

**Analyse texturale des reefs du
Complexe de Bushveld par la méthode
de distribution de la taille des cristaux**

Par

Julie Larouche

**Mémoire présenté dans le cadre du cours de
Projet de fin d'études**

(6 SCT 604)

Résumé

Les reefs du Complexe de Bushveld représentent environ 70% de la réserve mondiale en EGP. Une étude texturale s'avère plutôt utile quant à la compréhension de leur origine et de leur formation. Trois hypothèses de formation ont été considérées pour ce projet : 1) Une simple accumulation qui génère un cumulat; 2) Recristallisation ou mûrissement textural d'un cumulat des cristaux qui conduit à une densification; 3) Formation suite au passage de fluides et vapeurs qui ont contribué à fusionner les pyroxénites antérieurement présentes. C'est ainsi que la méthode de distribution de la taille des cristaux intervient. Cette méthode nécessite la numérisation de tous les cristaux d'une mosaïque d'un échantillon. Les échantillons utilisés proviennent essentiellement du Merensky reef et du UG-2. Au total, cinq échantillons ont été numérisés. Les mesures ont été reportées sur des graphiques de la densité des populations en fonction de la longueur moyenne des cristaux. Les courbes obtenues parlent d'elles-mêmes. Les échantillons du UG-2 démontrent un patron de mûrissement textural tout comme l'échantillon du reef pegmatoïde provenant du Merensky reef. En effet, le petit crochet de la courbe indique le manque de petits cristaux par rapport aux plus gros cristaux, phénomène qui se produit lors du mûrissement textural. Toutefois, le reef normal présente une courbe témoignant d'une simple accumulation sans mûrissement textural significatif puisque la courbe obtenue est droite et diverge avec l'augmentation de la taille des cristaux. Enfin, l'hypothèse de la formation des reefs par le passage des fluides ne peut être affirmée ou rejetée par la méthode de distribution de la taille des cristaux puisque ce processus a probablement conduit à la formation de cumulat.

Abstract

The Bushveld Complex reefs represents about 70% of the total reserve in PGE in the world. A textural study, more precisely the CSD method, was use to understand its origin. Three hypotheses of formation are considered: 1) A simple accumulation that formed a cumulat 2) Recrystallisation leading a densification of chromites 3) Formation after the passage of fluids and vapors that transformed the initial pyroxenite to a chromitite. The crystal size distribution can help to investigate wich hypothesis is more likely. In this method, the chromites are digitazed. In total, five samples were digitized. The measurements were reported on graphs of population density vs average length of crystals. The UG-2 present a model of recrystallisation like the pegmatoïde reef. These samples have a hook at short lengths that indicate a lack of little crystal compared to big crystals. However, the normal reef presents some different results. Effectively, its curve has no hook but a concave form. This suggest a simple accumulation of chromites. Finally, the hypothesis of formation of chromitite after fusion of pyroxenite by fluids cannot be tested because the process of accumulation and recrystallisation of chromite formed from the initial silicate magma or a fluid-rich silicate magma formed by partial melting is similar.

Table des matières

Introduction.....	p.1
Complexe de Bushveld.....	p.3
UG-2 et Merensky reef.....	p.5
Descriptions pétrographiques.....	p.8
Merensky reef.....	p.8
UG-2.....	p.11
La méthode DTC “Distribution de la taille des cristaux”.....	p.13
Théorie.....	p.13
Méthodologie.....	p.16
Méthodologie.....	p.19
Résultats.....	p.20
UG-2.....	p.21
Merensky reef.....	p.24
Discussion.....	p.27
Conclusion.....	p.33
Bibliographie.....	p.34
Adresses Internet.....	p.36

Liste des figures

La géologie du Complexe de Bushveld.....	p.4
Les cinq zones du Complexe de Bushveld.....	p.5
La stratigraphie de la zone critique.....	p.6
Chromites dans le reef pegmatoïde.....	p.9
Chromites dans le reef normal.....	p.10
Chromites de UG-21.....	p.11
Chromites de UG-22.....	p.12
Chromites de UG-23.....	p.13
Modélisation de la densité de population dans un mélange de deux magmas.....	p.15
Variation de la courbe de DTC en fonction de l'accumulation ou du fractionnement...p.16	
Le transfert d'une distribution de cristaux de 3D à 2D.....	p.17
Différence des courbes de DTC entre la méthode de transfert ancienne et nouvelle....	p.18
Résultats du DTC pour le UG-2.....	p.21
Textures de recristallisation	
Points triples.....	p.23
Bordures lobées.....	p.23
Résultats du DTC pour le Merensky reef.....	p.25
Séparation de l'échantillon du reef normal.....	p.26
Texture résultant de la diminution de l'énergie de surface.....	p.29
Processus de mûrissement textural.....	p.30

Liste des tableaux

Répartition du nombre de cristaux selon les intervalles de longueurs moyennes pour
chaque échantillon..... p.20

Introduction

Les éléments du groupe platine (EGP) suscitent un intérêt économique de plus en plus important dans le monde. Leur exploitation se fait un peu partout, toutefois, c'est en Afrique du Sud que la réserve est la plus volumineuse. Cette réserve se retrouve dans le Complexe de Bushveld, le complexe igné mafique le plus grand connu à ce jour. Il est constitué de plusieurs zones dont l'une d'entre-elles est appelée « critique ». Cette zone abrite des horizons de chromitites qui sont particulièrement pertinents quant à leur concentration en EGP étant donné l'« affinité » qu'on ceux-ci avec les chromites. Deux de ces horizons présentement exploités sont très riches en EGP : le UG-2 et le Merensky Reef. L'origine des *reefs*, terme minier employé pour un horizon dont les teneurs en EGP sont suffisantes pour qu'il y ait exploitation, est très débattue (Cawthorn, 1999). Cette étude utilisera donc la texture pour éclairer leur origine.

Les textures de ces lits de chromitites soulèvent certaines interrogations. À première vue, certains pourraient croire qu'il s'agit de cumulats de chromites, formés par accumulation, qui auraient gelé par la suite. Un matériel interstitiel, constitué de plagioclases ou de pyroxènes principalement, cimente les cristaux de chromite et varie en proportion. Jusqu'à maintenant, l'idée de l'accumulation est plutôt réaliste puisque les chromites ont une densité élevée et qu'elles sont les premières à se déposer dans une intrusion magmatique. Toutefois, cette texture originelle de cumulat n'a peut-être pas été préservée et la texture actuelle pourrait possiblement avoir été formée suite à un phénomène de recristallisation. Cette recristallisation pourrait aussi être la clé de la densification des cumulats de chromites. Hulbert et Von Gruenewaldt (1985), de par leurs études sur les textures et les compositions des chromites dans la zone critique du Bushveld, observent des ajustements en bordure des grains ainsi que des inclusions sphériques d'olivine, de plagioclases ou encore de biotite, des indices permettant de croire qu'il y a eu recristallisation. De plus, ce phénomène a peut-être joué un rôle important dans la distribution des EGP dans les reefs (Barnes et Maier, 2002). Une autre hypothèse est que les chromitites se soient développées suite à un métasomatisme causé par le passage de vapeurs et des fluides au sein d'une pyroxénite (Willmore et al. 2000).

Ainsi, la pyroxénite, présente au départ, se serait modifiée en chromitite suite à une fusion (Mathez et al. 1997).

La méthode de distribution de la taille des cristaux a été utilisée pour tester l'hypothèse de la recristallisation. En effet, des mosaïques ont été élaborées pour 6 échantillons provenant de mines qui exploitent le UG-2 (Mine Western Rustenburg et Mine Impala) et le Merensky Reef (Mine Impala). Enfin, les données ont été transférées sur des graphiques du logarithme naturel de la densité de la population de cristaux vs la longueur moyenne de ces cristaux, facilitant ainsi l'interprétation des résultats.

Complexe de Bushveld

Le complexe de Bushveld est un immense lopolithe de plus de 65 000 km², sis en Afrique du sud et âgé d'environ 2.06 Ga (Eales et Cawthorn, 1996). Il s'agit en fait d'une intrusion ignée litée mise en place suite à plusieurs pulsions magmatiques. Les détails chronologiques ainsi que le nombre de ces pulsions sont plutôt difficiles à estimer. La mise en place s'est faite dans un craton, celui de Kaapvaal, il y a précisément 2057.3 +/- 3,8 Ma (Harmer et Armstrong, 2000). Elle est associée au fonctionnement de rift intracontinentaux en relation avec les points chauds ou panaches mantelliques (Hatton et Schweitzer, 1995). Les teneurs élevées en EGP ont grandement contribuées à populariser ce complexe.

Il affleure principalement dans 5 régions dont les noms correspondent à leur situation géographique : le « Eastern limb », le « Western limb », le « Far Western limb », le « Northern » ou « Potgietersrus limb » et finalement, le « Southeastern » ou Bethal limb » (Barnes et Maier, in press)(Fig. 1). De plus, on divise le complexe en 5 zones officielles qui n'affleurent pas nécessairement toutes dans chacune de ces régions. Ces zones sont, en partant de la plus profonde : Marginal Zone, Lower Zone, Critical Zone, Main Zone et Upper Zone (Fig.2). Ces zones s'étendent sur environ 10 km d'épaisseur. Chacune d'elle est formée de séquences de différentes compositions sauf la zone marginale qui n'est composée que de norite. La Lower Zone est divisée en sous-zone dont 3 sont principalement représentées par la bronzitite et une par la harzburgite. On y retrouve toutefois quelques minces couches de norite et de dunitite. La Critical Zone est composée surtout de pyroxénite, de norite, d'anorthosite et de chromitite qui représente un intérêt économique considérable. Cette zone contient la totalité des couches de chromitites et occupe une épaisseur de 1400 m. Cette proportion constitue moins de la moitié de la Main Zone (3700 m d'épaisseur). Celle-ci se résume à des séquences noritiques anorthositiques et gabbronoritiques. Enfin, la dernière zone, la Upper Zone, se distingue par ses nombreuses couches de magnétitite qui alternent avec des gabbros ou des diorites à olivines (Fig. 2).

Comme le complexe de Bushveld est une intrusion litée, les textures qui dominent sont surtout des cumulats. On y retrouve ainsi principalement des cumulats d'orthopyroxènes, d'olivine, de plagioclases, de chromites et de magnétites. La chromitite est particulièrement étudié pour son contenu et son affinité avec les EGP.

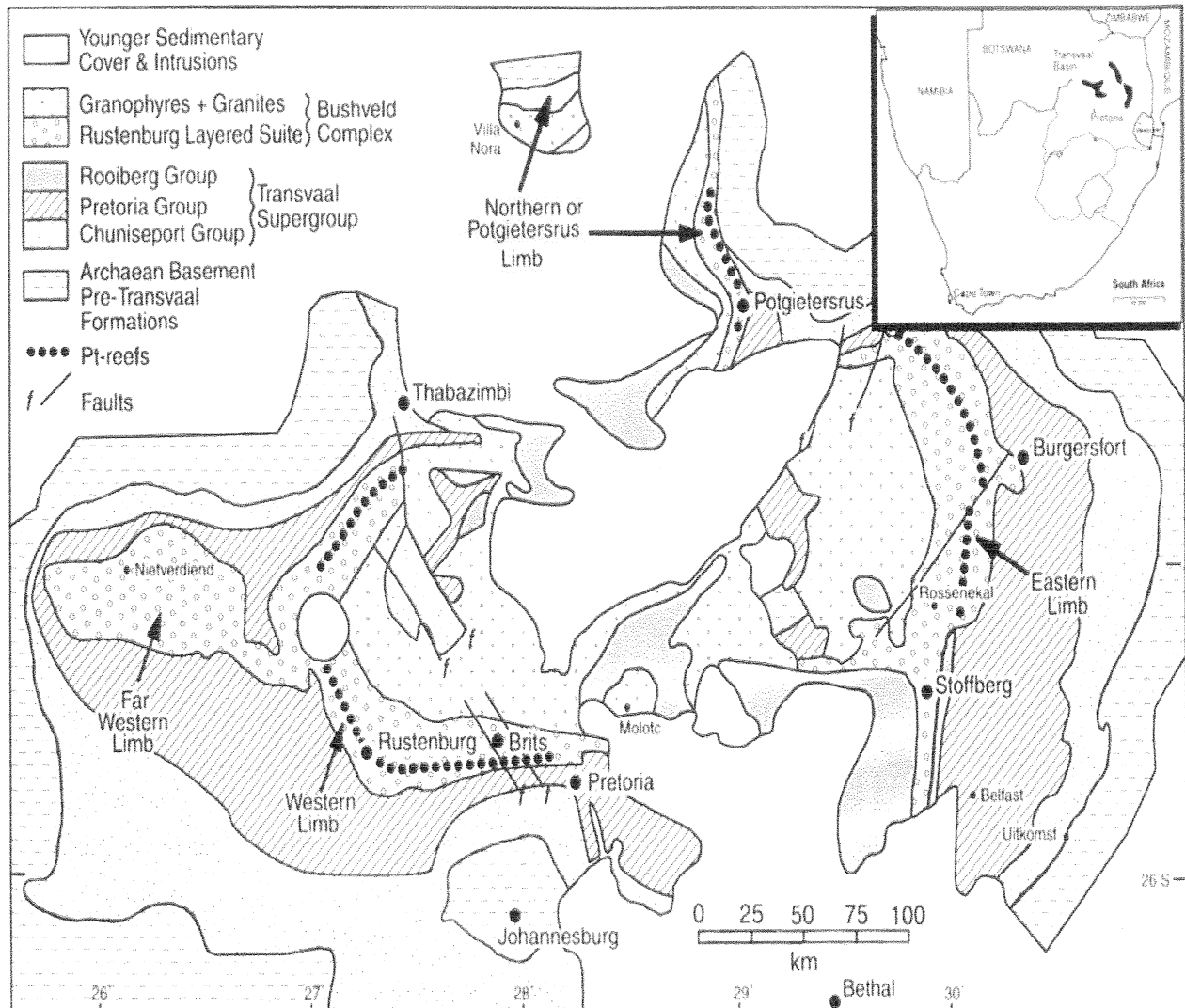


Fig. 1 Les 5 membres du Complexe de Bushveld tiré de Barnes et Maier, in press

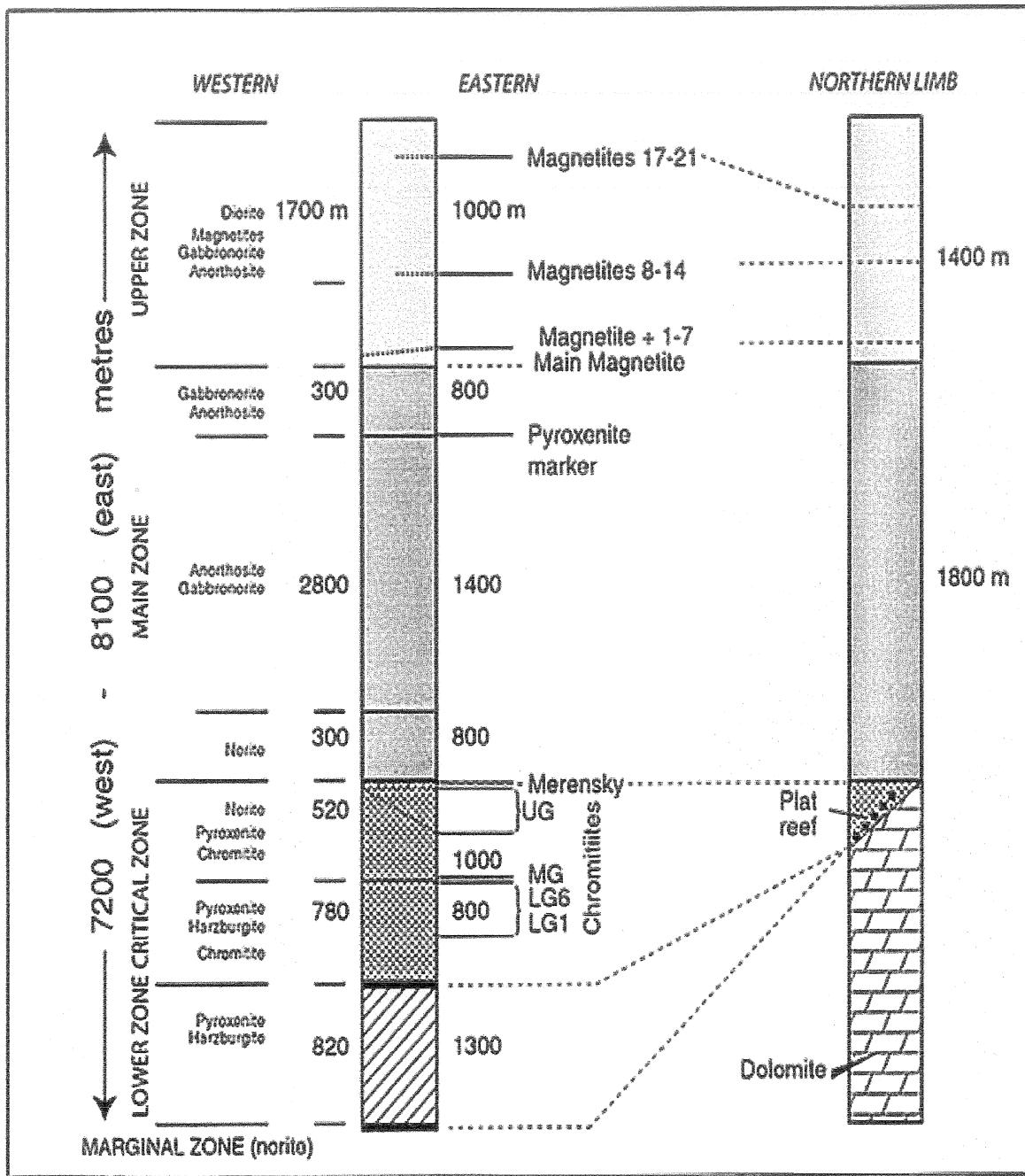


Fig. 2 Les 5 zones du Complexe de Bushveld tiré de Barnes et Maier, in press

UG-2 et Merensky Reef

Les couches de chromitites dans la zone critique sont divisées selon leur position. En effet, il y a les chromitites du groupe inférieur (Lower Group), celles du groupe

central (Middle Group), celles du groupe supérieur (Upper Group) et celles du Merensky reef qui marquent aussi la transition Critical Zone – Main Zone (Eales et Cawthorn, 1996) (Fig. 3).

