

## **Étude texturale des chromitites paléoprotérozoïques de la Région de Makalondi, Province du Liptako nigérien, Ouest Niger : Origine et condition de mise en place**

**Hamidou GARBA SALEY\*, Moussa KONATE et Amadou SOUMAILA**

*Université Abdou Moumouni de Niamey, Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Géologie, Eaux Souterraines et Géoressources, BP 10662 Niamey, Niger*

\* Correspondance, courriel : [hamidougarbasaley@gmail.com](mailto:hamidougarbasaley@gmail.com)

### **Résumé**

Les plutonites basiques à ultrabasiques de la ceinture paléoprotérozoïque des roches vertes de Makalondi (CRVM), à l'extrême ouest du Niger, présentent une dizaine de lentilles de chromitites. Cette contribution porte sur l'analyse texturale des chromitites. L'analyse texturale permet de déterminer le type de chromitite ainsi que son origine. L'approche méthodologique a consisté à prélever des échantillons sur le terrain, à analyser les lames minces et les sections polies de chromitites au microscope polarisant. Les lentilles de chromitites se situent au voisinage des anorthosites ou dans les plutonites ultrabasiques, métamorphosés en chloritoschiste, en serpentinites silicifiées ou en amphibolites. L'analyse microscopique a permis d'une part, de déterminer dans les chromitites une structure en foliation mylonitique et en pull-apart et d'autre part de déceler 5 types de grains de chromites. Ces derniers se sont formés dans un ordre chronologique d'évolution suivant : (1) des grains squelettiques de chromite; (2) des grains cryptocristallins (disséminés); (3) des grains de chromite riches en inclusions de silicate; (4) des chromites orbiculaires et (5) des chromites nodulaires. Les trois derniers types et les structures sont caractéristiques des chromitites podiformes. Cette étude précise que les chromitites de Makalondi sont de type podiforme, qui résulterait d'un magma sursaturé en chrome dans un contexte d'arc en zone de subduction.

**Mots-clés :** *Liptako nigérien, Makalondi, chromitite podiforme, étude texturale.*

### **Abstract**

**Textural study of the paleoproterozoic chromitites of the Makalondi Region (nigérien Liptako province, Western Niger) : origin and condition of emplacement**

The basic to ultrabasic plutonites of the Paleoproterozoic Makalondi Greenstone Belt (MGB), in the western part of Niger, is composed of about ten lenses of chromitites. This paper, which focuses on the textural analysis of the chromitites, allows to determine the types of chromitites and their origins. The methodological approach used consists of taking samples in the field, analyzing thin and polished sections of the chromitites with a polarizing microscope. The chromitite lenses are located in the vicinity of anorthosites or in the ultrabasic plutonites, metamorphosed into chloritoschist, silicified serpentinites or amphibolites. Microscopic analysis has allowed, on the one hand, to determine in the chromitites a mylonite foliation and pull-apart structure and, on the other hand, to highlight 5 types of chromite grains. These latter were formed in the

chronological order of evolution: (1) skeletal chromite grains; (2) cryptocrystalline (disseminated) grains; (3) chromite grains rich in silicate inclusions; (4) orbicular chromites and (5) nodular chromites. The last three types and structures are characteristic of podiform chromites. This study shows that Makalondi's chromitites are podiform type, which would result from a chromium supersaturated magma in an arc context subduction zone.

**Keywords :** *nigérien Liptako, Makalondi, podiform chromitite, textural study.*

## 1. Introduction

Les minéralisations en chrome ont été décrites dans plusieurs régions du monde: en Inde [1], en Afrique du Sud [2 - 4], au Maroc [5], en Côte d'Ivoire [6], en Algérie [7, 8], au Bénin [9] etc. Les minéralisations de chromite se présentent soit sous forme alluvio-éluvionnaire, soit sous forme métamorphique (Ouvrovite, grenatite chromifère) ou sous forme magmatique [10]. Les chromites, provenant de la cristallisation fractionnée du magma, se déposent par gravité au cours du processus de sédimentation magmatique. Les chromites magmatiques ont été classées en fonction de la forme du gisement [10] : (1) les gisements stratiformes dans les roches ultrabasiques à basiques (de type Bushveld) ; (2) les corps podiformes dans les complexes ophiolitiques (dans les péridotites de type alpin) et (3) les dépôts concentriques de chrome-platinum (de type Alaska). Ces types de gisement se distinguent par certains caractères, notamment par leur texture (forme des grains de chromites) [11]. L'étude des grains de chromite permet non seulement de connaître le type de gisement mais aussi de déterminer la relation de celui-ci par rapport aux lignes d'écoulement mantellique [11]. Dans la province du Liptako nigérien, correspondant à la portion Nord-Est de la dorsale de Man, des méta-volcanites et des méta-plutonites basiques à ultrabasiques ont été décrits dans la ceinture de roches vertes de la Sirba et celle Diagorou-Darbani. Ces roches basiques à ultrabasique ont été mise en place dans un contexte d'arc insulaire océanique [12 - 16]. Dans la ceinture de roche vertes de Makalondi (CRVM) (Sud de la province du Liptako Niger) il a été noté des plutonites basiques à ultrabasiques. Dans les roches ultrabasiques de la partie ouest de la région de Makalondi (la zone d'étude) affleure une dizaine de lentilles de chromitites. Les seuls travaux géologiques réalisés dans cette région remontent à ceux entrepris depuis les années 1960 [17 - 19]. Ces travaux ont porté essentiellement sur des analyses pétrographiques et géochimiques des échantillons de chromitites et de leurs encaissants. Ainsi, les dosages géochimiques réalisés ont donné des teneurs maximales de 31 % [17] et de 17,35 % [19]. Il faut noter qu'aucune étude pétrographique de détail, qui devrait permettre de préciser le type de gisement ainsi que le contexte de mise en place, n'a été entreprise. Cette contribution vise à pallier cette insuffisance. Elle se focalise sur une étude texturale des chromitites, permettant de déterminer leur contexte de mise en place dans le contexte régional. Les objectifs spécifiques de cette étude consistent à :

