	0,000	0,011	0,004	0,006	0,005	0,001	0,006	0,005	0,002	0,012	0,007
Pd	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,012	0,005	0,003	0,000
Cu	0,017	0,034	0,009	0,019	0,023	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,002	0,173
Ni	2,998	2,920	2,949	2,931	3,030	3,038	2,997	2,955	2,933	2,955	2,999	2,895	3,051	2,933	3,738
Co	0,008	0,008	0,010	0,005	0,010	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,001	0,013	0,008	0,004	0,003
Fe	0,962	1,020	1,004	1,028	0,909	0,900	0,979	1,029	1,037	1,025	0,987	0,983	0,923	0,999	1,033
Total	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5

Tableau 4.2. (suite)

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Neyriz	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Reza Balla	Cheshmeh Bid-cu	Cheshmeh Bid-T7	Rajoni	Khajeh Jamali	Neypik	Doveisse	Bahrsangue	Amir	Yassamine	Yassamine	Chahine
Echantillon	71A	71A	71A	71A	18N	14N	20N	42N	21N	39A	60A	9A	25A	25A	36A
Site	3	3	6	9	1	7	12	1	1	1	4	1	5	5	9
Position	Inc-C	Inc-B	Inc-C	Inc-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Inc-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-B	Int-C
S	0.00	0,07	0.00	1,34	0,20	0,47	0,20	0,12	8.64	1,16	0.52	0.00	0 00	0 02	0 03
As	0.00	0.00	0.21	0,00	0,00	0,00	0,00	0.73	0.00	0.17	0,23	0.26	0 36	0 21	0 00
Sb	0,00	0.04	0.00	0.05	0,00	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0 00	0 00	0.13
Os	0.00	0.00	0.00	0.69	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.08	0.00	0 00	0 00	0.00
Ir	0,00	0,38	0,00	0,00	0,36	0,17	0,13	0,30	0,44	0,33	0,03	0.00	0 15	0 00	0 81
Ru	0.02	0,00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0 00	0 00	0.00
Rh	0.00	0,05	0.11	0,19	0,00	0,07	0.07	0.00	0.21	0.03	0.00	0.05	0 00	0 00	0.00
Pt	0.07	0,45	0.97	0,37	0,35	0,09	0.27	0.37	0.48	0.00	0.35	0.19	0 43	0 20	0.00
Pd	0,00	0,11	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0.00	0,06	0,00	0 33	0.07	0.00
Cu	0,52	0,57	0.59	0,82	0,41	0,24	0,00	1,12	0,06	0.16	0,07	0.08	0.11	0.06	4.06
Ni	73,71	66,93	67,24	71,16	49,50	56,58	65,80	76,64	66,53	14,77	15,89	11,14	2.09	2.08	68,28
Co	0,00	0,03	0,00	0,05	0,12	0,05	0,01	0,18	0,42	0,25	0,22	0,17	0.06	0.10	0,00
Fe	20,63	19,46	18,92	21,01	13,34	12,47	14,78	15,44	16,23	47,22	46,63	66,62	95.95	94,35	5.40
Cr	3,94	7,34	0,08	1,99	0,76	0,67	0,00	0,00	1,59	0,26	0,30	16,73	0.77	1.44	1.45
Total	98,90	95,43	88,13	97,67	65,05	70,82	81,26	94,90	94,67	64,92	64,38	95,24	100,25	98,54	80,18
S	0,00	0,08	0,00	1,41	0,31	0,67	0,24	0,13	9,32	1,79	0,81	0,00	0,00	0,02	0,04
As	0,00	0,00	0,24	0,00	0,01	0,01	0,00	0,77	0,00	0,26	0,35	0,35	0,36	0,22	0,01
Sb	0,00	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Os	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Ir	0,00	0,44	0,00	0,00	0,56	0,24	0,16	0,31	0,47	0,51	0,05	0,00	0,15	0,00	1,04
Ru	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Rh	0,00	0,05	0,12	0,20	0,00	0,11	0,09	0,00	0,23	0,05	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
Pt	0,08	0,53	1,10	0,39	0,55	0,12	0,33	0,39	0,51	0,00	0,55	0,25	0,43	0,21	0,00
Pd	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,09	0,00	0,34	0,07	0,00
Cu	0,55	0,67	0,67	0,86	0,64	0,34	0,00	1,18	0,07	0,25	0,11	0,10	0,11	0,06	5,17
Ni	78,43	77,60	76,39	74,77	77,23	80,85	80,97	80,76	71,78	22,87	24,82	14,99	2,10	2,15	87,14
Co	0,00	0,03	0,00	0,05	0,19	0,06	0,02	0,19	0,45	0,38	0,35	0,22	0,06	0,10	0,00
Fe	20,90	20,43	21,47	21,55	20,51	17,59	18,19	16,27	17,08	73,00	72,73	84,00	96,44	97,16	6,43
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S	0,000	0,007	0,000	0,127	0,028	0,061	0,022	0,012	0,791	0,157	0,071	0,000	0,000	0,000	0,001
As	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,010	0,013	0,013	0,003	0,002	0,000
Sb	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Os	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Ir	0,000	0,007	0,000	0,000	0,008	0,004	0,002	0,005	0,007	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003
Ru	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rh	0,000	0,002	0,003	0,006	0,000	0,003	0,002	0,000	0,006	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Pt	0,001	0,008	0,017	0,006	0,008	0,002	0,005	0,006	0,007	0,000	0,008	0,004	0,001	0,001	0,000
Pd	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000
Cu	0,025	0,031	0,031	0,039	0,030	0,016	0,000	0,054	0,003	0,011	0,005	0,005	0,001	0,001	0,048
Ni	3,884	3,869	3,813	3,689	3,843	3,998	4,018	4,030	3,330	1,098	1,196	0,721	0,020	0,021	0,879
Co	0,000	0,002	0,000	0,002	0,009	0,003	0,001	0,009	0,021	0,018	0,017	0,011	0,001	0,001	0,000
Fe	1,088	1,071	1,127	1,118	1,073	0,914	0,949	0,853	0,833	3,684	3,685	4,245	0,972	0,975	0,068
Total	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1