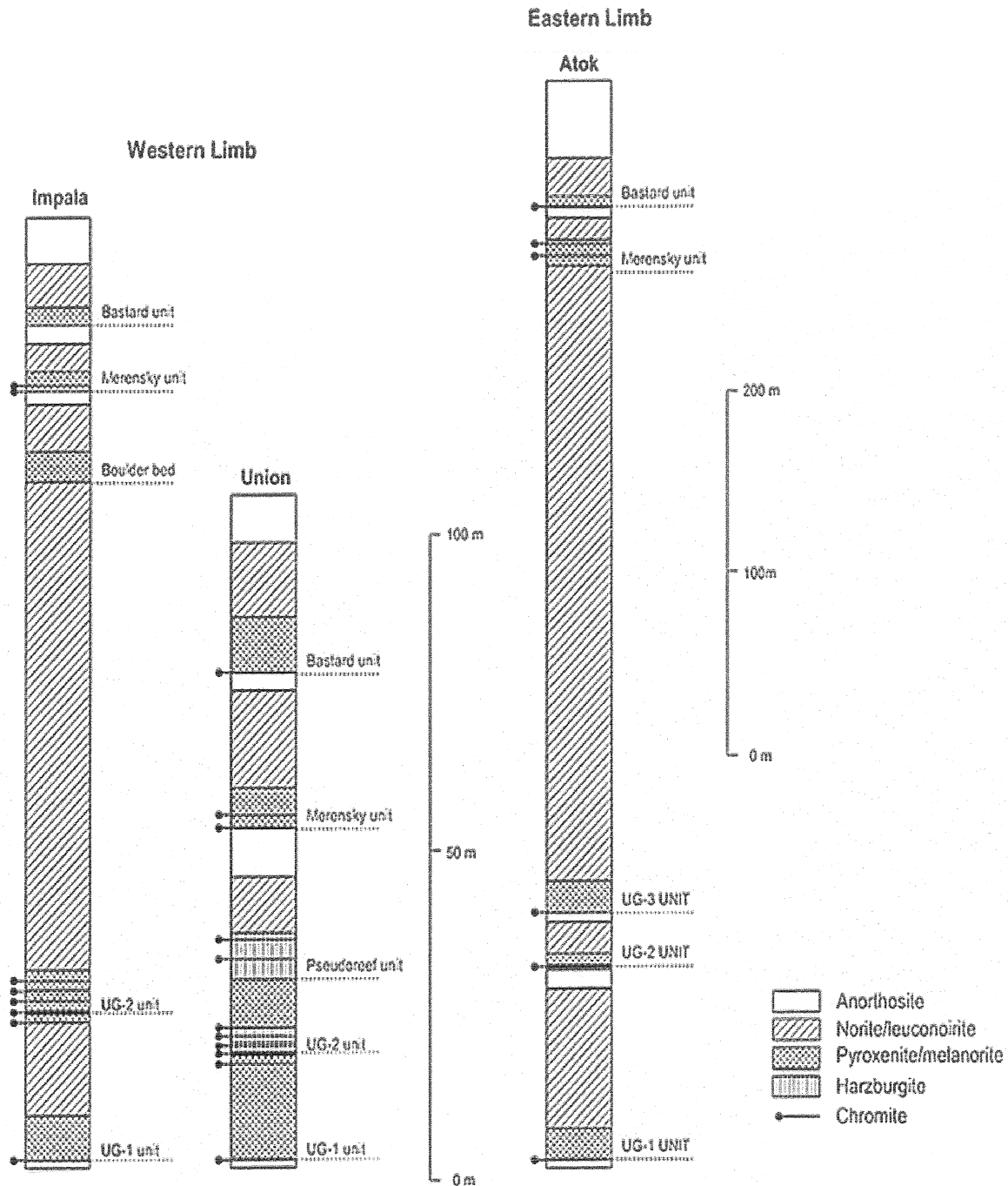


Fig. 3 La division stratigraphique de la zone critique supérieure du Complexe de Bushveld tiré de Barnes et Maier, in press

Deux horizons de chromitites présents dans la zone critique présentent un intérêt notable : UG-2 et Merensky reef. UG-2 est situé dans la sous-zone anorthositique de la zone critique supérieure entre la couche de chromitite UG-1, en dessous, et le Merensky reef, au-dessus. La distance entre UG-2 et Merensky reef varie entre 15 et 370 m (Eales et Cawthorn 1996). L'épaisseur de UG-2 se situe entre 0,15 et 2,55 m. À proximité de UG-2, il y a une pyroxénite feldspathique d'une dizaine de mètres d'épaisseur. Il arrive que la couche UG-2 soit plutôt massive ou qu'elle présente une ou plusieurs séparations de pyroxénites maximisant ainsi son épaisseur jusqu'à 5,7 m parfois. La minéralogie de UG-2 se restreint à des chromites (entre 60 et 90%), des orthopyroxènes (entre 5 et 25%) et des plagioclases (5 à 15%). La composition des orthopyroxènes est En_{80} (bronzitite) et la calcicité des plagioclases est d'environ An_{75} (bytownite) (Eales et Cawthorn 1996). On peut observer certains minéraux accessoires tels que des clinopyroxènes, des sulfures, des minéraux composés d'éléments du groupe platine et de la biotite. La quantité moyenne de métaux nobles est de 7 ppm et l'élément Pt est le plus abondant (Eales et Cawthorn 1996).

Quant au Merensky reef, il constitue la plus importante source de EGP dans le monde. Le Merensky reef est une couche remarquablement continue qui s'étend sur 230 km dans la portion ouest et sur 160 km dans la portion est. Il est au sommet d'une séquence de couches alternantes de péridotites, de pyroxénites et de norites. Les couches de chromitites du Merensky consistent en des chromites avec des plagioclases interstitiels. On trouve aussi quelques sulfures, des biotites, des orthopyroxènes, des clinopyroxènes et des olivines.

Deux types de Merensky reef sont reconnus : un de type pegmatoïde qui n'est pas développée partout et un autre appelé « normal » (Impala Platinum LTD : Geology Department, 1998). Le type pegmatoïde se caractérise par une pyroxénite à grains grossiers; ainsi, les chromitites appartenant à ce reef sont aussi à grains grossiers. Le reef normal, aussi appelé « pyroxenite reef » qui comprend aussi une couche basale de chromitite. Les grains de ce type de reef sont de dimensions inférieures au précédent.

Descriptions pétrographiques

Il a d'abord fallu choisir des échantillons de la partie supérieure de la zone critique du Complexe de Bushveld. Ainsi, deux échantillons du Merensky reef provenant de la mine Impala ont été sélectionnés ainsi que trois autres du reef UG-2 dont deux proviennent de la mine Western Rustenberg et l'autre, de la Mine Impala. L'un des deux échantillons du Merensky représente la base et le centre d'un lit. Pour les échantillons de UG-2, un d'entre eux provient du centre d'une chromitite et un second, de la base.

Merensky Reef :

Échantillon Mr-5 (Annexe 1) :

Le MR-5 a été échantillonné dans le reef pegmatoïde abordé précédemment. Il provient de la Mine Impala. Il est homogène, de couleur gris moyen avec quelques filonnets blancs et dorés. La granulométrie est moyenne et varie entre 0,5 et 3 mm. Des régions grises plus foncées représentent des agglomérations de chromites. Les minéraux qui constituent cet échantillon sont peu nombreux. On retrouve environ 50% de ferro-magnésiens, c'est-à-dire d'hyperstènes (45%) et de biotite (5%). Ensuite, il y a 30% de silicates : 25% de plagioclases (An_{55}) et 5% de quartz présents seulement dans des veinules très fines qui recoupent pratiquement tous les minéraux. Enfin, on trouve 15% de chromites polygonales très arrondies. Dans cet échantillon qualifié de mélanorite à chromite, les chromites se présentent dans une veine et d'autres minéraux opaques y sont associés (5%) tels que de la magnétite et des sulfures (chalcopyrite, pyrite, pyrrothite). En bordure de cette veine, les cristaux de chromite sont petits, cubiques et plutôt dispersés alors qu'au centre de la veine, les cristaux sont plus massifs, trapus et entassés. Associés aux cristaux de chromites, on retrouve de la biotite xénomorphe qui se faufile entre les grains. Cette biotite constitue en fait le matériel interstitiel tout comme les plagioclases qui ont des formes et des comportements semblables à cette dernière. La texture de cumulat originelle est préservée et est principalement formée par les hyperstènes hypidiomorphes qui sont quelque peu serpentinisés et dans lesquelles on retrouve quelques inclusions de chromites et de plagioclases maclés. Les cristaux de chromites forment plutôt une texture sub-ophitique avec les plagioclases et les

orthopyroxènes. Selon l'observation des textures, les orthopyroxènes auraient cristallisé en premier, suivis des plagioclases et des biotites et enfin, des chromites.

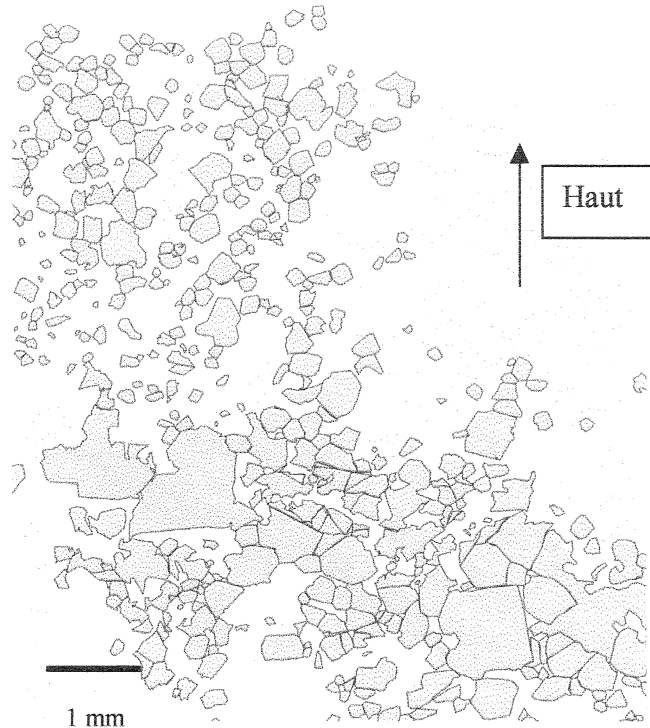


Fig.4 Chromites dans le reef pegmatoïde

Échantillon MR-7 (Annexe 2):

Cet échantillon a été prélevé dans le reef normal dans le secteur de la Mine Impala. Il est hétérogène et se divise en trois parties : une riche en feldspaths et pyroxènes et dont la granulométrie est d'environ 2 mm, une seconde riche en chromites avec une granulométrie toujours aux alentours de 2 mm et une dernière composée des mêmes minéraux que la première avec toutefois une granulométrie plus grossière de 1 cm en moyenne. L'épaisseur du lit de chromite de couleur gris foncé est de 2,5 cm; l'épaisseur des deux autres ne peut être déterminée puisqu'ils ont été coupés. La couleur des lits de feldspaths et pyroxènes se traduit par un mélange marbré de blanc opaque et brun. La première partie est constituée de 4 minéraux : 80% hyperstènes, 10% plagioclases, 5% sulfures et 5% biotites. Il s'agit d'un cumulat d'orthopyroxènes hypidiomorphe ayant comme matériel interstitiel les plagioclases, les biotites et les sulfures. Cette partie est une orthopyroxénite à plagioclases. La seconde partie est

composée de 75% de chromites, 10% d'hyperstènes, 10% de plagioclases et 5% de sulfures. Elle est une chromitite. Dans ce cas-ci, la texture de cumulat est formée par les chromites et le matériel interstitiel est formé d'orthopyroxènes, de plagioclases et de sulfures. Il y a aussi des textures sub-ophitiques. En effet, à l'intérieur des hyperstènes et des plagioclases, il y a des cristaux de chromites. La dernière partie est plutôt une anorthosite car elle est composée de 90% de plagioclases hypidiomorphes et de 10% biotites. Il s'agit donc d'un cumulat de plagioclases quoiqu'on retrouve quelques textures sub-ophitiques. Il y a beaucoup de textures lobées formées par les chromites. De plus, le lit de chromite pourrait lui-même se diviser en trois parties. Effectivement, à la frontière avec l'orthopyroxénite, il s'agit surtout d'une texture sub-ophitique orthopyroxènes/chromites. Alors qu'au centre de ce lit, il y a assurément une texture de cumulat dont le matériel interstitiel est constitué de sulfures. À la frontière chromitite-anorthosite, on retrouve encore la texture sub-ophitique formée cette fois-ci de plagioclases et de chromites principalement. Tout comme l'échantillon MR-5, les orthopyroxènes seraient précoces. Les plagioclases et les biotites auraient cristallisé par la suite. La chromite aurait suivi ainsi que les sulfures.

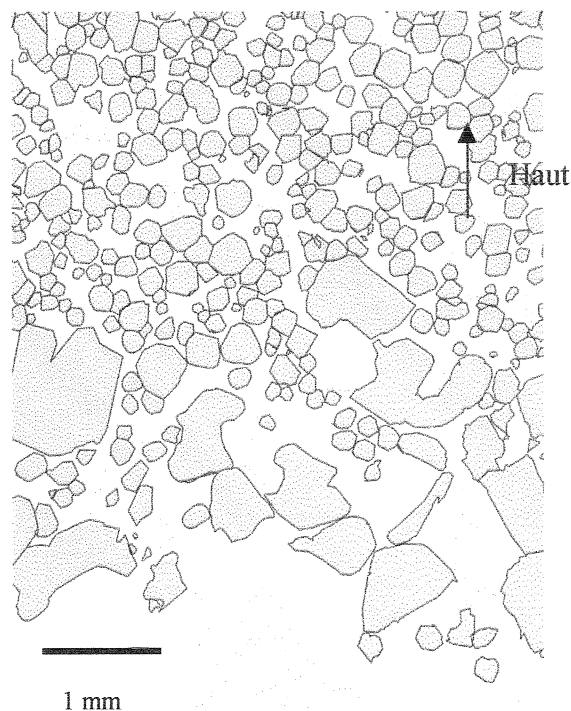


Fig. 5 Chromites dans le reef normal

UG-2

UG-21(Annexe 3):

Tout comme les échantillons du Merensky reef, le UG-21 provient de la Mine Impala, toutefois, son emplacement par rapport au lit de chromitite est inconnu. L'échantillon mégascopique est homogène est de couleur gris foncé. La minéralogie est plutôt simpliste : 90% de chromites et 10% d'olivines. La granulométrie des chromites varie entre 0,1 et 3 mm alors que celle des olivines est plus grossière soit d'environ 7 mm. Dans les deux cas, les grains sont hypidiomorphes à sub-idiomorphes. Il s'agit d'une texture sub-ophitique car les chromites se retrouvent dans des mégacristsaux d'olivines. La granulométrie des chromite est régionalisée. En effet, des secteurs ne sont représentées que par des chromites grossières alors que d'autres ne sont constitués que de chromites fines (< 1 mm). Cette roche est une chromitite à olivines. Les olivines sont précoces par rapport aux chromites.