- Déterminer les caractéristiques pétrostructurales des formations encaissantes des lentilles de chromitites de Makalondi ;
- Analyser les lentilles de chromitites de Makalondi ;
- Proposer un modèle de mise en place des lentilles de chromitites.

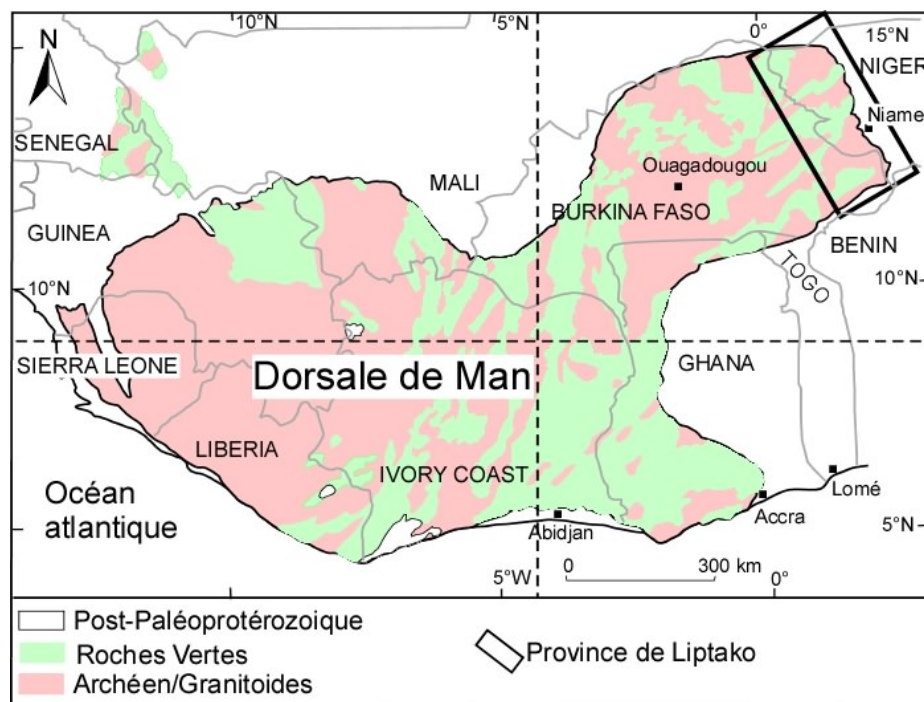
## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Présentation et contexte géologique du Liptako nigérien

Le Liptako nigérien correspond à la portion Nord-Est de la dorsale de Man (*Figure 1*) du Craton Ouest-Africain qui stabilisé depuis 1700 Ma. Les anciens travaux de reconnaissance géologique [17 - 19] et divers travaux ultérieurs ont contribué à l'amélioration des connaissances sur l'évolution géodynamique du Liptako [12 - 16, 20 - 27]. Ainsi, la

géologie de la province du Liptako nigérien est marquée par la présence de deux principaux ensembles géologiques distincts :

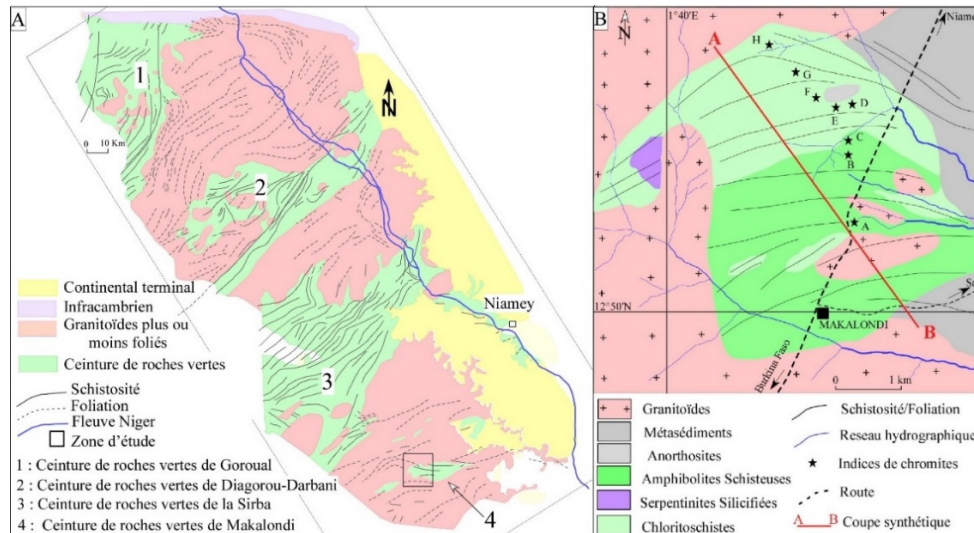
- Le socle, d'âge paléoprotérozoïque 2300 à 2000 Ma [13] qui comprend des plutons granitoïdiques alternant avec les ceintures de roches vertes ;
- La couverture sédimentaire qui regroupe des formations infracambriennes, oligocènes du Continental terminal et des dépôts quaternaires.