Tableau 4.2. (suite)

Massif	Assemion	Assemion
Gisement	Chahine	Chahine
Echantillon	36A	33A
Site	9	4
Position	Int-C	Inc-C
S	0,00	0,00
As	0,06	0,48
Sb	0,00	0,14
Os	0,00	0,00
Ir	0,14	0,50
Ru	0,04	0,00
Rh	0,11	0,00
Pt	0,30	0,16
Pd	0,00	0,16
Cu	6,79	3,56
Ni	83,36	75,21
Co	0,06	0,00
Fe	6,97	10,34
Cr	1,78	7,61
Total	99,59	98,16
S	0,00	0,00
As	0,06	0,54
Sb	0,00	0,16
Os	0,00	0,00
Ir	0,14	0,56
Ru	0,04	0,00
Rh	0,11	0,00
Pt	0,30	0,18
Pd	0,00	0,18
Cu	6,97	4,01
Ni	85,62	84,84
Co	0,06	0,00
Fe	6,70	9,51
Total	100	100
S	0,000	0,000
As	0,000	0,004
Sb	0,000	0,001
Os	0,000	0,000
Ir	0,000	0,002
Ru	0,000	0,000
Rh	0,001	0,000
Pt	0,001	0,001
Pd	0,000	0,001
Cu	0,065	0,037
Ni	0,861	0,854
Co	0,001	0,000
Fe	0,071	0,101
Total	1	1

Tableau 4.3. Arséniures et sulfoarséniures de métaux de base, intrestitiels par rapport à la chromite des chromitites, maucherites et arsénopyrites

Massif	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion	Assemion
Gisement	Reza Balla	Reza Balla	Bahram	Bahram	Yassamine	Yassamine
Echantillon	71A	71A	74A	74A	25A	25A
Site	9	12	2	2	2	2
Position	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-C	Int-B
S	0,02	0,20	21,60	20,47	22,86	22,69
As	45,78	45,95	42,11	44,49	39,65	40,25
Sb	0,76	0,41	0,51	0,00	0,85	0,91
Os	0,27	1,17	0,42	0,27	0,00	0,00
Ir	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Ru	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,07
Rh	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Pt	0,11	0,41	0,57	0,42	0,13	0,37
Pd	0,01	0,00	0,18	0,00	0,10	0,17
Cu	0,00	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00
Ni	49,97	48,61	0,00	0,03	0,01	0,00
Co	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe	1,07	0,69	32,47	33,39	33,60	34,60
Cr	1,72	2,37	0,79	0,00	0,10	0,00
Total	99,70	100,09	98,70	99,08	97,32	99,07
S	0,02	0,21	22,10	20,66	23,51	22,90
As	46,92	47,31	43,10	44,90	40,80	40,63
Sb	0,78	0,42	0,52	0,00	0,87	0,92
Os	0,27	1,21	0,43	0,28	0,00	0,00
Ir	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Ru	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,07
Rh	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Pt	0,12	0,42	0,59	0,42	0,14	0,38
Pd	0,01	0,00	0,18	0,00	0,10	0,18
Cu	0,00	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00
Ni	51,22	50,05	0,00	0,03	0,01	0,00
Co	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe	0,65	0,10	33,02	33,70	34,54	34,92
Total	100	100	100	100	100	100
S	0,008	0,082	1,107	1,044	1,155	1,132
As	7,831	7,960	0,924	0,971	0,857	0,859
Sb	0,080	0,044	0,007	0,000	0,011	0,012
Os	0,018	0,080	0,004	0,002	0,000	0,000
Ir	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
Ru	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,001
Rh	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Pt	0,007	0,027	0,005	0,003	0,001	0,003
Pd	0,001	0,000	0,003	0,000	0,001	0,003
Cu	0,000	0,012	0,000	0,000	0,001	0,000
Ni	10,908	10,746	0,000	0,001	0,000	0,000
Co	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,147	0,022	0,950	0,978	0,974	0,991
Total	19	19	3	3	3	3

INSTITUT NATIONA
POLYTECHNIQU
DE LORRAIN

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :
Monsieur AUGE Thierry, Doctorat Etat, BRGM Orléans,
Monsieur NOGHREYAN Mossah, Professeur, Université Esfahan (Iran).