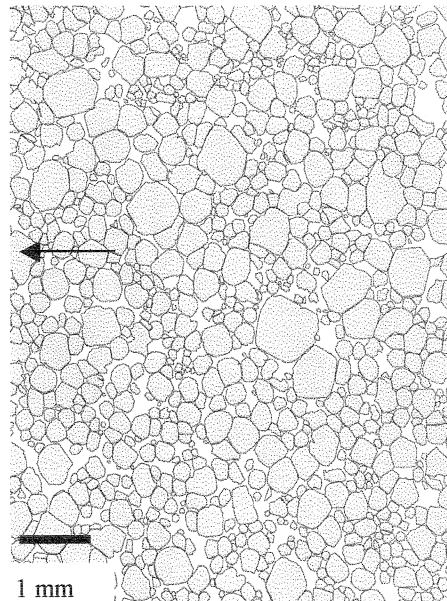


Fig. 6 Chromite du UG-2 de la Mine Impala (emplacement inconnu)

UG-22(Annexe 4):

Cet échantillon a été extrait à la base du lit de chromitite au contact avec l'anorthosite dans la Mine Western Rustenburg. Il est donc hétérogène, une partie est blanc-gris alors que la seconde partie est gris foncé. Leur différence est dans la

minéralogie. La première partie est composée de 95% de plagioclases avec un faible pourcentage de chromite (3%) et d'olivine (2%). La seconde partie est constituée de 50% chromites, 25% plagioclases et 25% olivines avec un peu de biotite (<1%). Les textures sont différentes aussi. Pour la première partie, il s'agit d'un cumulat de plagioclases avec quelques fois des inclusions de chromites. L'olivine de cette partie est interstitielle. La texture de la deuxième partie est plutôt sub-ophitique. Effectivement, on trouve des grains de chromites soit dans les olivines ou dans les plagioclases. D'ailleurs, les olivines qui contiennent des inclusions de chromites présentent des fractures avec un patron radial alentours des chromites. La roche est en fait une séquence anorthosite-chromitite. Les plagioclases et les olivines de la chromitite sont plus grossiers que ceux de l'anorthosite. De plus, le long axe des plagioclases de l'anorthosite est orienté parallèlement au contact avec la chromitite. L'ordre de cristallisation se présente comme suit, du plus vieux au plus tardif : plagioclases, olivines, chromite et biotite.

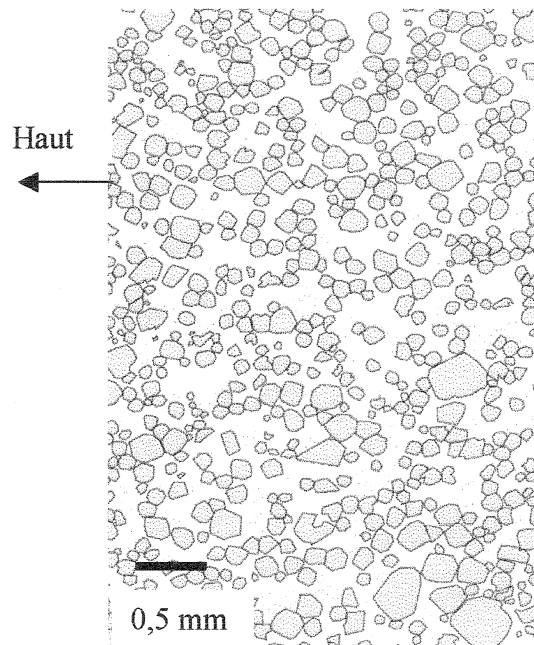


Fig.7 Chromites du UG-2 de la mine Western Rustenberg (base du lit)

UG-23 (Annexe 5):

UG-23 provient plutôt du centre du même lit de chromitite que UG-22 ainsi que de la même mine. Il s'agit d'un échantillon homogène de couleur gris foncé. On retrouve 40% de plagioclases, 40% de chromites et 20% d'olivines. Il y a aussi

quelques biotites en trace. Seuls les chromites sont hypidiomorphes, les plagioclases et les olivines sont plutôt xénomorphes. La texture principale est sub-ophitique, les chromites baignent dans les grains de plagioclases et d'olivines. On observe souvent des bordures lobées et les grains de chromites se touchent pratiquement tous. Il s'agit d'une chromitite riche en plagioclases. Les olivines et les plagioclases ont cristallisé en premier, suivis des chromites et des biotites.

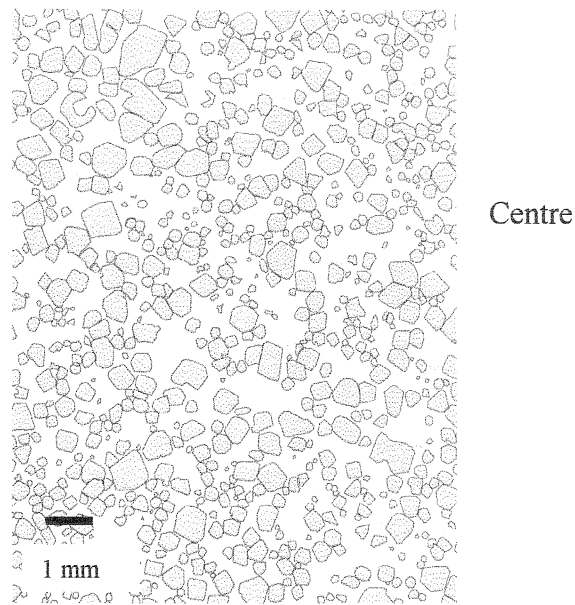


Fig.8 Chromites du UG-2 de la mine Western Rustenberg (centre du lit)

La méthode DTC « Distribution de la Taille des Cristaux »

Théorie

La méthode CSD ou DTC signifie « crystal size distribution » ou encore « distribution de la taille des cristaux ». Elle donne un grand nombre de renseignements tels que le temps de résidence, le processus de formation des textures, la fractionnement, etc. Marsh (1988) est le premier à avoir utilisé cette méthode inventée par deux ingénieurs chimiques, à des fins géologiques. Il s'agit d'une équation qui met en relation le nombre de cristaux au fur et à mesure qu'ils croissent et subissent la nucléation. Il y a plusieurs paramètres dans cette équation qui tentent de déterminer la densité des cristaux. Cette densité est donc fonction du temps de résidence moyen des cristaux dans le

ystème, de la taille caractéristique d'un cristaux et du taux de croissance. L'équation finale est donc :

$$\ln (N_v(L)) = \ln (N_v^0(L)) - L/G\tau$$

Où N_v : densité de population pour cristaux de taille L

N_v^0 : densité de nucléation

L : taille

G : taux de croissance

τ : temps de résidence

Pour faciliter les interprétations, on porte les données sur un graphique de \ln (densité de population) en fonction de la longueur moyenne des cristaux. Dans le cas le plus simple avec un système ouvert ou encore un système fermé avec augmentation de surfusion, on doit trouver une courbe linéaire de pente inverse avec une distribution des cristaux log normale, c'est-à-dire qu'avec l'augmentation de la grosseur des cristaux il y a diminution exponentielle de leur nombre. Il y a plusieurs roches volcaniques qui suivent ce modèle (Marsh, 1988; Cashman et Marsh, 1988). Toutefois, comme la théorie est souvent bien différente de la réalité, il existe divers processus qui modifient le patron de la courbe et lui donnent des formes autre que droite. En effet, le mélange de deux magmas, l'accumulation, le fractionnement, la variation du taux de croissance et des changements abrupts du taux de refroidissement contribuent à donner des formes concaves ou convexes à la droite théorique (Marsh 1988) (Fig. 9 et 10).

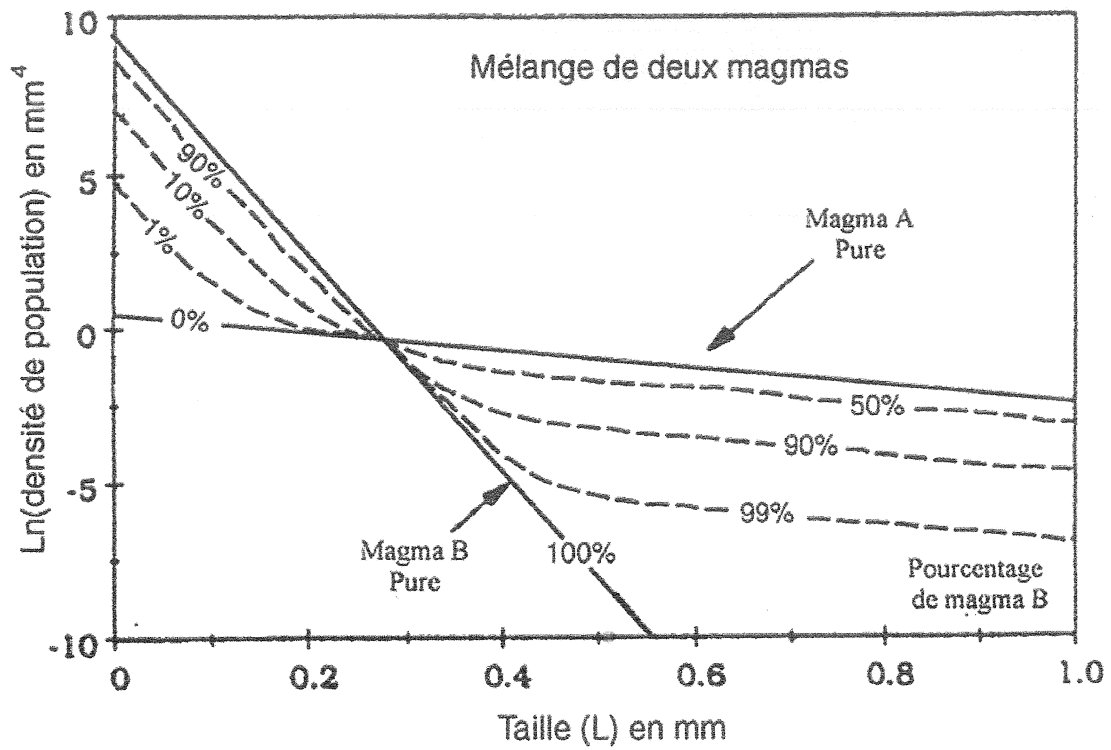


Fig. 9 Modélisation de la densité de population des cristaux dans un mélange de deux magmas (tiré de Higgins, 1996)

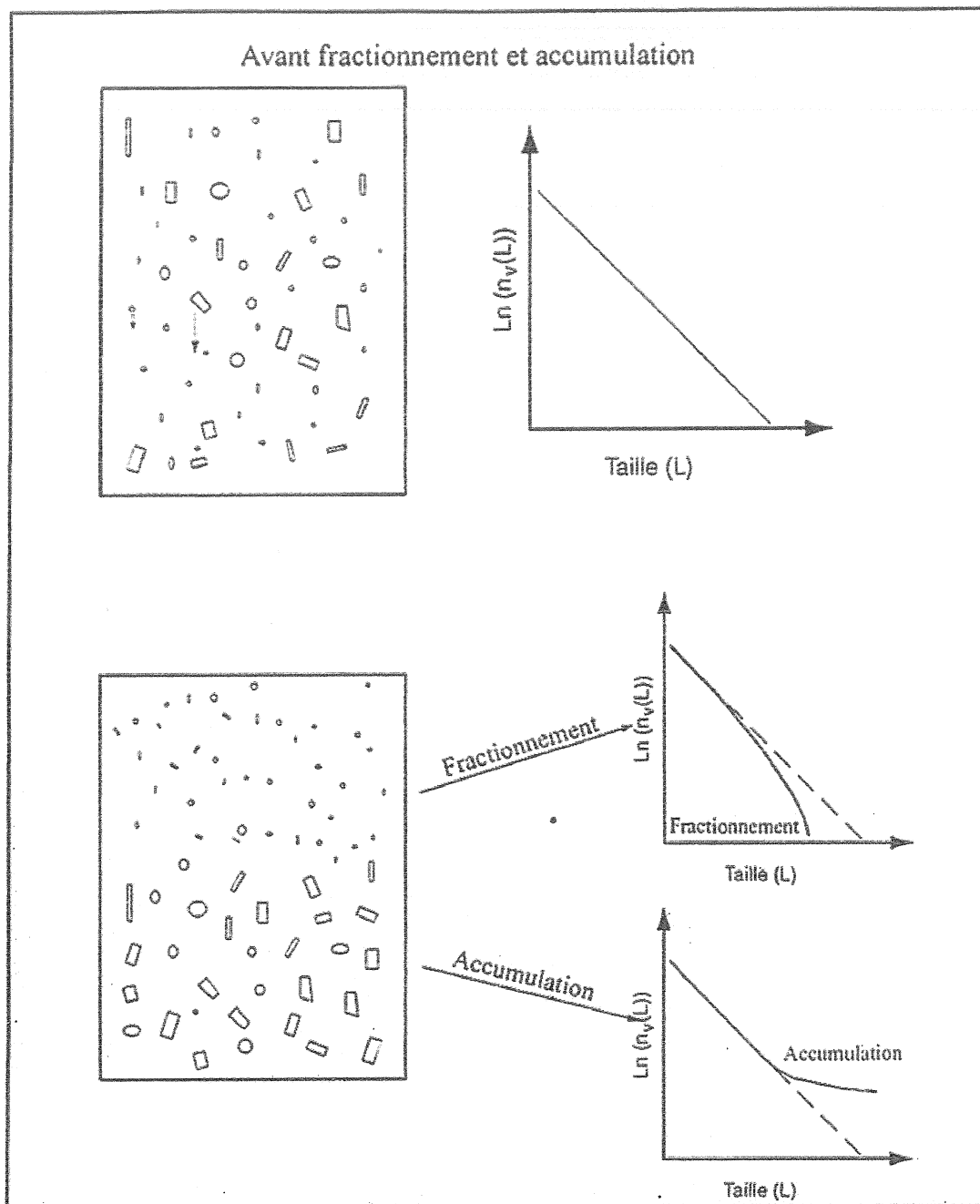


Fig. 10 Variation de la courbe de DTC en fonction de l'accumulation et du fractionnement selon le modèle de Marsh (1988)

Méthodologie

Pour utiliser la méthode de CSD, les données recueillies en 2D doivent être transformées en 3D. Ce processus de conversion doit tenir compte de deux effets

expliquer par Higgins (2000). Le premier est l'effet de probabilité d'intersection des cristaux. Effectivement, lorsqu'on coupe un échantillon pour en faire une lame mince, la probabilité de rencontrer un gros cristaux est deux fois plus grande que celle de rencontrer un petit cristaux. Deuxièmement, il y a l'effet de la section coupée qui s'explique par le fait que lorsqu'on coupe un cristaux, les probabilités de le couper dans un axe intermédiaire sont beaucoup plus élevées que celles de le couper dans son axe central. Toutes ces corrections sont incorporées dans le logiciel CSDcorrection (Higgins, 2000).