**Figure 1 :** Carte géologique simplifiée de la dorsale de Man [28]

## 2-2. Présentation et contexte géologique de la ceinture de roches vertes de Makalondi

La ceinture de roches vertes de Makalondi est située dans la partie sud du Liptako. Elle représente la quatrième ceinture birrimienne du Liptako nigérien (*Figure 2A*). Les formations de cette ceinture sont constituées de roches basiques à ultrabasiques métamorphisées (amphibolites schisteuses, talc-chloritoschistes, serpentinites silicifiées, lentilles de chromitites, anorthosites, et gabbros), de granites syntectoniques, de roches sédimentaires détritiques et leurs dérivés métamorphiques (schistes argileux, séricitochistes, grauwackes, grès, et grès quartzitiques), de filons de quartz intrusifs et de migmatites qui bordent les formations de la ceinture.



**Figure 2 :** (A) Localisation de la zone d'étude dans la province du Liptako nigérien ([18], modifié) et (B) Carte sectorielle avec la distribution des indices de chromite

### 2-3. Outils et méthodologie d'étude

L'approche méthodologique mise en œuvre pour mener cette étude a consisté en des travaux de terrain et de laboratoire. Les investigations menées sur le terrain, dans le secteur d'étude, ont été réalisées à l'aide du matériel classique de géologue (marteau, loupe, boussole, GPS, etc.). Elles ont consisté à identifier, à décrire les lithofaciès du secteur, à mesurer les structures tectoniques et à prélever des échantillons. Ces travaux de terrain ont abouti au lever de coupes géologiques et à la réalisation d'une carte géologique sectorielle (**Figure 2B**). Au laboratoire, les échantillons de chromitite prélevés ont été utilisés pour la confection de quinze (15) lames minces et de six (6) sections polies. Les lames minces et les sections polies obtenues ont été examinées au microscope polarisant, au Laboratoire de Géologie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger). L'analyse au microscope polarisant a permis de préciser la composition minéralogique des chromitites et de leur encaissant ainsi que la texture des chromitites et les types de grains de chromites. La compilation des résultats de terrain avec ceux du laboratoire a permis de proposer un modèle de mise en place des chromitites de la ceinture de roches vertes de Makalondi.