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Monsieur RAJABZADEH Mohammad Ali

NANCY BRABOI
2, AVENUE DE L
FORET-DE-HAY
BOITE POSTALE
F - 5 4 5 0
VANDŒUVRE CEDE

à soutenir devant l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, une thèse intitulée :
"Minéralisation en chrome et éléments du groupe du Platine dans les ophiolites d'Assemion et de Neyriz, ceinture du Zagros (Iran)".

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : **"GÉOSCIENCES"**

Fait à Vandoeuvre le, **14 Avril 1998**
Le Président de l'I.N.P.L.,

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE NANCY

J. HARDY

de la Documentation

TEL. 33/83.59.59.5
FAX. 33/83.59.59.5

L'étude des minéralisations en chrome et en éléments du groupe du platine (EGP) associées aux chromitites des massifs ophiolitiques d'Assemion et de Neyriz, ceinture du Zagros au Sud de l'Iran, a été réalisée au cours de ce travail de thèse. Le manteau des massifs ophiolitiques comporte des harzburgites homogènes surmontées d'une zone de transition avec des dunites, des pyroxénites et la plupart des gisements de chromite métallurgique. La teneur en chrome des gisements augmente des harzburgites homogènes à la zone de transition. Le potentiel métallogénique des massifs semble plus grand lorsque prédomine le jeu de la molécule de magnésiochromite en association avec celle de magnésioferrite. La minéralisation en éléments du groupe du platine associée aux chromitites est enrichie en Ru, Os et Ir. Les minéraux du groupe du platine (MGP) sont toujours inclus dans la chromite, ce qui souligne le rôle de la chromite pour piéger les MGP. Les MGP sont soit des sulfures (laurite et erlichmanite), des alliages (Os-Ir-Ru, Pd-Rh), des sulfoarséniures (irarsite et hollingworthite) ou des minéraux formant des solutions solides. Une fugacité plus forte en soufre du système minéralisant d'Assemion, comparé à celui de Neyriz a été mis en évidence à partir de la nature et de la proportion des MGP et des sulfures de métaux de base. Ce système minéralisant serait aussi hydraté comme l'indique la nature des silicates inclus dans les chromites qui accompagnent les MGP. La répartition, l'évolution cryptique de la composition des MGP ainsi que l'évolution de leurs assemblages minéralogiques ont permis de caractériser l'évolution du système minéralisant responsable de la concentration des EGP par rapport à l'emplacement successif des chromitites. Une origine commune est proposée pour les minéralisations de Cr et EGP.

Chrome and platinum-group element mineralization within the Assemion and Neyriz ophiolites, Zagros belt, Iran.

The chrome and the platinum-group element (PGE) mineralizations in chromitites from the Assemion and Neyriz ophiolites of the Zagros belt of southern Iran were studied during the course of this thesis. The belt of ophiolitic massifs is composed of homogeneous harzburgites overlain by a transition zone containing dunites, pyroxenites and the majority of the metallurgic chromite deposits. The concentration of Cr in the deposits increases from the homogeneous harzburgites to the transition zone. The metallogenic potential of the massifs seems to be highest where the chromite composition is dominated by magnesiochromite in association with magnesioferrite. The platinum group minerals (PGM) associated with the chromitites are enriched in Ru, Os and Ir. The PGM are always included in the chromite, which underlines the role of chromite for trapping these minerals. The PGM are composed of sulfides (laurite and erlichmanite), alloys (Os-Ir-Ru Pd-Rh), sulfarsenides (irarsite and hollingworthite) or solid solution phases. A higher sulfur fugacity for the mineralizing system of Assemion, relative to that of Neyriz, was demonstrated on the basis of the nature and the relative proportions of the PGM and the base metal sulfides. This mineralizing system was also hydrous, as indicated by the nature of the silicates included in the chromites that accompagny the PGM. The distribution and cryptic evolution of the PGM compositions, as well as the evolution of the PGM mineral assemblages, permitted the characterization of the evolution of the mineralizing system responsible for the concentration of PGE with respect to the emplacement sequence of the chromitites. A common origin is proposed for the Cr and PGE mineralizations.

Disipline: Géosciences et matières premières

Mots-Clés: Chromite, Minéraux du groupe du platine, Ophiolite, Iran

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG)-CNRS

15, Rue Notre dame des Pauvres, B.P. 20

54501 Vandoeuvre les Nancy Cedex, France