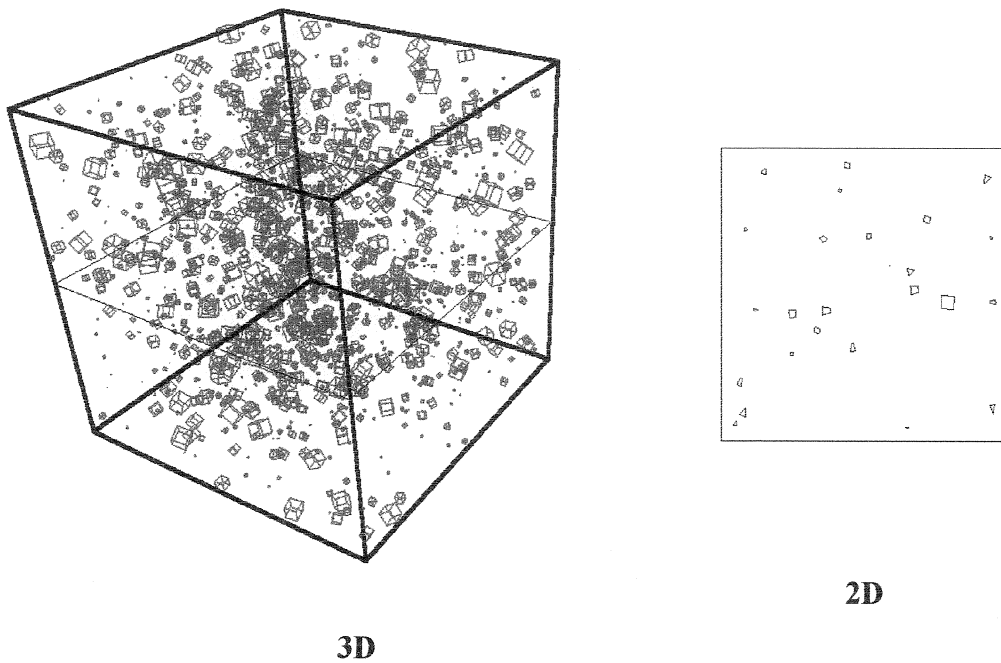


Fig. 11 La transmission d'une distribution de cristaux de 3 dimensions à 2 dimensions tiré de Peterson (1996)

Selon Higgins (2000), la densité de cristaux par unité de volume doit être calculée de la façon suivante :

$$n_v = n_a / L_{moy}$$

Où,

n_v = nombre de cristaux par unité de volume

n_a' = le nombre de cristaux par unité de surface corrigé pour l'effet de section coupée

L_{moy} = La taille moyenne de l'intervalle choisit

La figure qui suit montre les différents exemples de résultats qui peuvent être obtenus en mettant en relation le nombre de cristaux par unité de volume et la longueur moyenne selon la méthode de Higgins. Cette méthode est comparée avec l'ancienne méthode de transfert d'unité de taille de 2 dimensions à unité de volume, celle de Marsh (1988). Les pentes ne sont pas affectées, mais la relation entre petits et gros cristaux est modifiée.

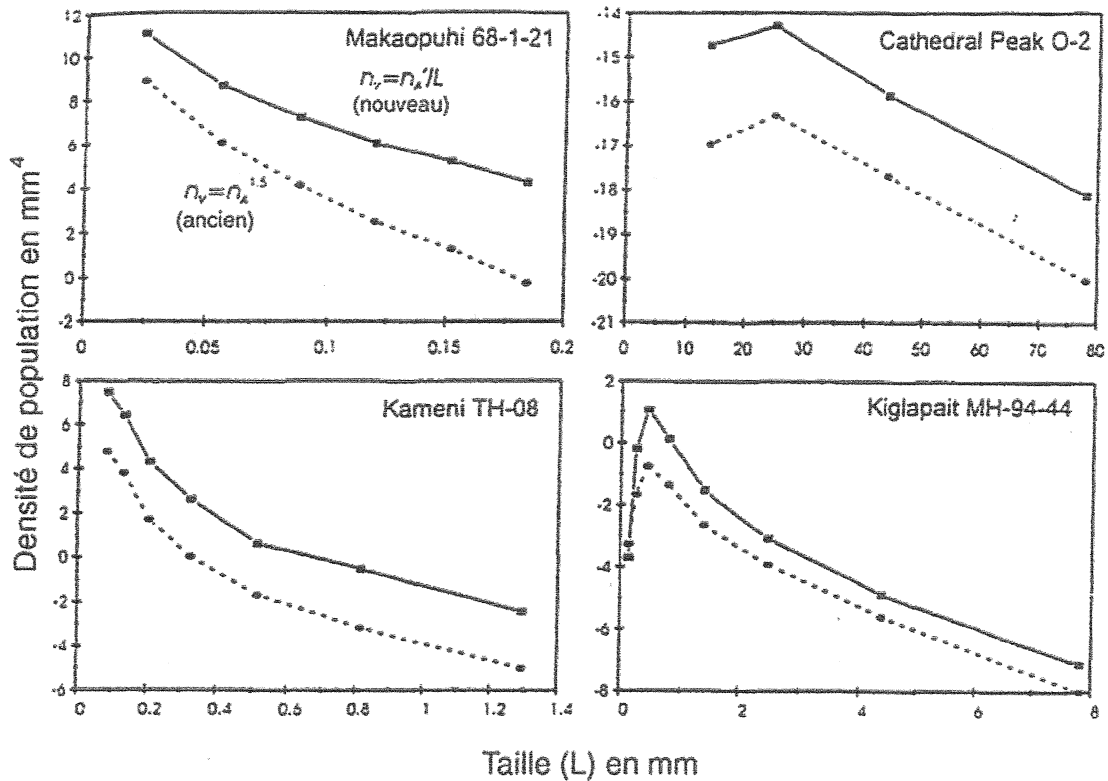


Fig.12 Graphique illustrant les différences des courbes de DTC entre la méthode de transfert ancienne (Marsh 1988) et nouvelle (tiré de Higgins, soumis)

Malheureusement, ce n'est pas tous les échantillons qui peuvent être utilisés pour le CSD. Par exemple, les cristaux pertinents à l'étude doivent être assez distancés l'un de

l'autre pour que la numérisation ne soit pas trop laborieuse puisque lorsque les grains sont collés, il est difficile de trouver la séparation.

Méthodologie

Une mosaïque de chaque échantillon doit être faite. Une section jugée pertinente sur une lame mince polie est photographiée. La mosaïque en question représente cette section et est constituée de toutes les photos prises sur l'échantillon. Afin de faciliter le travail, chaque cristaux est séparé d'un voisin à l'aide d'un crayon marqueur car il arrive que les limites d'un grains soient impossible à distinguer sur les photomicrographies.

Lorsque les mosaïques sont adéquates, il suffit de numériser chaque cristaux sur le logiciel conçu à cet effet. Cette étape se fait grâce à une souris et une table spécialisée. Il faut procéder à la calibration de l'appareil à l'aide d'une échelle. Cette échelle correspond au grossissement utilisé au microscope. Les limites de chaque grains sont dessinées avec la souris. Avant tout, il y a prise de mesure de la longueur moyenne du cristaux. Une fois que cela est fait, il faut tracer le contour du grain en prenant plusieurs points afin d'avoir une image qui respecte le mieux possible la forme du grain réel. Pour ne pas induire d'erreurs, les grains en marge qui sont coupés par les limites des photos sont ignorés. Lorsque tous les grains sont mesurés, il faut mesurer la superficie étudiée. Dans le cas des chromitites du Complexe de Bushveld, tous les cristaux de chromites sont numérisés. La limite inférieure de la longueur moyenne des cristaux correspond donc au plus petit grain de chromite rencontré. Les petits grains sont considérés comme étant des coins de gros cristaux. Ainsi, il n'y a pas eu lieu de fixer une limite inférieure et tous les cristaux de chromites ont été utilisés. De plus, dans le logiciel, la forme de sphère a été utilisé.

Une fois que toutes les mesures sont prises sur tous les échantillons, un transfert sur Excel et sur le logiciel « CSDcorrections » permet d'obtenir des graphiques de la densité de la population des cristaux Vs la longueur moyenne de ces cristaux. De plus, afin de comparer sur un même échantillon MR-7 qui présente des textures différentes localement, il a fallu faire plus d'un DTC en délimitant les zones pertinentes et en

sélectionnant les cristaux désirés. En sommes, cinq DTC ont été effectués. Enfin, pour avoir des résultats avec le moins d'erreurs possibles, il faut enlever certains cristaux qui ont été dessinés plus qu'une fois ou qui sont erronés.

Résultats

Pour chaque échantillon, un bon nombre de cristaux a été mesuré. Le tableau 1 présente le nombre de cristaux dans chacune des intervalles de longueurs moyenne et ce, pour tous les échantillons.

Limites supérieurs des longueurs des cristaux (en mm)	UG-21	UG-22	UG-23	Mr-5	Mr-7 (grains plus grossiers)	Mr-7 (grains plus fins)
2,51	0	0	0	1	0	1
1,585	0	0	0	1	2	0
1,000	12	0	8	3	7	1
0,631	79	10	113	26	13	10
0,398	256	138	348	74	17	79
0,251	363	553	523	203	46	293
0,158	284	505	345	217	61	348
0,1000	136	126	112	153	28	120
0,0631	36	16	23	30	9	30
0,0398	8	3	1	7	2	1
0,0251	1	0	0	0	0	0
Total des cristaux	1175	1351	1473	715	185	883
Superficie(mm²)	71,3180	78,1125	159,7516	57,1579	19,5629	33,6177

Tableau 1. Répartition du nombre de cristaux selon des intervalles de longueur moyenne pour chaque échantillon

Lorsque les corrections sont faites pour tous les échantillons, les points qui ne sont pas représentatifs sont enlevés, c'est-à-dire les points où un seul grain les représente ou encore les points dont le facteur de correction est trop grand. C'est le cas pour les longueurs entre 0,0631 et 0,0251 surtout. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques de la densité de la population des grains en fonction de la longueur moyenne des grains. Les courbes pour les échantillons provenant du UG-2 ont été mises dans un même graphique tout comme celles représentant le Merensky reef, pegmatoïde et normal.

UG-2

Premièrement, UG-2, représenté par trois échantillons, présente des résultats plutôt attendus (fig. 13).

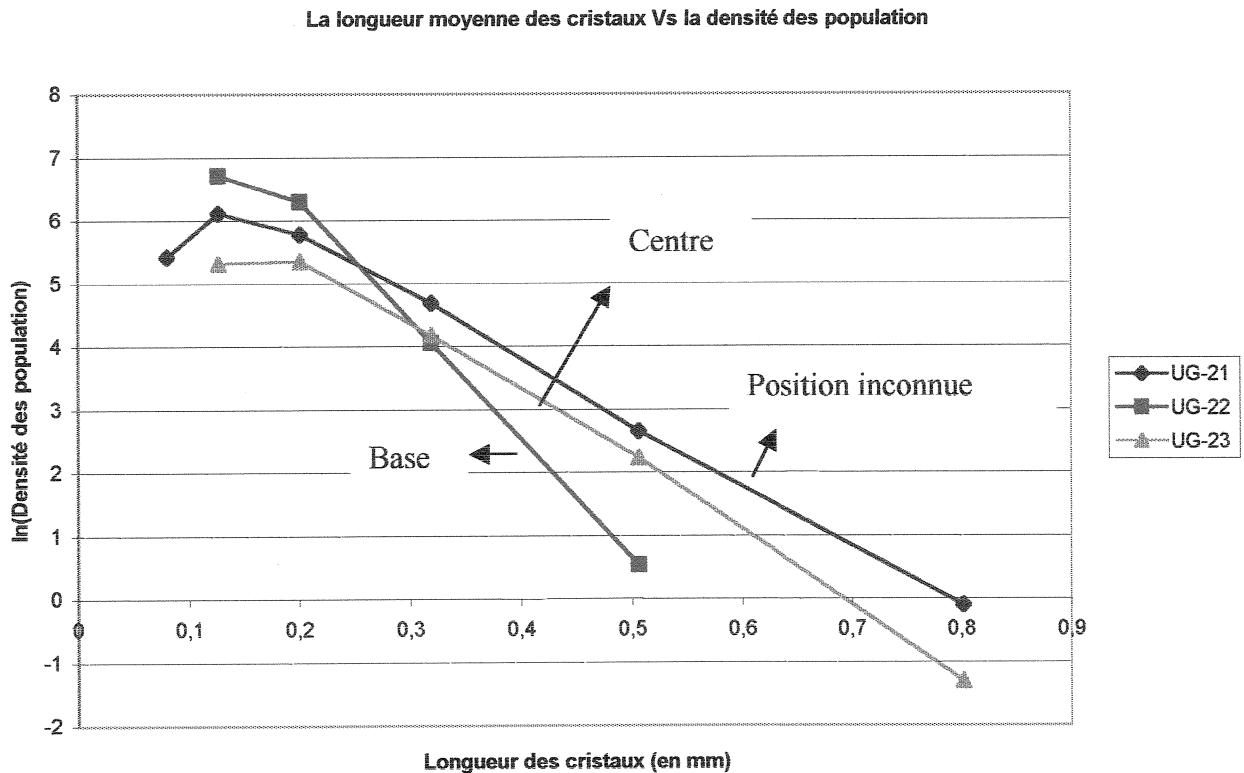


Fig. 13 Résultats des DTC pour les échantillons du UG-2

D'abord, l'échantillon UG-21 se traduit par une courbe qui commence par un crochet au niveau des petites longueurs moyennes. En effet, il y a un « pic » à une longueur de 0,127 mm et a une densité de 6,11. À partir de ce point, le comportement de

la courbe est quasi linéaire et toujours de pente négative mais douce. Les valeurs de la longueur moyenne vont de 0,0801 à 0,801 mm et celles des densités varient entre 5,42 et -0,10. L'échantillon UG-22 présente des longueurs moyennes plus petites que le précédent. En effet, les densités de population sont élevées au niveau des longueurs entre 0,127 et 0,201 mm. La courbe de cet échantillon possède une pente beaucoup plus abrupte que la première. Les densités varient entre 6,70 et 0,53 et les longueurs, entre 0,127 et 0,506 mm. Le dernier échantillon de UG-2 est UG-23 et le patron de sa courbe ressemble considérablement à celui de UG-21. Il y a un crochet au niveau des faibles longueurs mais beaucoup plus subtil que celui de UG-21. Il présente aussi une pente assez douce de pente inverse presque parallèle à celle de UG-21. Toutefois, la courbe de UG-23 est toujours en dessous de celle de UG-21 fort probablement parce que lors de la cristallisation, UG-21 avait plus de matériel disponible pour cristalliser la chromite que UG-23. Quant à UG-22, parce que la courbe présente une pente abrupte et se concentre entre des valeurs de longueurs moyennes plutôt faible, cet échantillon est moins évolué que les deux autres, il a donc subi moins de mûrissement textural. Le mûrissement textural se rapproche du concept de recristallisation sans toutefois impliquer un processus de déformation qui réduit la taille des grains au départ pour ensuite l'augmenter. Le mûrissement textural signifie une croissance des gros grains, la mise en solution des petits grains et ce, sans l'action de déformation. Il peut se produire dans la chambre magmatique ou encore suite à l'accumulation de cristaux à la base de cette chambre. On observe ce phénomène sur les courbes de DTC lorsqu'elles ont une pente plus douce ainsi qu'un petit plateau ou crochet au niveau des longueurs moyennes des grains petits. Ce petit crochet et une pente moins abrupte indiquent un manque de petits grains par rapport aux gros grains. Malgré tout, ces trois échantillons indiquent une accumulation suivie d'un mûrissement textural. En effet, UG-21 présente un crochet et une pente douce qui suggèrent un manque de petits cristaux par rapport aux gros cristaux. Lors de l'accumulation, la courbe de UG-21 est droite et de pente inverse. À mesure qu'il y a mûrissement textural, la pente s'adoucit, parce que le nombre de gros cristaux augmente, et un crochet se forme parce que le nombre de petits cristaux manque. Le comportement est le même pour UG-22 et UG-23 sauf que UG-23, situé au centre du lit, présente une granulométrie plus grossière que UG-22, situé à la base.

Certains éléments observés en lame mince viennent appuyer l'idée de mûrissement textural. Il y a présence de plusieurs points triples et de bordures arrondies et parfois, sévèrement lobées comme le montre la figure 14 et 15.