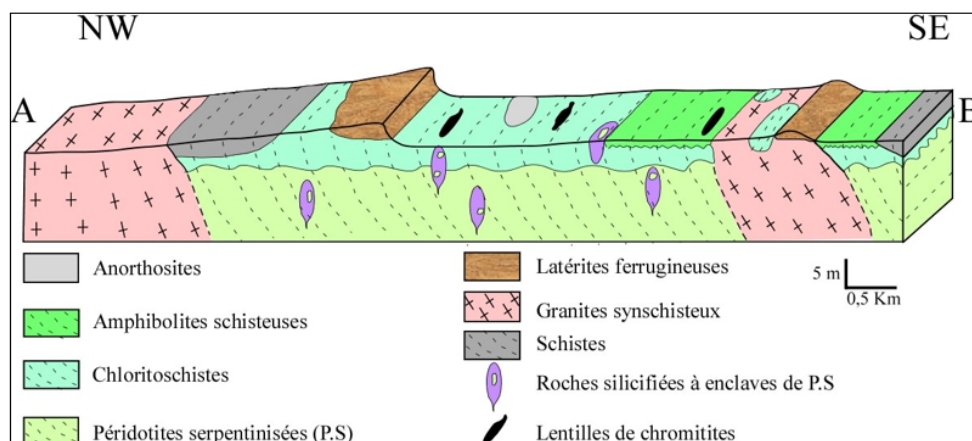
## 3. Résultats et discussion

### 3-1. Résultat

#### 3-1-1. Pétrographie des lentilles de chromitites et de leur encaissant

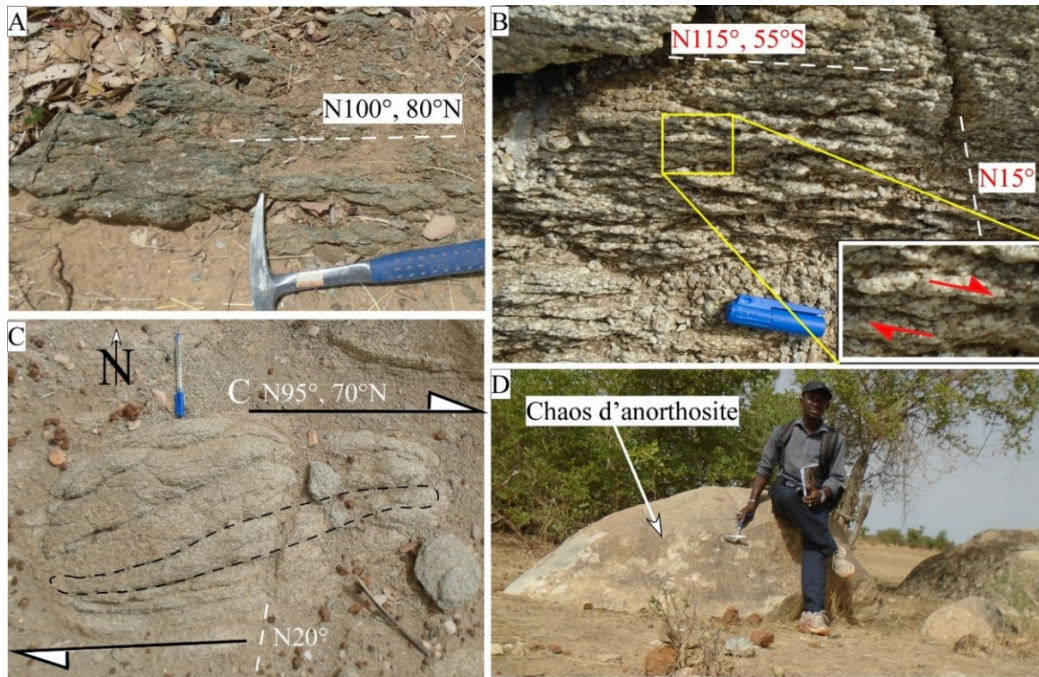
##### 3-1-1-1. Les roches encaissantes des chromitites

Les coupes géologiques réalisées dans le secteur d'étude ont permis de déterminer les directions de la schistosité (globalement E-W) et de préciser les différents types d'encaissants des lentilles de chromitites qui sont : les amphibolites schisteuses, les chloritoschistes (clinocllore), les anorthosites et les serpentinites silicifiées (**Figure 3**).

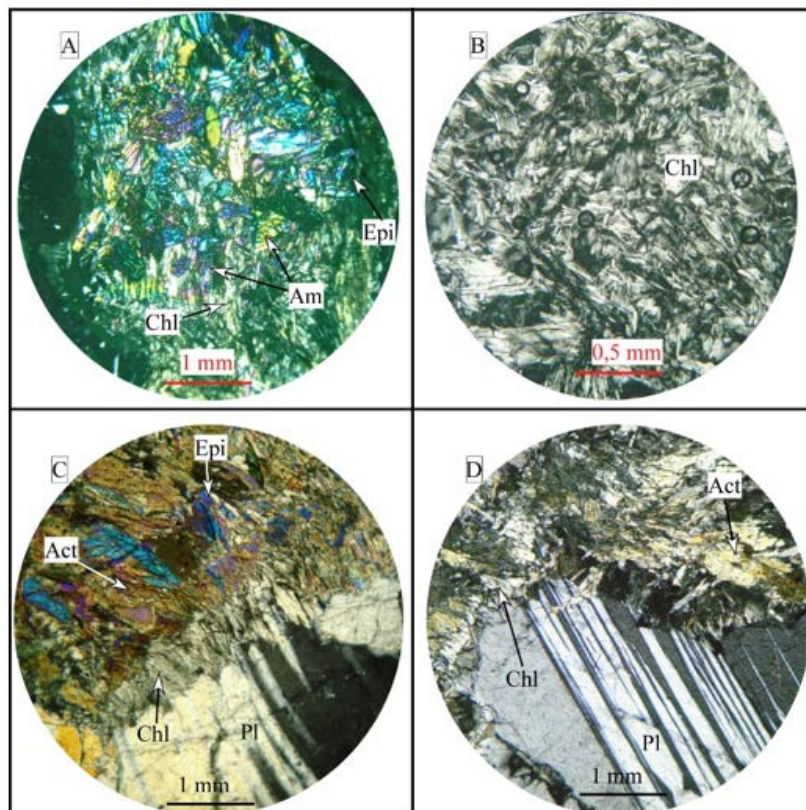


**Figure 3 :** Bloc diagramme de la coupe synthétique de la partie nord du secteur de Makalondi

- **Amphibolites schisteuses :** Les amphibolites schisteuses, de texture grossière, sont de couleur vert-sombre. Elles présentent un aspect soyeux au toucher (**Figure 4A**). Macroscopiquement, elles sont constituées d'amphibole, de chlorite, de talc, d'oxydes et de rares plagioclases, généralement altérés. Localement les amphibolites sont intrudées par des granites syn-schisteux, mylonitiques, à fabrique S/C dextre (**Figure 4B et 4C**). L'observation microscopique (**Figure 5A**) a permis de déceler la présence d'épidote (à manteau d'arlequin) de type pistachite et aussi de préciser que l'amphibole est du type actinote. Il faut noter que l'association actinote-chlorite-épidote est caractéristique du faciès « schistes verts » [29];
- **Chloritoschistes (clinocllore) :** Les chloritoschistes sont de couleur gris-verdâtre. Ils sont constitués de chlorite magnésienne (clinocllore), de talc (soyeux au toucher), des oxydes de fer et du plagioclase présentant une altération en séricite. L'observation au microscope polarisant révèle la présence d'une texture lamellaire, localement fibreuse (**Figure 5B**);
- **Anorthosites :** Les anorthosites affleurent sous forme de blocs chaotiques isolés, de taille métrique à décamétrique (**Figure 4D**). La roche est massive, compacte, de couleur blanchâtre à grisâtre (hololeucocrate) légèrement verdâtre, à texture grenue et même porphyrique par endroit. Macroscopiquement, l'anorthosite est composée de plagioclase porphyrique et de chlorite. L'observation microscopique (**Figure 5C et 5D**) montre que les anorthosites présentent une texture grenue hétérogranulaire, comprenant des porphyres de plagioclase ( $60 < An > 68$ ) au contact desquels se présente un mélange de calcite, d'épidote (pistachite et zoisite), d'amphibole (hornblende verte) et de chlorite. Cet assemblage minéralogique provient d'une saussuritisation des plagioclases, traduisant un lessivage de Ca et un apport d'eau et de fer ferrique. Cela semble résulter d'une altération d'origine hydrothermale.

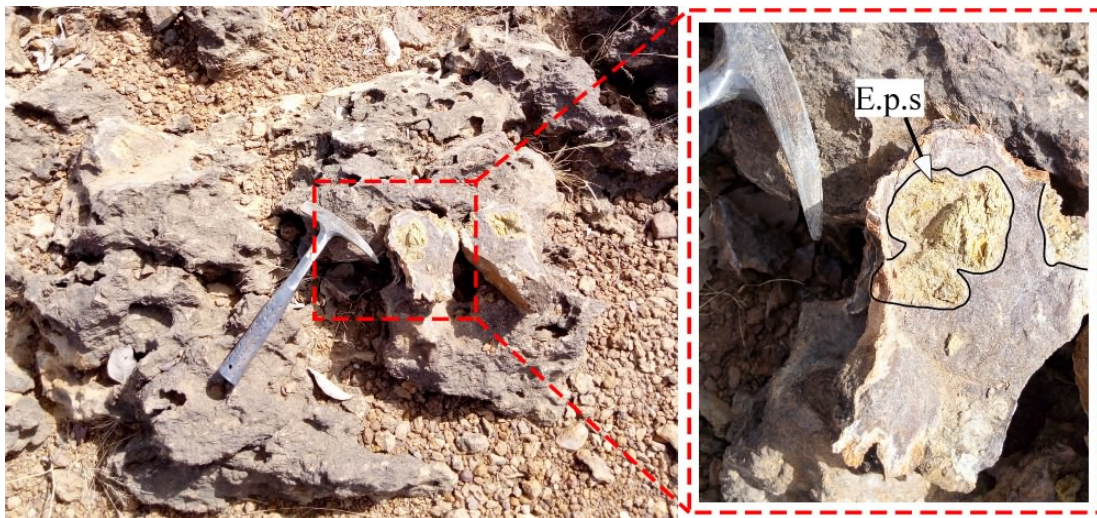


**Figure 4 :** Caractéristique de quelques affleurements : Amphibolites schisteuses ; C- et B- Granites synschisteux, mylonitiques à fabrique sigmoïde dextre ; D- Blocs chaotiques d'anorthosites de taille métrique



**Figure 5 :** Observation microscopique des lithologies encaissantes des lentilles de chromitites. Les images ont été observées au microscope polarisant (MP) en nicols croisés (Nic+) : A- Chloritoschiste (clinocllore chl); B- Amphibolite schisteux à actinote (act), chlorite (chl) et épidote (Epi); C- Anorthosite à plagioclase (pl), chlorite (chl), épidote (Epi) et amphibole (Am)

- ***Serpentinites silicifiées*** : Elles affleurent sous forme de roche silicifiée, présentant des blocs métriques à décimétriques à aspect caverneux. La roche est de couleur brun-sombre. Localement la roche présente des enclaves de serpentinites vert-jaunâtre (**Figure 6**). Ce qui explique non seulement l'aspect caverneux observé en surface de la roche dû à une dissolution sélective, mais aussi le fait que les serpentinites se trouvent en profondeur et que pendant la silicification, elles ont été arrachées puis remontées. Les roches silicifiées présentent une texture maillée au microscope polarisant. Elles sont constituées de serpentine, de magnétite, et de minéraux secondaires tels que le quartz et la calcédoine. Les serpentines sont le résultat d'une large épigénisation de l'olivine par métasomatisme. La serpentine se présente généralement en agrégats lamelleux ou fibreux et rarement en grains. Ces formes correspondent respectivement à l'antigorite, la chrysotile et au lizardite. L'abondance des serpentinites de type antigorite est indicateur d'un métamorphisme dans le faciès amphibolite [30].