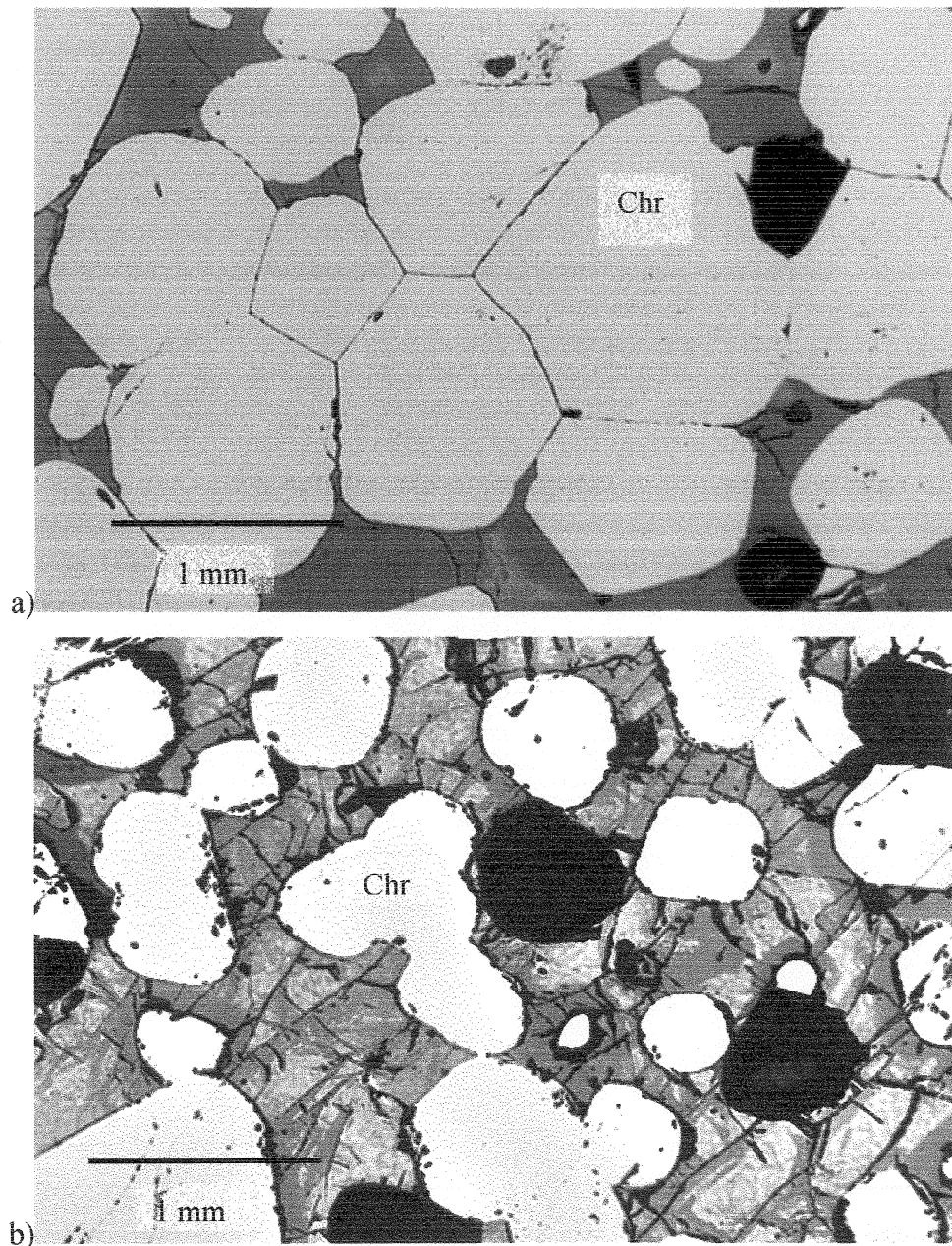


Fig. 14 et 15 Textures de recristallisation : a) Points triples de UG-21 et b) Bordures lobées de UG-23 (photo à lumière réfléchie)

Merensky reef

Deuxièmement, les résultats pour le Merensky reef (Fig.16) . L'échantillon provenant du reef pegmatoïde, le mr-5, présente une courbe plus ou moins sinueuse. En effet, il y a une légère courbure au sommet qui s'atténue en descendant et en suivant un patron plutôt droit. Il s'agit évidemment d'une pente inverse. Les longueurs moyennes varient entre 0,08 et 0,8 mm alors que les densités de population varient entre 6,51 et – 1,39. Les observations du UG-2 se retrouvent chez le Mr-5. Celui-ci présente donc des indices de mûrissement textural. Certaines constatations au niveau de la texture des gros grains renforcent cette idée de mûrissement. En effet, les bordures des grains plus grossiers diffèrent de celles des grains plus fins. Les grains fins sont davantage idiomorphes et polygonales alors que les grains grossiers, dans le cas de Mr-5, sont xénomorphes avec des bordures lobées et il est difficile d'établir des limites entre les grains. Les observations microscopiques peuvent donc appuyer la forme de la courbe qui suggère un mûrissement textural.

La longueur moyenne des cristaux Vs la densité des populations

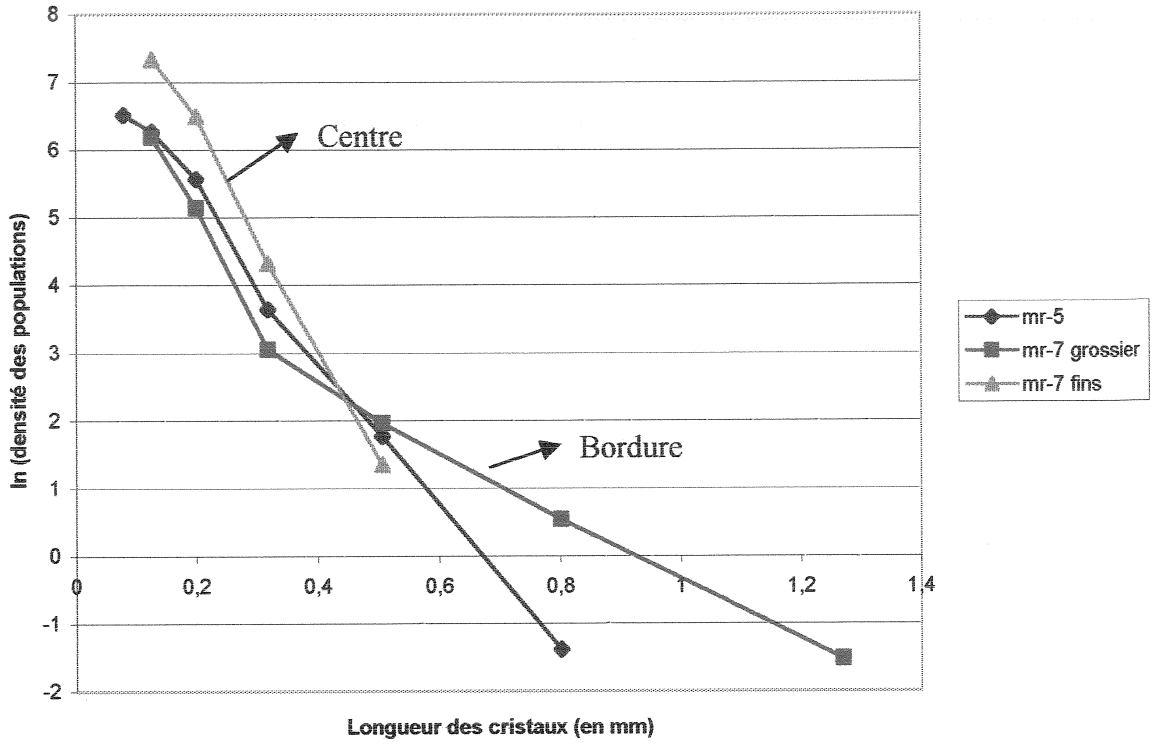


Fig. 16 Résultats de DTC pour le Merensky Reef

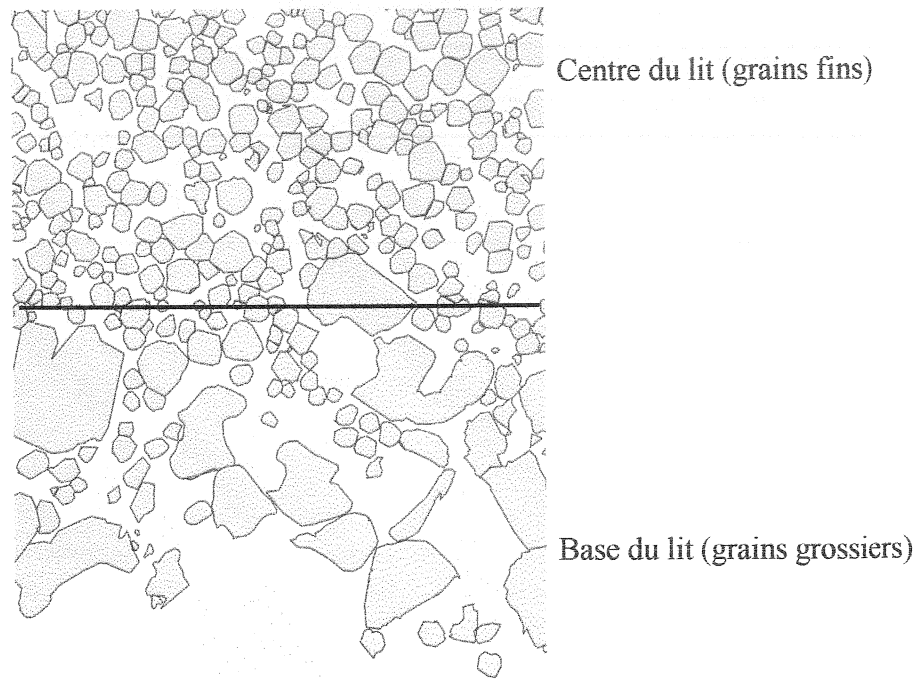


Fig. 17 Séparation de l'échantillon du reef normal

L'échantillon mr-7, divisé en deux (Fig.17), présente deux patrons de courbes plutôt différents. Celle qui représente les grains fins est naturellement plus haute dans le graphique : la densité de la population est plus élevée pour des longueurs plus petites. Ainsi, la courbe se situe entre 0,127 et 0,506 mm en ce qui concerne la longueur et entre 1,34 et 7,33 pour les densités. L'allure de la courbe est assez droite quoiqu'il y ait une légère flexure dans le même sens que mr-5 vers le haut. Pour le MR-7 à grains grossiers, à une densité de 3, la courbe divergent de façon drastique et sa pente s'adoucit jusqu'à une densité de -1,53. Les valeurs de longueurs moyennes étant plus élevées, la courbe est en dessous de mr-5 et de mr-7 fins vers les longueurs plus petites (<0,45 mm) et au-dessus vers les longueurs plus élevées (>0,45 mm). En comparant la courbe de MR-7 à grains grossiers avec celle de l'accumulation de la figure 10 tirée de Marsh 1988, on note une nette ressemblance, c'est-à-dire un changement de pente vers les grains grossiers. On ne retrouve pas non plus de petits crochets au niveau des petits grains comme pour les autres DTC. Le reef normal ne présente donc qu'une simple accumulation sans apparences de mûrissement textural significatif. Quant à MR-7 à grains fins, sa courbe se rapproche considérablement de la distribution aléatoire illustrée toujours sur la figure 10,

c'est –à-dire une droite linéaire de pente inverse et assez abrupte. La flexure vraiment légère au début de la courbe pourrait à la limite représenter un début de mûrissement textural mais rien de vraiment important.

Malgré le fait que Mr-5 soit pegmatoïde, il n'y a pas de différences notables avec Mr-7, du moins avec le Mr-7 à grains grossiers. Cette similarité se perçoit dans le graphique de la longueur moyenne des cristaux Vs leur distribution sur l'axe des X.

Dans la majorité des cas, du moins pour le UG-2 et le reef pegmatoïde, les courbes proposent un événement de recristallisation ou plus précisément de mûrissement textural à des températures assez élevées mais sous le liquidus qui aurait succédé à une accumulation de cristaux de chromites. Cette interprétation est d'autant plus cohérente dans les cas du UG-22 et UG-23 puisqu'il peut y avoir comparaison pour un même lit de chromites. En ce qui concerne le reef normal, seule une accumulation simple de cristaux de chromites peut être suggérée puisqu'il y a absence de petits crochets observés entre autres chez les chromites du Complexe de Stillwater par Waters et Boudreau.

Discussion

Hulbert et Von Gruenewaldt (1985) se sont questionnés au sujet des cumulats de chromites dans le Complexe de Bushveld. En effet, il est certain que la chromite s'est accumulée et a formé des cumulats. Toutefois, ils s'expliquent mal la forte densité de chromites résultant seulement d'une accumulation sans l'intervention d'autres phénomènes. Plusieurs hypothèses ont été émises : la fusion partielle des chromites (Cameron et Emerson 1959), un liquide riche en chromites (McDonald 1965) ou encore l'augmentation du volume des chromites dans les couches par une réaction postcumulus des chromites avec les plagioclases et le liquide (Henderson et Suddaby 1971). Ce qui est plutôt certain, c'est que le reef normal donne des résultats qui tendent vers une simple accumulation. Ce reef n'aurait donc pas subi de mûrissement textural significatif.

Quant au reef pegmatoïde et au UG-2, la solution la plus plausible pour la densification des chromites serait le phénomène de mûrissement textural. Sur un graphique de DTC, l'évolution théorique de la courbe lors du mûrissement textural se présente comme suit : d'abord, la courbe des cristaux avant modification est droite et de pente inverse (beaucoup de petits cristaux et peu de plus gros cristaux), ensuite, le mûrissement textural adoucit la pente et forme une petite courbure au début de la droite, exprimant ainsi le manque de petits cristaux (Higgins, 1998). S'il n'y avait que de l'accumulation, cette courbe droite aurait fléchi vers des densités plus élevées au niveau des gros cristaux.

Il existe d'autres indices aussi permettant de rejeter la possibilité d'un cumulat originelle pour ces échantillons telles que les observations texturales faites au microscope. Effectivement, plusieurs points triples sont présents sur les lames minces polies. Ces points triples témoignent de la recherche de l'équilibre par la diminution de l'énergie totale de surface des grains de chromites qui correspond en fait au processus de mûrissement textural (Bard 1980). De cette façon, les formes des chromites sont davantage polygonales et la majorité d'entre-elles présentent des bordures concaves ou sphériques résultant encore une fois de la diminution de l'énergie de surface. Il y a donc beaucoup de bordures lobées très accentuées donnant parfois des formes en « U » aux grains (Fig.18).

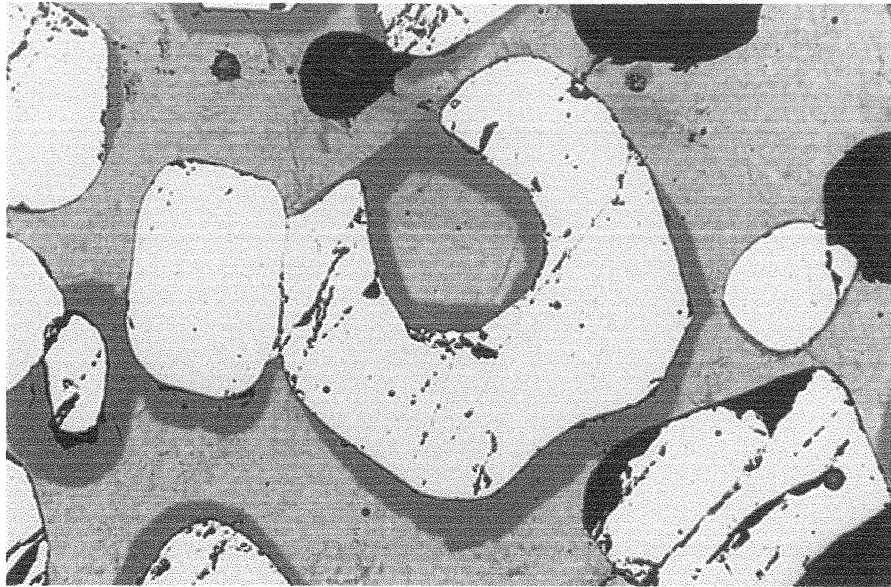


Fig.18 Texture résultant de la diminution de l'énergie de surface

Les chromites contiennent aussi certaines fois des inclusions de plagioclases ou encore d'olivines qui sont relié au mûrissement textural selon Hulbert et Von Gruenewaldt (1985). Ces inclusions se forment lors de ce processus postcumulus. Lorsque 3 ou 4 grains de chromites subissent le mûrissement, des déformations et une diffusion de leur matériel entre autre font qu'ils se rejoignent. Une fois le contact fait, les bordures des grains se réajustent et se font circulaires ou courbées. De cette façon, il y a modification de la forme des grains. Le centre de ces grains rapetisse de plus en plus et prend des formes sphériques. Si le mûrissement est arrêté, il y a préservation de ce centre d'olivine ou de plagioclase qui s'apparente comme étant une inclusion (fig. 19).