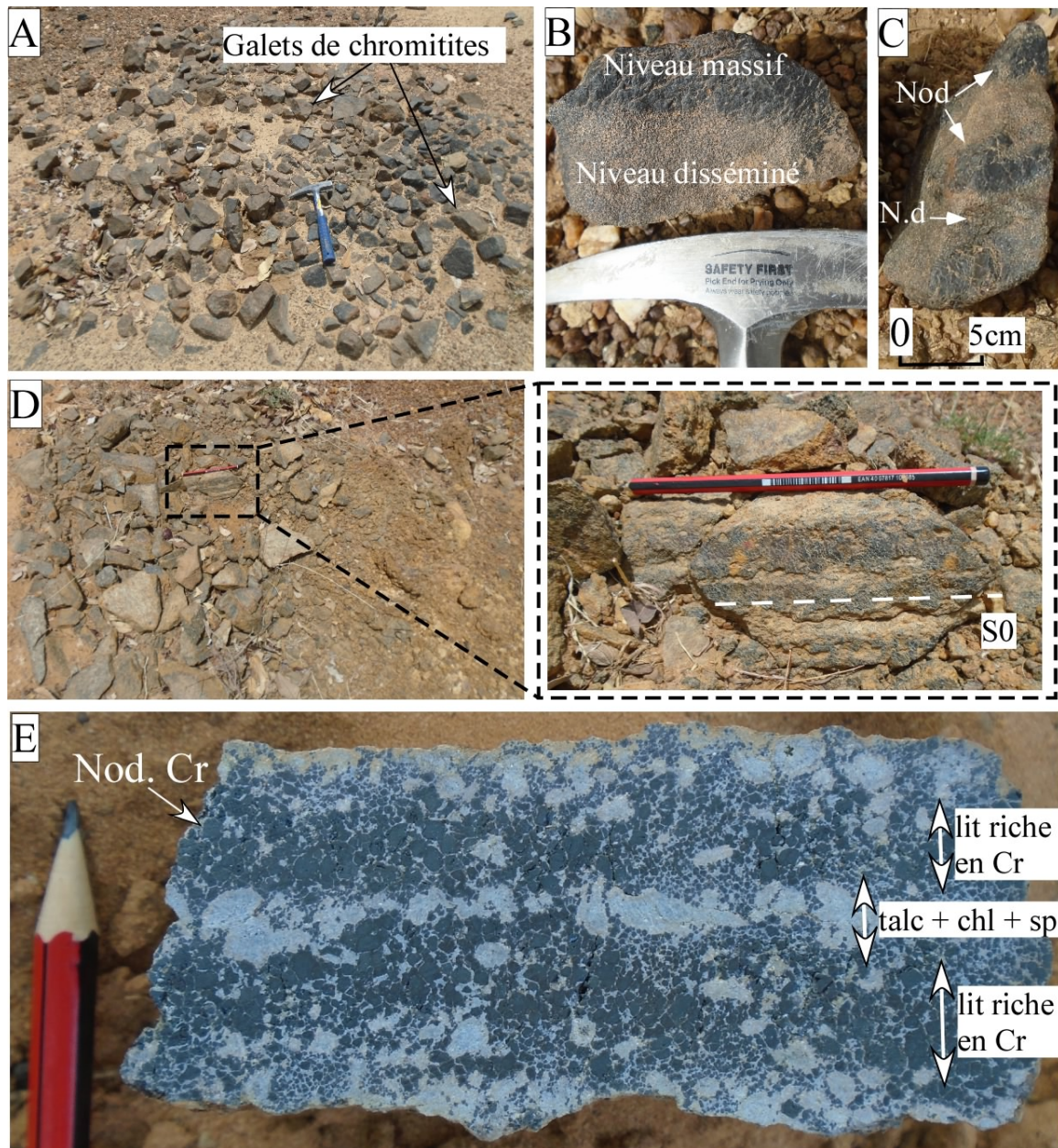


**Figure 6** : Affleurement de serpentinites silicifiées à enclaves de péridotite serpentinisée (E.P.S)

### 3-1-1-2. Lentilles de chromitites

Au Nord-Ouest de la région de Makalondi, une dizaine de lentilles de chromitites ont été découvertes depuis les années 1960 [17]. Les affleurements de ces lentilles sont de tailles décimétriques. Parmi ces lentilles de chromitite, 8 sont des lentilles alluvio-éluvionnaires (type 1) et les 2 autres, de type 2, sont magmatiques.