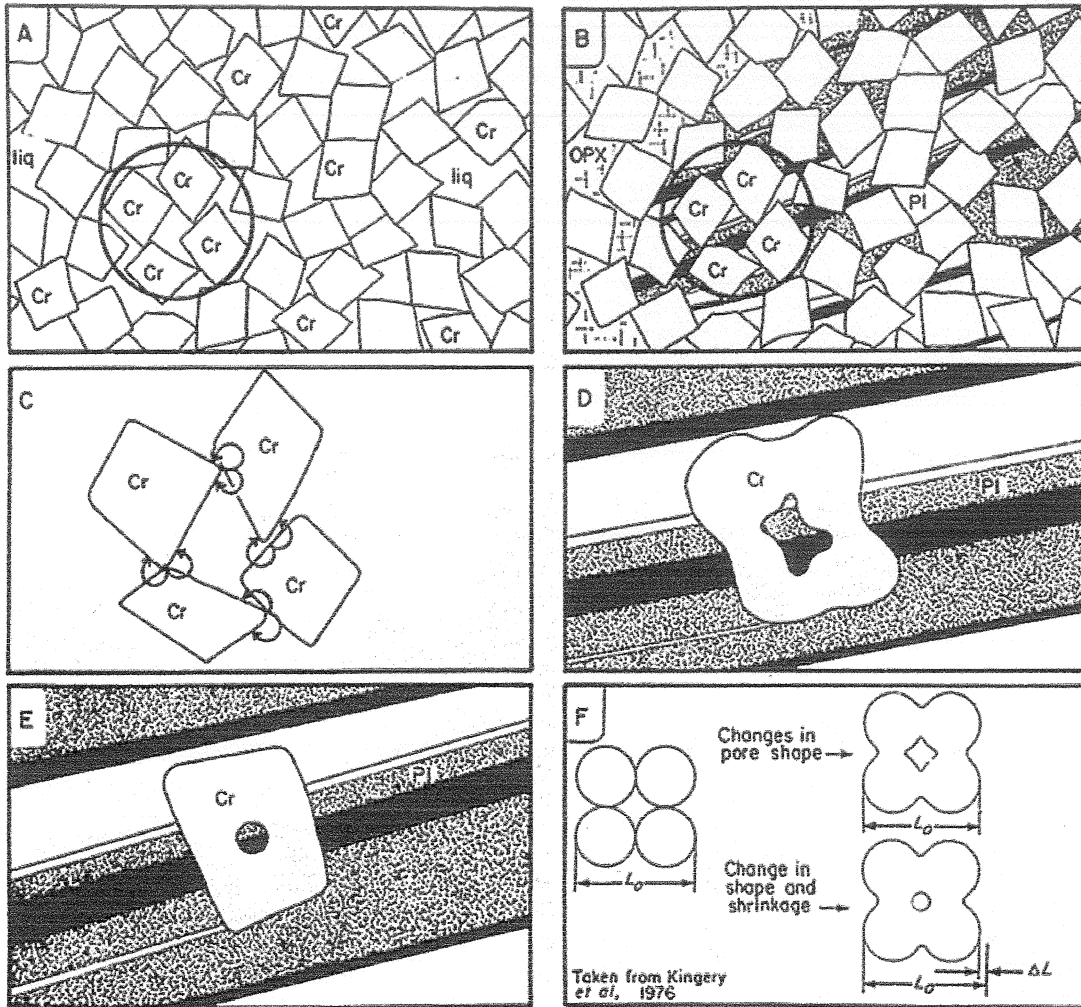


Fig.19 Processus de mûrissement textural tiré de Hulbert et Gruenewaldt (1985)

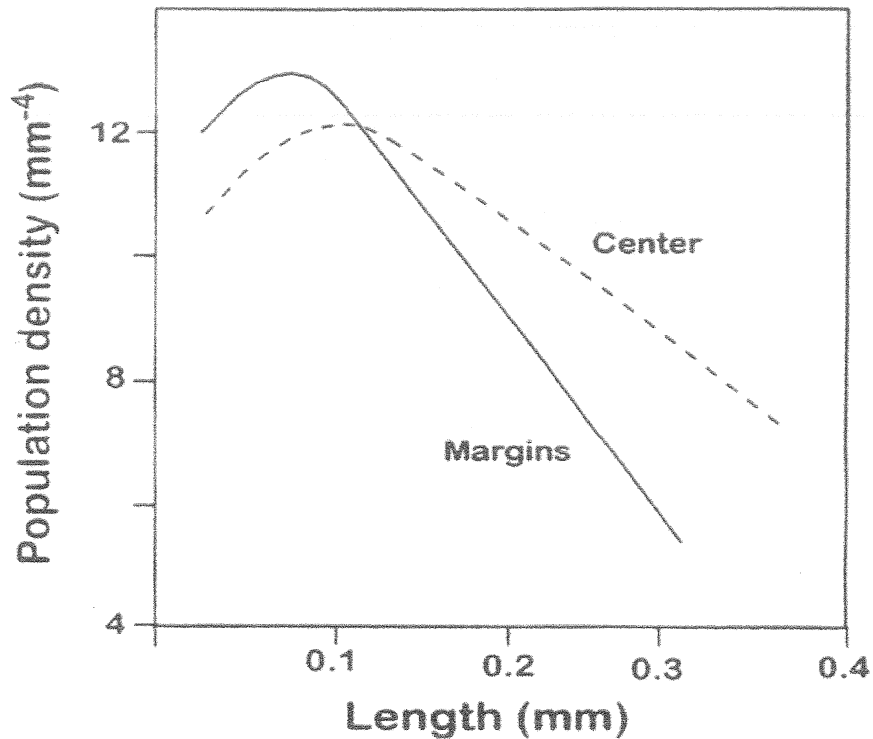


Fig. 20 CSD des chromites du Complexe de Stillwater tiré de Waters et Boudreau, 1996

Les résultats de la « Distribution de la taille des cristaux » vont en accord avec les observations texturales faites sur les échantillons. Pour le UG-2 et le reef pegmatoïde, il y a eu accumulation suivi d'un mûrissement textural. Alors que pour le reef normal, il n'y a eu qu'une accumulation de cristaux de chromites. Cette différence est possiblement liée au fait que les grains grossiers de UG-2 et ceux du reef normal ne se situent pas au même endroit dans le lit. UG-2 présente des grains plus grossiers au centre du lit et des grains plus fins à l'extérieur, plus précisément à la base du lit. Cette situation est constatée par Waters et Boudreau (1996) qui ont effectué un « CSD » sur une chromitite du Complexe de Stillwater. Comme le montre la figure 20, le centre correspond à la courbe ayant la pente la plus adouci alors que la base du lit correspond à la pente plus abrupte. Ainsi, suite à l'accumulation, les chromites ont subi un mûrissement textural dont le degré diffère selon l'endroit où les chromites se trouvent sur le lit. Effectivement, les chromites présentent à la base ont subi peu de mûrissement textural alors que les chromites au centre en ont subi davantage. Les chromites au centre sont

favorisées dans leur croissance par les nombreux petits cristaux de chromites dans les marges. Cela implique une migration du matériel provenant des deux sens, d'en haut et d'en bas (Waters et Boudreau 1996). Quant aux cristaux en marge, ils ne peuvent obtenir de matériel que d'un côté défavorisant ainsi leur mûrissement textural. Higgins (1998) trouve aussi cette conclusion en affirmant que par diffusion, le matériel est transféré des petits grains vers les gros grains. Cette diffusion peut se faire dans le grain ou au niveau de ces bordures s'il n'y a pas de magma ou, s'il y a du magma, la diffusion dans celui-ci dominera (Higgins, 1998). Les échantillons du UG-2 présentent des résultats qui concordent bien avec les conclusions de Higgins (1998). Il y a d'abord nucléation et croissance des cristaux de chromites. Jusque là, la courbe du « DTC » est droite. Le mouvement du magma fait bouger la chaleur latente et les cristaux sont soumis à des températures juste sous le liquidus. Ainsi, la nucléation est supprimée et le mûrissement textural débute : les petits cristaux sont résorbés et les plus gros croissent. De cette façon, les cristaux en centre sont plus grossiers que ceux en marge. Le mûrissement textural dépend de la température, du temps de résidence dans des températures près du liquidus et aussi de la présence de volatils (Hulbert 1985). La présence de ces volatils aide à la croissance des cristaux. Elle peut être estimée avec la présence de minéraux hydratés tel que la biotite. Ce minéral constitue entre 1% et 5% de la minéralogie des échantillons du UG-2 et du reef pegmatoïde. Cela indique donc qu'une certaine proportion en éléments volatils était présente lors du mûrissement textural.

Les échantillons du reef normal présentent toutefois des résultats bien différents : les cristaux plus gros se trouvent en bas alors que les plus fins sont au centre du lit. La diffusion de matériel ne peut expliquer ce comportement. La courbe du reef normal est différente de celles de UG-2 et du reef pegmatoïde car elle présente un changement de pente. Il s'agit ainsi d'une accumulation de chromites. Avant l'accumulation, c'est-à-dire lors de la cristallisation, les petits et les gros cristaux étaient mélangés aléatoirement. Pendant l'accumulation par densité, les gros cristaux se sont déposés en premier, expliquant ainsi la concavité de la droite du DTC vers des densités de population de gros cristaux plus fortes. La partie de MR-7 dont la granulométrie est plus fine, correspond

aux grains qui ont resté en suspension ou qui se sont accumulés moins rapidement que les plus gros. La droite résultant de ce processus est linéaire et de pente inverse assez abrupte parce que le nombre de petits cristaux est important comparativement à celui de gros cristaux.

Conclusion

L'origine des *reefs* du Complexe de Bushveld en Afrique du Sud ainsi que leur forte concentration en EGP continue d'intriguer bien des scientifiques. Cette étude sur la distribution de la taille des cristaux de chromites dans ces lits de chromitites du Complexe de Bushveld a permis d'éclaircir quelques aspects de ces *reefs*, du moins à propos de la formation de leur texture. Les résultats sont quelque peu surprenants. Effectivement, les courbes du DTC indiquent une différence de formation des textures entre le reef normal du Merensky *reef*, le UG-2 et le reef pegmatoïde. Ces deux derniers se sont formés suite au mûrissement textural des cristaux de chromites accumulés. Les cristaux du UG-2 au centre, bénéficiant d'un apport de matériel par diffusion supérieur à ceux situés en bordure, présentent des tailles supérieures avec des indices texturales indiquant un mûrissement textural. Quant aux cristaux en bordure, plus précisément à la base, l'apport de matériel étant beaucoup moindre, leur petitesse et leur forme cubique en est le résultat. Le mûrissement textural dépend de la chaleur latente et de la présence de volatils ou encore du temps de résidence dans des températures près du liquidus. Des températures élevées et une abondance en volatils favorisent la croissance des cristaux de chromites. La forme de la courbe du reef normal du Merensky *reef* impliquent plutôt une simple accumulation de cristaux sans mûrissement textural. La comparaison des compositions chimiques des chromites du reef normal et celles du reef pegmatoïde pourrait peut-être aider à comprendre cette différence. Le Merensky *Reef* ainsi que le UG-2 étant une des sources mondiales les plus importantes en EGP, une meilleure compréhension de leur formation peut contribuer à déceler d'autres sources pertinentes. Enfin, cette étude permet d'accorder une importance particulière aux choix des échantillons car la possibilité de comparer deux DTC pour un même échantillon s'avère très pratique et parfois même capitale.

Bibliographie

- BARD, J. P. Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques. Masson, Paris, 1980, 192 p.
- BARNES, S-J and MAIER, W. D. 2002. Platinum-group elements and microstructures of normal Merensky reef from Impala Platinum Mines, Bushveld Complex. *Journal of petrology*, **43** (1), pp. 103-128.
- BARNES, S-J and MAIER, W.D. 2002. Platinum-group element distribution in the Rustenberg layered suite of the Bushveld Complex, South Africa.
- CAMERON, E.N. and EMERSON, M.E., 1959. The origin of certain chromite deposits of the eastern part of the Bushveld Complex. *Economic Geology*, **54**, p.1151-1213.
- CASHMAN, K.V. and MARSH, B.D., 1988. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallisation II. Makaopuhi lava lake. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **99**, 292-305.
- CAWTHORN, R.G., 1999. Platinum-group element mineralization in the Bushveld Complex a critical reassessment of geochemical models. *South African Journal of Geology*, **102**, p. 268-281.
- EALES, H.V. and CAWTHORN, R.G. 1996. The Bushveld complex. Layered intrusion, Elsevier Sciences, pp.181-229.
- ENGELBRECHT, Johann P. 1985. The chromites of the Bushveld Complex in the Nietverdiend area. *Economic geology*, **80**, pp.896-910.
- HARMER, R.E. and ARMSTRONG, R.A., 2000. Duration of Bushveld Complex (seno lato) magmatism: Constraints from new SHRIMP zircon chronology. Workshop on the Bushveld Complex. Abstracts and programme, Gethane Lodge, Burgersfort, 18-21 November.
- HATTON, C.J. and SCHWEITZER, J.K., 1995. Evidence for synchronous extrusive and intrusive Bushveld magmatism. *Journal of South African Earth Sciences*, **21**, p.579-594.
- HENDERSON, P. and SUDDABY, P., 1971. The nature and origin of the chrome-spinel of the Rhum layered intrusion. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **33**, p.21-31.
- HIGGINS, Michael D. 1998. Origin of anorthosite by textural coarsening : Quantitative measurements of a natural sequence of textural development. *Journal of petrology*, **39**(7), pp. 1307-1323.

- HIGGINS, M.D., 1996. Magma dynamics beneath Kameni volcano, Greece, as revealed by crystal size and shape measurements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 70, 37-48.
- HIGGINS, M.D., 1999. Origin of megacrysts in granitoids by textural coarsening: A Crystal Size Distribution (CSD) Study of Microcline in the Cathedral Peak Granodiorite, Sierra Nevada, California. In C. Fernandez, and A. Castro, Eds. *Understanding Granites: Integrating Modern and Classical Techniques*. Special Publication 158, p. 207-219. Geological Society of London, London.
- HIGGINS, M.D., 2000. Measurement of Crystal Size Distributions. *American Mineralogist*, 85, 1105-1116.
- HUNTER, D. R. 1975. The regional geological setting of the Bushveld Complex. *Economic geology research unit*, 18 p.
- HUNTER, R. H. 1996. Texture development in cumulate rocks. Layered intrusion, Elsevier Sciences, pp.77-101.
- IMPALA PLATINUM LTD 1998. Geology of department. Visitors brochure.
- MACDONALD, J.A., 1965. Liquid immiscibility as a factor in chromitite seam formation in the Bushveld Igneous Complex. *Economic Geology*, 60, p.1674-1685.
- MARSH, B.D., 1988. Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization I. Theory. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 99, 277-291.
- MARSH, B.D., 1998. On the interpretation of Crystal Size Distributions in magmatic systems. *Journal of Petrology*, 39, 553-600.
- MATHEZ, E.A., HUNTER, R.H. and KINZLER, R. 1997. Petrologic evolution of partially molten cumulate: the Atok section of the Bushveld Complex. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 129, pp. 20-34.
- PETERSON, T.D., 1996. About Crystal Size Distribution. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 124, pp. 395-405.
- ROBERGE, Julie. 1999. Distribution de la taille des cristaux dans les magmas d'Islande. *Devis de recherche, UQAC*, 40 p.
- VON GRUENEWALDT, G. and HULBERT, L.J. 1985. Textural and compositional features of chromite in the lower and critical zones of the Bushveld Complex South of Potgietersrus. *Economic geology*, 80, pp.872-895.

VON GRUENEWALDT, G., SHARPE, Martin R. and HATTON, C.J. 1985. The Bushveld Complex: Introduction and review. *Economic geology and the Bulletin of the society of economic geologist*, **80** (4), pp.803-810.

WATERS, C. et BOUREAU, A.E. 1996. A reevaluation of cristal-size distribution in chromite cumulate. *American mineralogist*, **81**, pp.1452-1459.