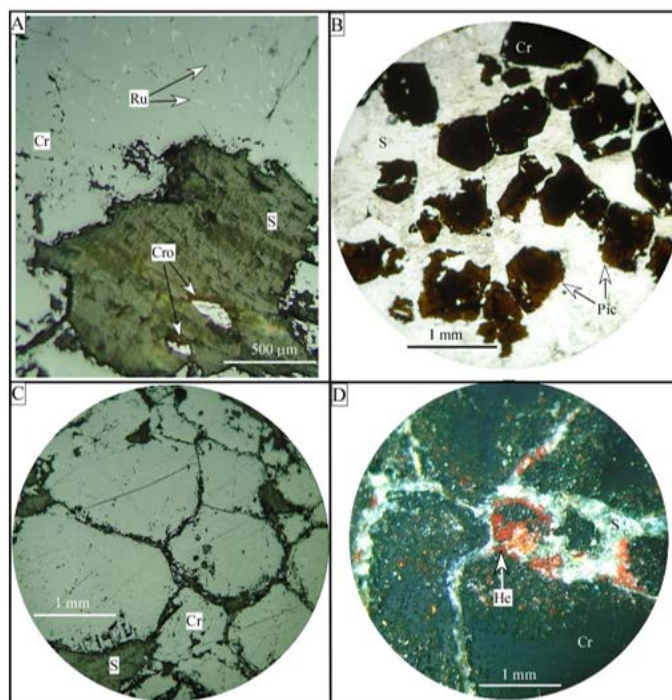
- ***Lentilles de type 1***. Les lentilles de chromitites alluvio-éluvionnaires (**Figure 7A**) sont de taille décimétrique à hectométrique. Elles se présentent sous forme de galets et de graviers disséminés. Ces galets et ces graviers sont subanguleux à anguleux, de nature chromititique (**Figure 7B et 7C**) et latéritique. Leurs tailles sont millimétriques à pluricentimétriques (jusqu'à 25 cm). Les galets de chromitites présentent une structure massive, litée, disséminée ou nodulaire. Les galets de chromitites lités présentent une alternance de lits de cristaux de chromites, (**Figure 7B**). Les galets, à nodules de chromite flottant dans une mésostase silicatée sont homogènes et massives (**Figure 7C**).
- ***Lentilles magmatiques de type 2***. Elles sont décimétriques. Les litages magmatiques sont déformés en une foliation mylonitique, renfermant des silicates (chlorite, serpentine et talc) présentant eux-mêmes une fabrique sigmoïde entre les chromites (**Figure 7D et 7E**).



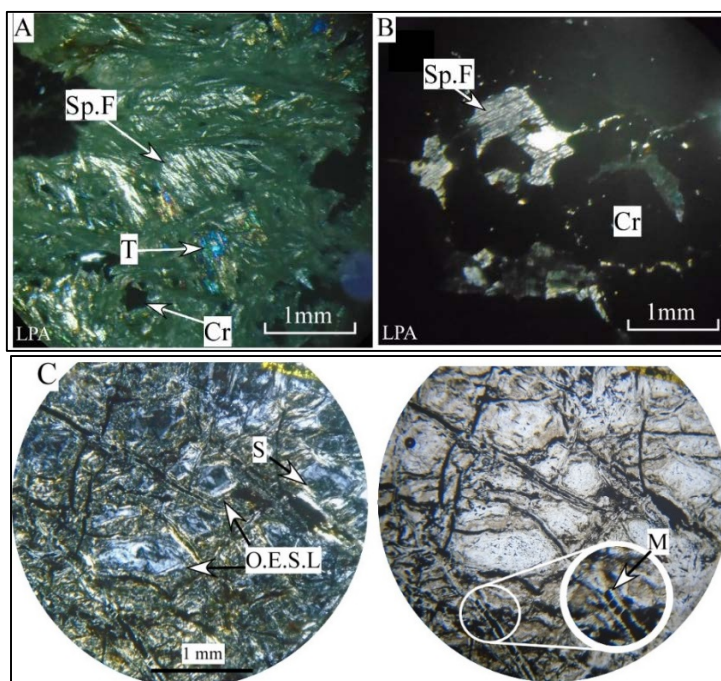
**Figure 7 :** Différents types d'affleurements de chromitites : A- Chromitite alluvio-éluvionnaire ; B- Galet de chromitite rubanée à niveau massif et à niveau disséminé (N.d) ; C- Galet de chromitite provenant d'un niveau disséminé (N.d) et des grains nodulaires (Nod) ; D- Chromitite magmatique en place présentant un litage magmatique S0 (N45°, 30°SE) ou une foliation S1 plus ou moins mylonitique (S0//S1) ; E- Texture mylonitique de la phase silicatée en l'alternance avec les lits à nodules de chromites (Nod. Cr)

Au microscope, les chromitites sont constituées de phase oxydée (**Figure 8 A-D**), renfermant des minéraux tels que : les chromites, les picotites zonés, les crocoïtes, de l'hématite secondaire, des rutilés en exsolution dans les chromites. Les chromitites renferment également une phase silicatée (**Figure 9 A-C**) constituée de chlorite magnésienne (clinochore), du talc et beaucoup de serpentine chrysotile (**Figure 9A, B**) et antigorite (**Figure 9C**). La présence de picotite, (spinelles maron) dans les péridotites est indicatrice d'un métamorphisme de moyenne pression (0,75 à 1,75 GPa), se produisant à une profondeur d'environ 50 km [29].