WILLMORE, C.C., BOUDREAU, A.E. and KRUGER, F.J. 2000. The halogen geochemistry of the Bushveld Complex, Republic of South Africa: Implication for chalcophile element distribution in the lower and critical zones. *Journal of petrology*, **41** (10), pp. 1517-1539.

Quelques adresses internet:

www.rncan.gc.ca/~tpeterso/aboutfe.html

<http://users.iafrica.com/k/kn/knoper/faf4bic2.htm>

<http://atlas.sca.uqam.ca:2000/mgito/glpo.html>

Remerciements

Un gros merci à Sarah-Jane Barnes qui a toute mon admiration pour son efficacité et son esprit scientifique des plus aiguisée.

Un gros merci à Michael Higgins pour sa disponibilité et son aide tant appréciée.

Encore merci à Denis Côté, pour le côté technique.

Merci à ceux qui m'ont fait rire ainsi qu'à mes petits cristaux de chromites qui se sont montrés très disciplinés!!!

Fiche pétrographique

Provenance : UG-2 du Complexe de Bushveld

Échantillon : UG-21

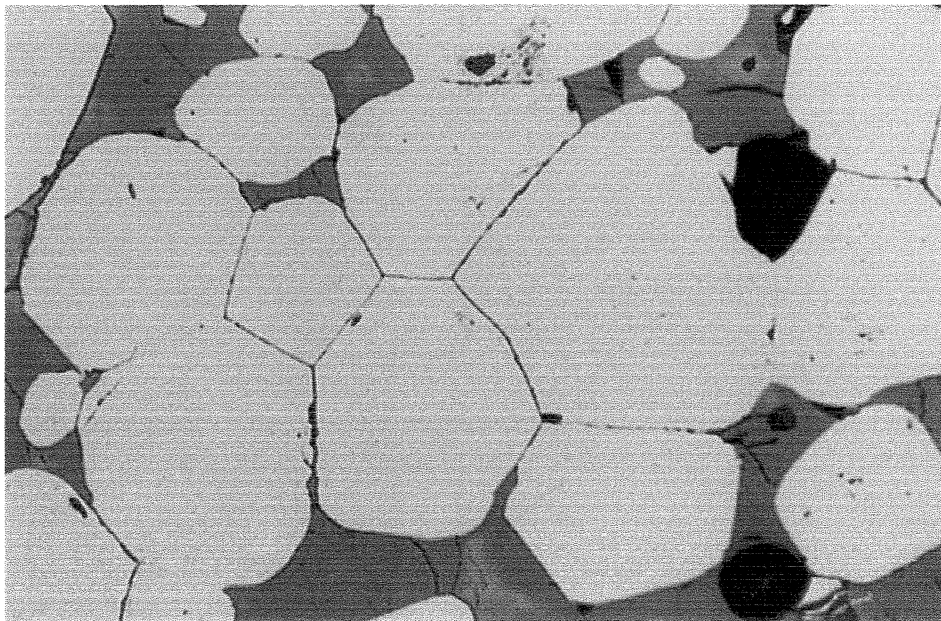
Description mégascopique : Roche homogène de couleur gris-foncée avec une granulométrie moyenne d'environ 1 mm. Elle présente une texture de cumulat avec 90% de chromites et 10% de matériel interstitiel.

Minéralogie :

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Chromites	90	Entre 0,1 et 3 mm Forme polygonale Sub-idiomorphe
Olivine	10	Gros cristaux arrondis de 7 mm en moyenne Hypidiomorphe

Texture : Sub-ophitique → des cristaux de chromites se retrouvent dans un gros cristaux d'olivine

Nom de la roche : Chromitite à olivine



1 mm

Fiche pétrographique

Provenance : UG-2 du Complexe de Bushveld

Échantillon : UG-22

Description mégascopique : Roche hétérogène dont la première partie est de couleur blanc-gris pâle avec une granulométrie moyenne d'environ 2 mm. La deuxième partie est plutôt de couleur grise foncée et la granulométrie est plus fine (0,1 mm). La minéralogie de la première partie est quartz (20%), feldspaths (75%) et chromite (5%). Celle de la deuxième partie est chromite (80%) et matériel interstitiel de couleur blanche (20%). La texture est grenue.

Minéralogie :

Première partie

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Chromite	50	Entre 0,1 et 1 mm Polygonal à sphérique En inclusion dans ol. et pl.
Plagioclases	25	Entre 5 et 7 mm Hypidiomorphe tabulaire Pas altérés
Olivine	25	7 mm en moyenne xénomorphe pas altérés Fractures radiales p/r aux inclusions de chromites
Biotite	En trace	

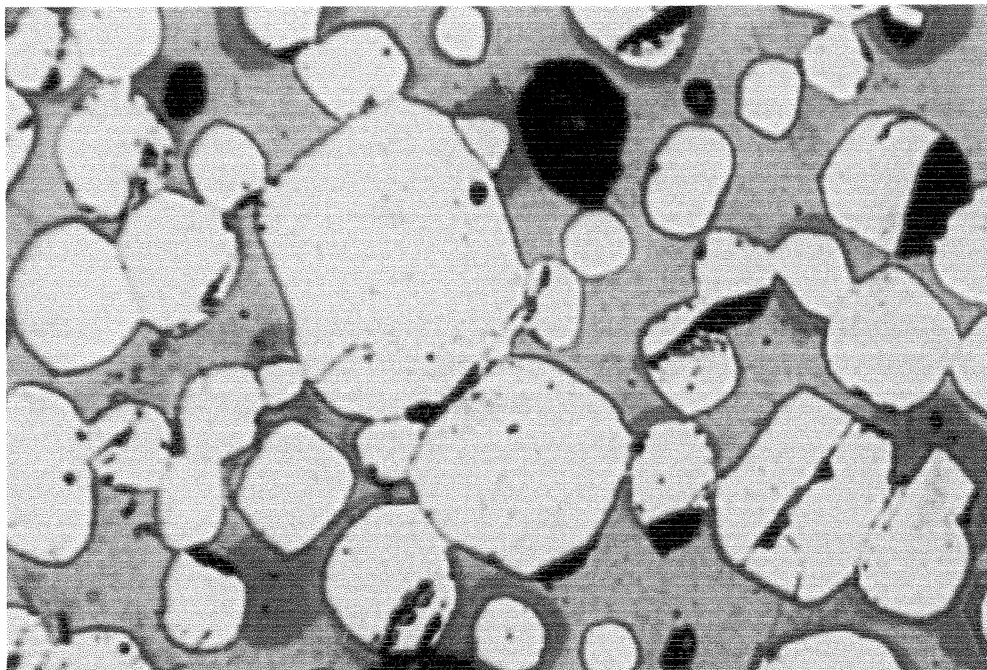
Deuxième partie

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Plagioclases	95	Entre 0,5 et 3 mm Hypidiomorphe tabulaire Pas altérés An ₅₅ Inclusions de chromites
Chromites	3	0,2 mm hypidiomorphe cubique à sphérique

		parfois entourés de biotite
Olivines	2	<1mm xénomorphe

Texture: La première partie présente une texture sub-ophitique avec des chromites à l'intérieur des plagioclases. Quant à la deuxième partie, il s'agit d'une texture de cumulat de plagioclases.

Nom de la roche : Il s'agit d'une séquence anorthosite / chromitite



0,5 mm

Fiche pétrographique

Provenance : UG-2 du Complexe de Bushveld

Échantillon : UG-23

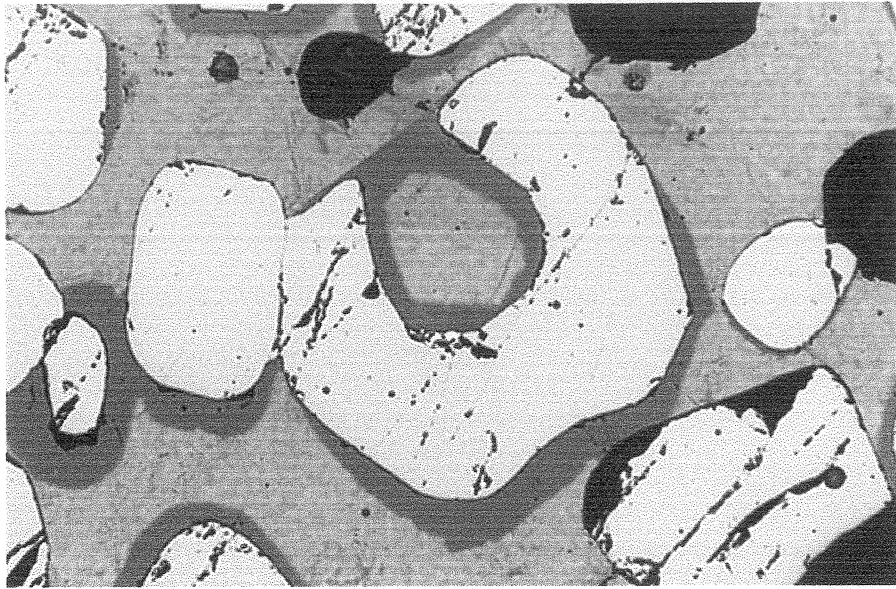
Description mégascopiques : Roche homogène de couleur grise foncée avec une granulométrie fine d'environ 0,3 mm. La minéralogie se résume à 80% de chromites et 20% de matériel interstitiel. La texture est grenue et des textures sub-ophitiques sont visibles.

Minéralogie :

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Chromites	40	Entre 0,3 et 1 mm Hypidiomorphe polygonal à sphérique
Plagioclases	40	> ou = à 7 mm xénomorphe maclés inclusion de Chromites
Olivine	20	1 cm xénomorphe pas altérés inclusion de chromites
Biotite	En trace	

Texture : sub-ophitique → Grains de chromites inclus dans les plagioclases et les olivines

Nom de la roche : Chromitite à plagioclases et olivines



1 mm

Fiche pétrographique

Provenance : Merensky reef du Complexe de Bushveld

Échantillon : Mr-5

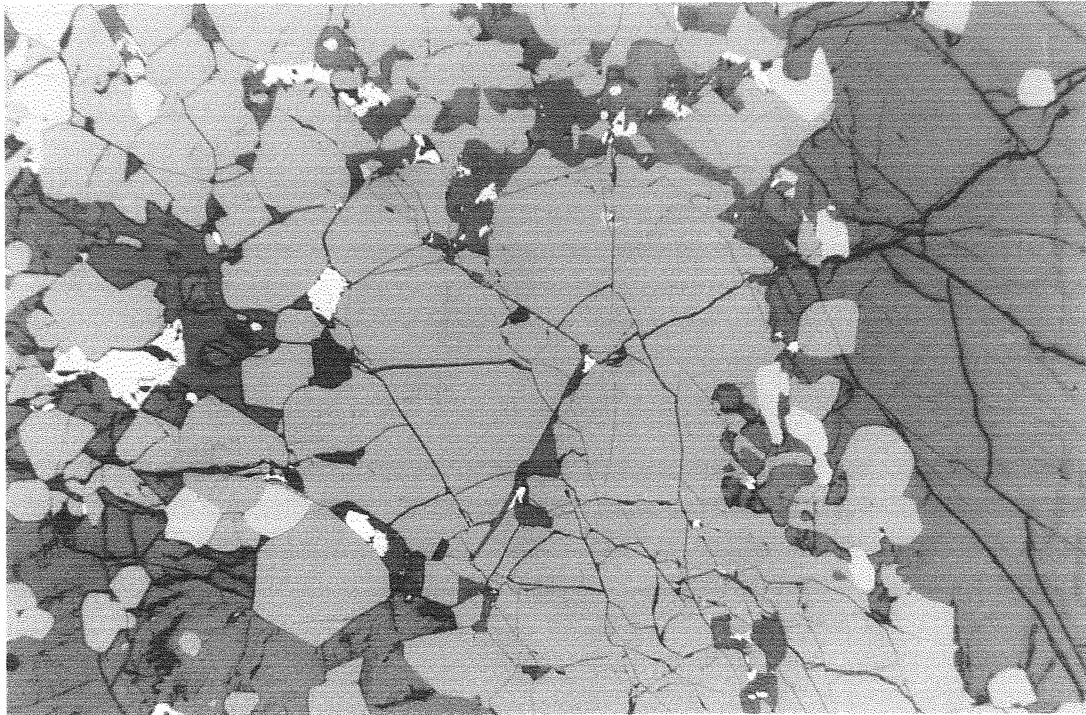
Description mégascopique : Roche homogène grise avec quelques filonnets blancs et dorés. La granulométrie est un mélange de grains grossiers (1 cm) et de grains fins (0,5 mm) situés entre les plus gros. La minéralogie est comme suit : sulfures (5%), feldspaths (30%), pyroxènes (50%) et des chromites (15%). Les cristaux sont sub-idiomorphes et la texture reflète un cumulat. Les chromites sont concentrés et forment des régions plus foncées et avec un aspect métallique.

Minéralogie :

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Biotite	5	Environ 2 mm Xénomorphes (se fauillent entre les grains) En bordure des chromites
Chromite	15	Environ 0,5 mm Sub-idiomorphes Regroupés → forme une « veinule » où les grains sont plus petits, plus cubiques et plus dispersés en bordure et plus trappus et entassés au centre
Quartz	5	Forment des veinules de 0,3 mm de largeur et qui recourent tous les minéraux
Plagioclases	25	Entre 1 et 5 mm Xénomorphes (remplissent des vides) Un peu altérés Inclusion de chromites
Hyperstènes	50	Environ 3 mm Hypidiomorphe Craquelures Quelque peu serpentinisés Inclusion de chromites et de plagioclases

Texture : Cumulat d'hyperstènes et de chromites et matériel interstitiel → sulfures et/ou plagioclases et/ou biotite

Nom de la roche : Mélanorite à chromites



1 mm

Fiche pétrographique

Provenance : Merensky reef du Complexe de Bushveld

Échantillon : Mr-7

Description mégascopique : Roche hétérogène séparée en trois parties. La première est riche en feldspaths (20% et granulométrie = 2 mm) et en pyroxènes (80% et granulométrie = 2 mm). La deuxième partie est riche en chromites (100% et granulométrie = 2 mm). Enfin, la troisième partie est riche en plagioclases (90% et granulométrie = 1 cm) et possède un peu de biotite (10% et granulométrie = 1 cm). Les textures sont des textures de cumulats dans tous les cas. L'épaisseur du lit de chromites est de 2,5 cm. La couleur de la première partie est blanc et brun marbré. Celle de la deuxième partie est noir-gris foncé et en fin, celle de la troisième partie est brun et blanc.

Minéralogie :

Première partie

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Hyperstènes	80	Environ 3 mm Hypidiomorphe Craquelures et altérations
Plagioclases	10	Matériel interstitiel 2 à 3 mm xénomorphes
Sulfures	5	Xénomorphes Matériel interstitiel 2 à 3 mm
Biotite	5	Xénomorphe 1 à 2 mm en inclusion dans les pyroxènes matériel interstitiel

Deuxième partie

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Chromites	75	Entre 0,3 et 3 mm Sub-idiomorphes Parfois textures lobées avec inclusions de pl ou de opx

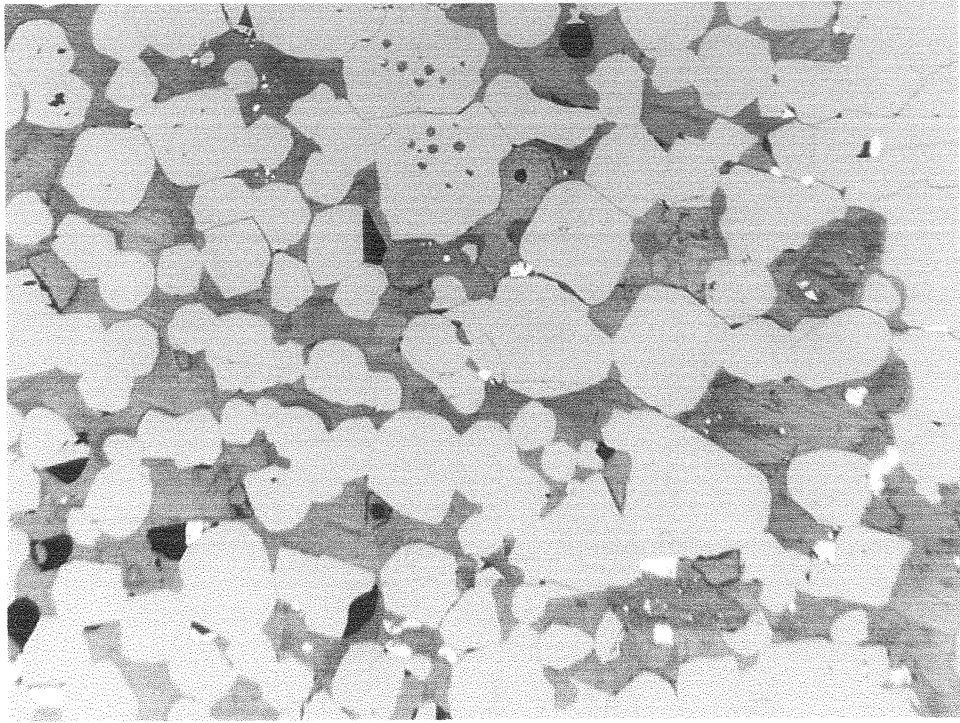
Sulfures	5	Matériel interstitiel Xénomorphe 2 à 3 mm
Hyperstènes	10	Texture sub-ophitique avec chromites (à l'intérieur) 2 mm environ
plagioclases	10	Texture sub-ophitique avec chromites 1 mm environ

Troisième partie

Minéraux	Pourcentage	Caractéristiques
Plagioclases	90	1 mm hypidiomorphes maclés
Biotites	10	Allongés 1 mm

Texture : Il s'agit de cumulat de hyperstènes pour la première partie, de chromite pour la deuxième partie et de plagioclases pour la troisième partie.

Nom de la roche : Il s'agit d'une séquence d'orthopyroxénites à plagioclases suivie d'une chromitite et d'une anorthosite.



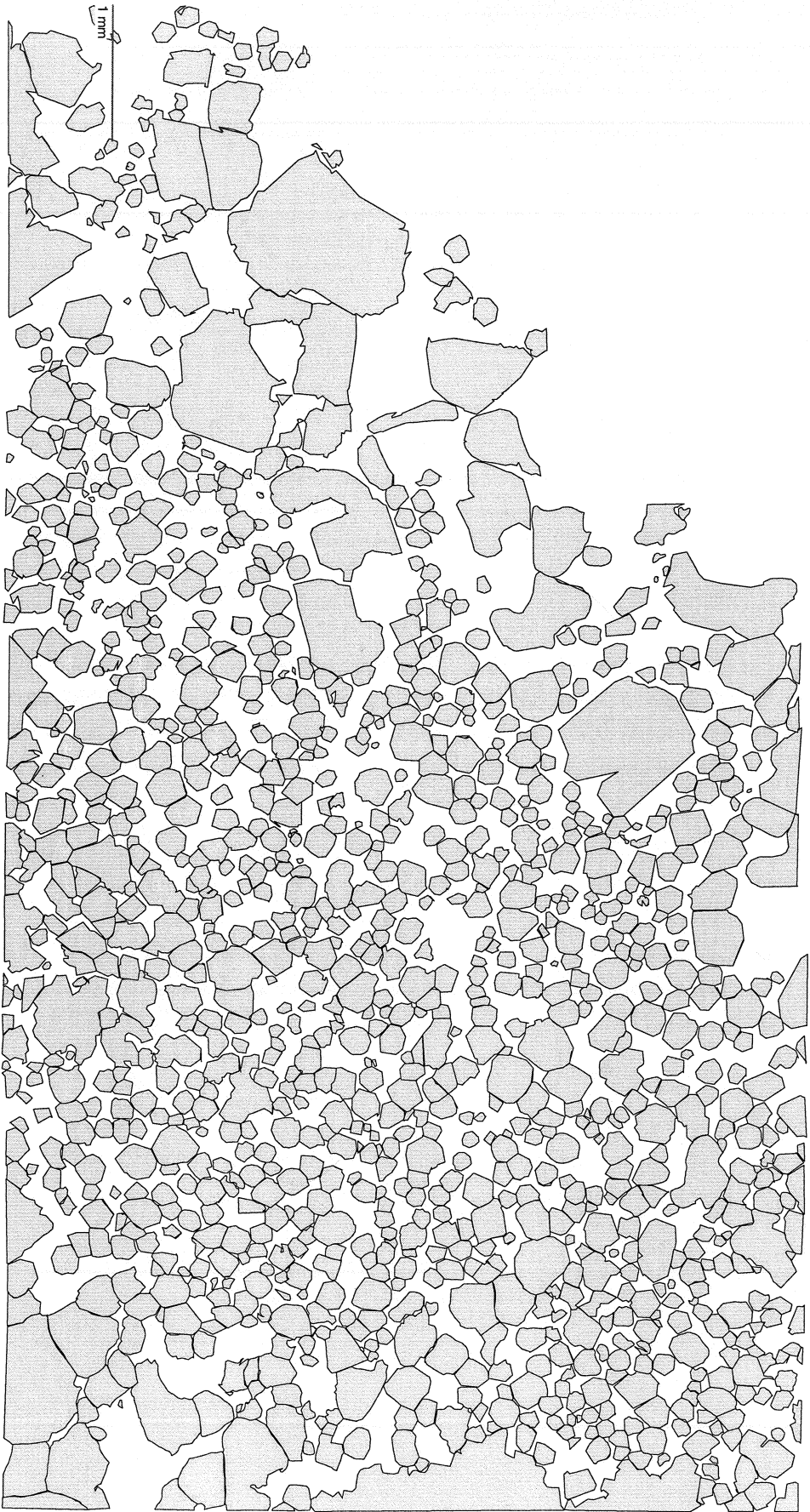
1 mm

merensky reef
MR-5



1 mm

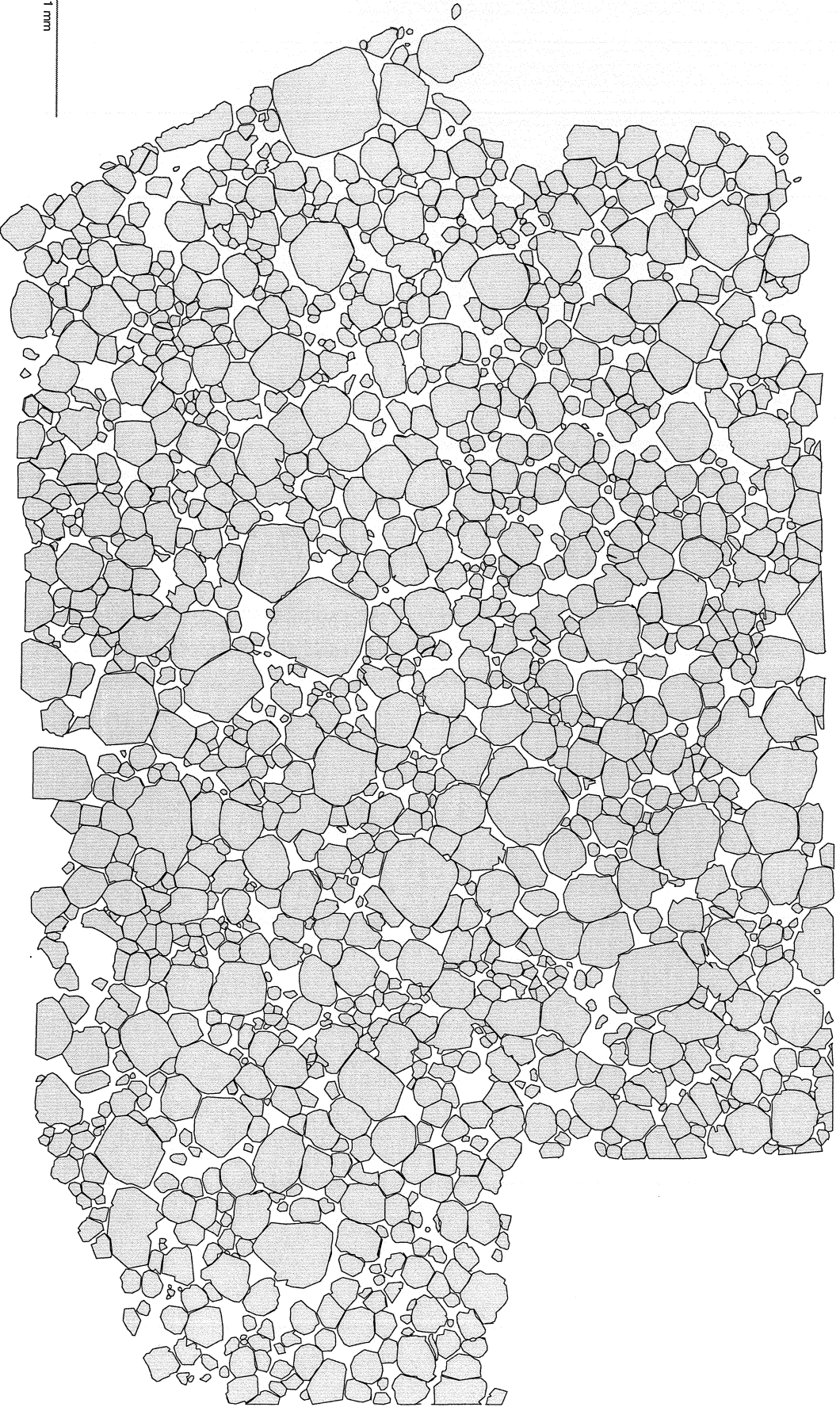
merensky reef
MR-7



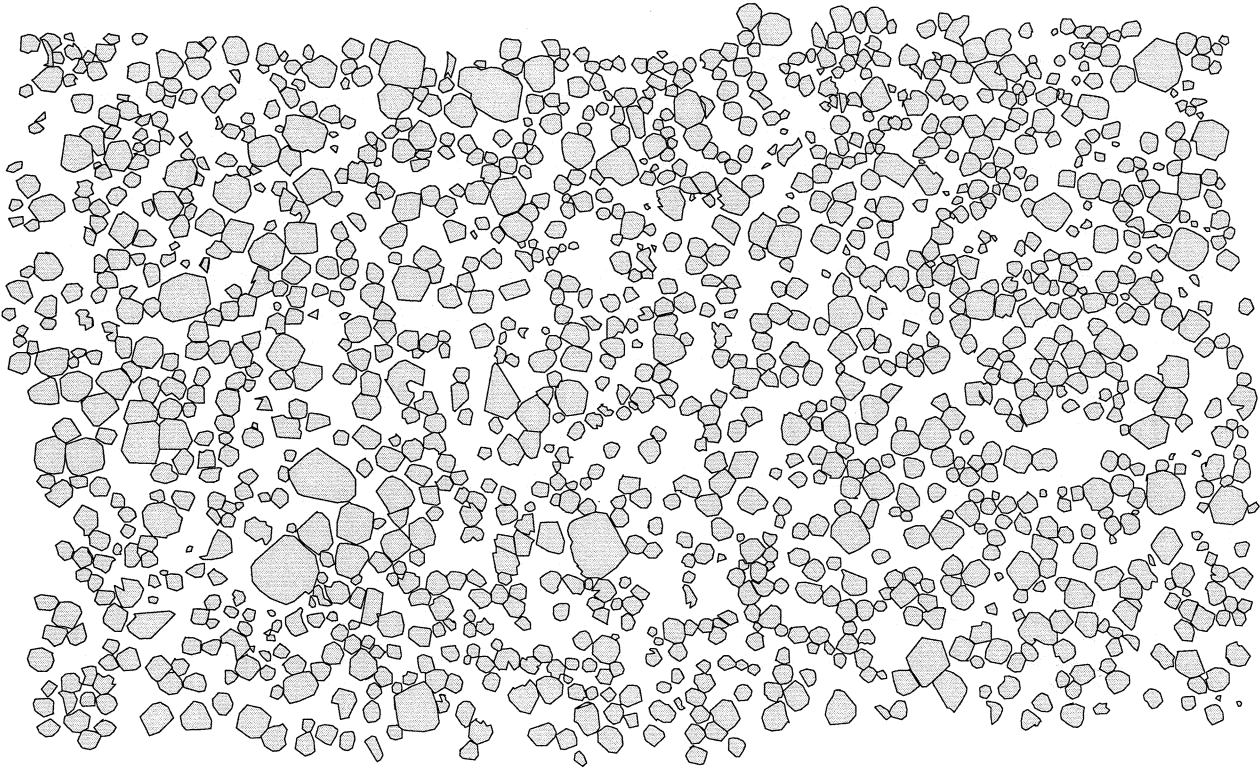
Jan

F

UG-2
UG-21

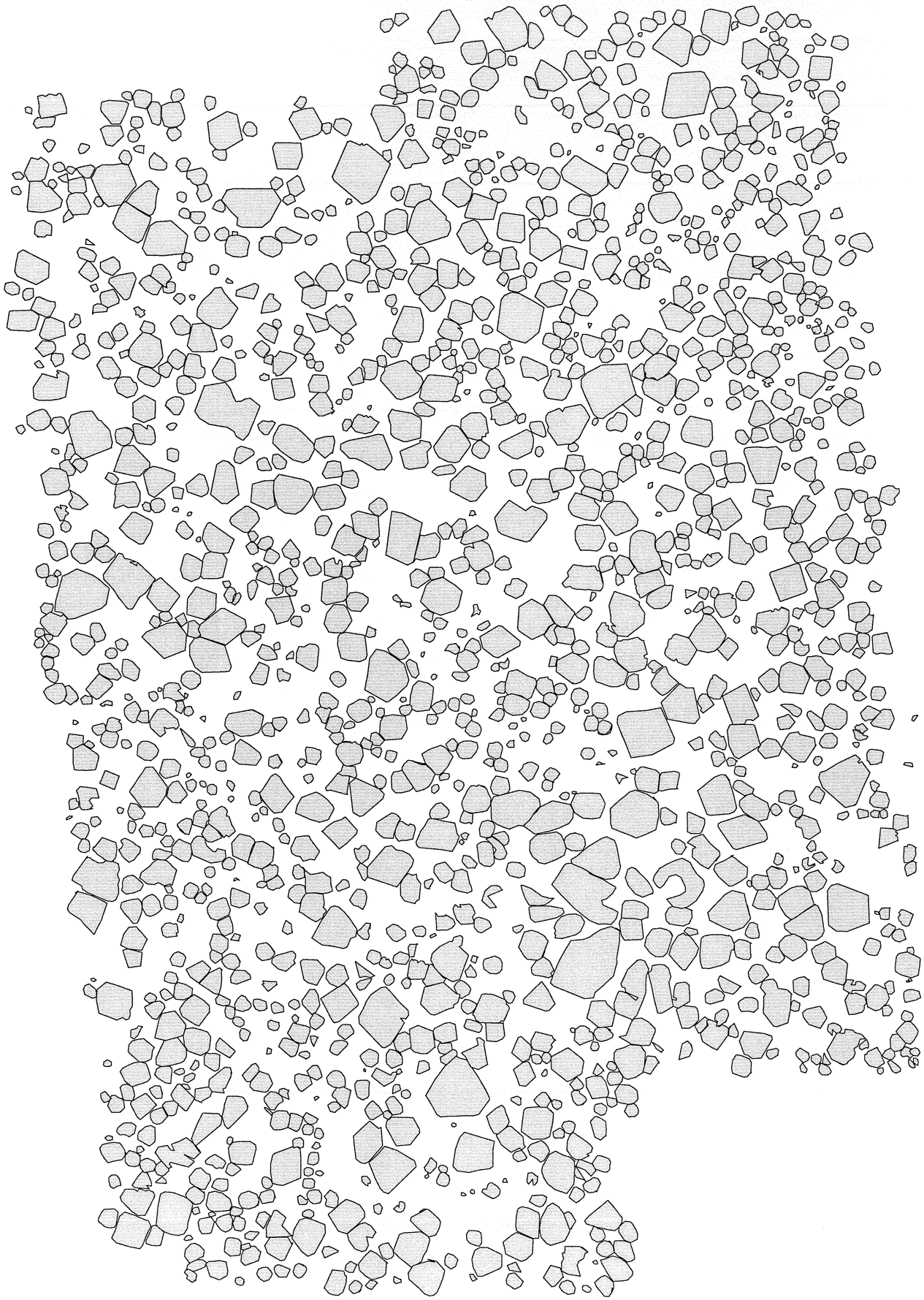


1 mm



UG-2
UG-22

1 mm



ug-2
UG-23