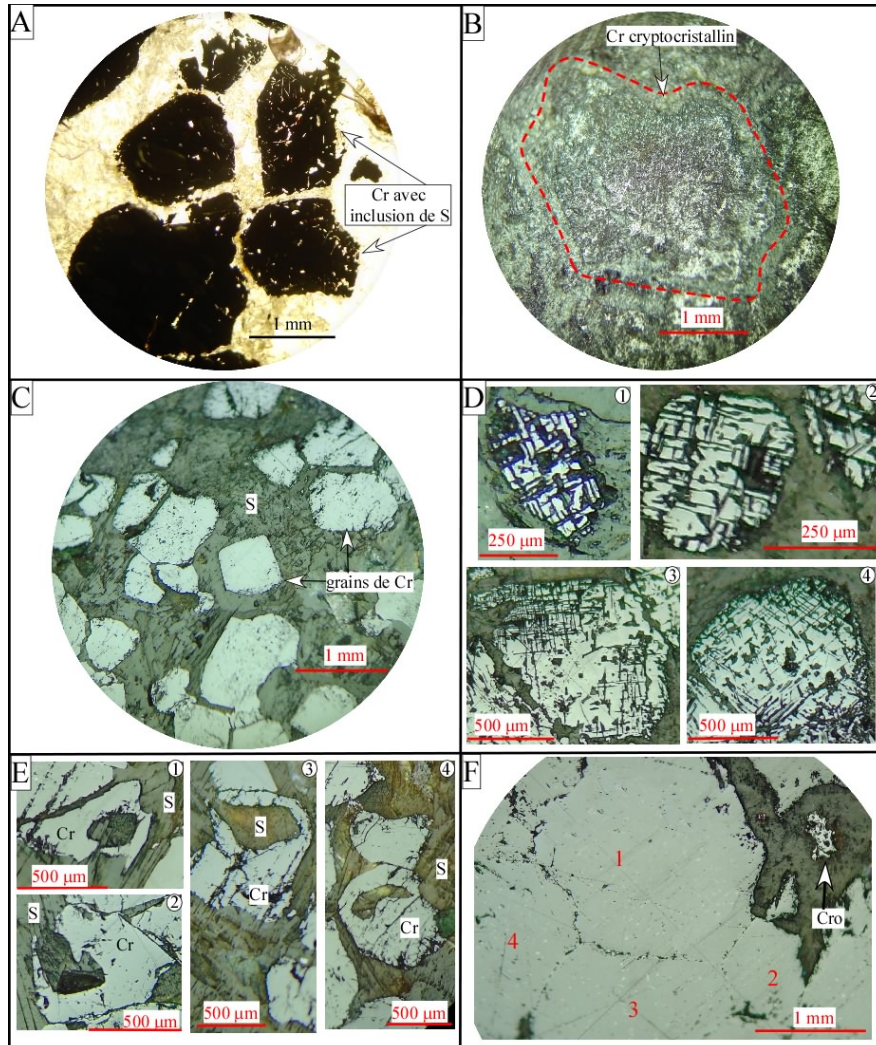
**Figure 8 :** *Différents minéraux constituant les chromitites. Les images ont été observées au microscope métallographique (MM) et au microscope polarisant (MP) en nicols parallèles (Nic //) ou en nicols croisés (Nic+) : A- Rutile (Ru) en exsolution dans les chromites (Cr) associées aux crocoites (Cro); MM, Nic//; B- Picotite (Pic) zonée ; MP, Nic//; C- Grains de chromite à mésostase silicaté (S) (clinocllore, serpentine et talc); MM, Nic//; D- Altération des chromites en hématite (He); MM, Nic+*



**Figure 9 :** *Observation microscopique de la phase silicatée des lentilles de chromitites. Les images ont été observées au microscope polarisant (MP) en nicols croisés (Nic+) ou en nicols croisés (Nic+) : A- Serpentinite à serpentine fibreuse 'Sp.f), talc (T) et chromite (Cr); B- Chromitite à serpentine fibreuse (Sp.F); C- Serpentinite à olivine épigénisée en serpentine lamellaire (O.E.S.L), image gauche en nicols croisés (Nic+) et droite en nicols croisés (Nic+)*

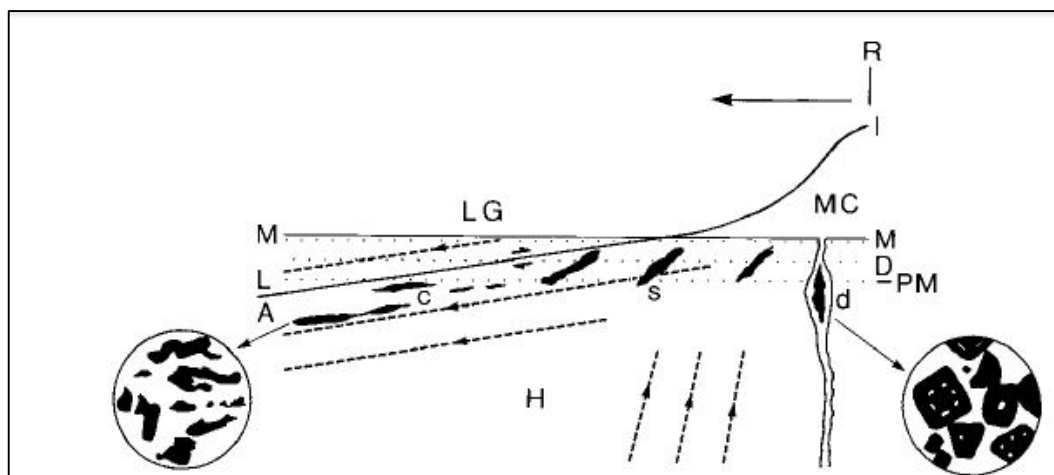
### 3-1-2. Étude texturale des chromitites

Cinq (5) types de grain de chromite ont été distingués (**Figure 10**): (1) grains de chromite avec inclusions de cristaux de silicate (clinocllore), (2) grains cryptocristallins (disséminés), (3) grains de chromites squelettiques, (4) grains de chromites orbiculaires et des (5) grains de chromites nodulaires.



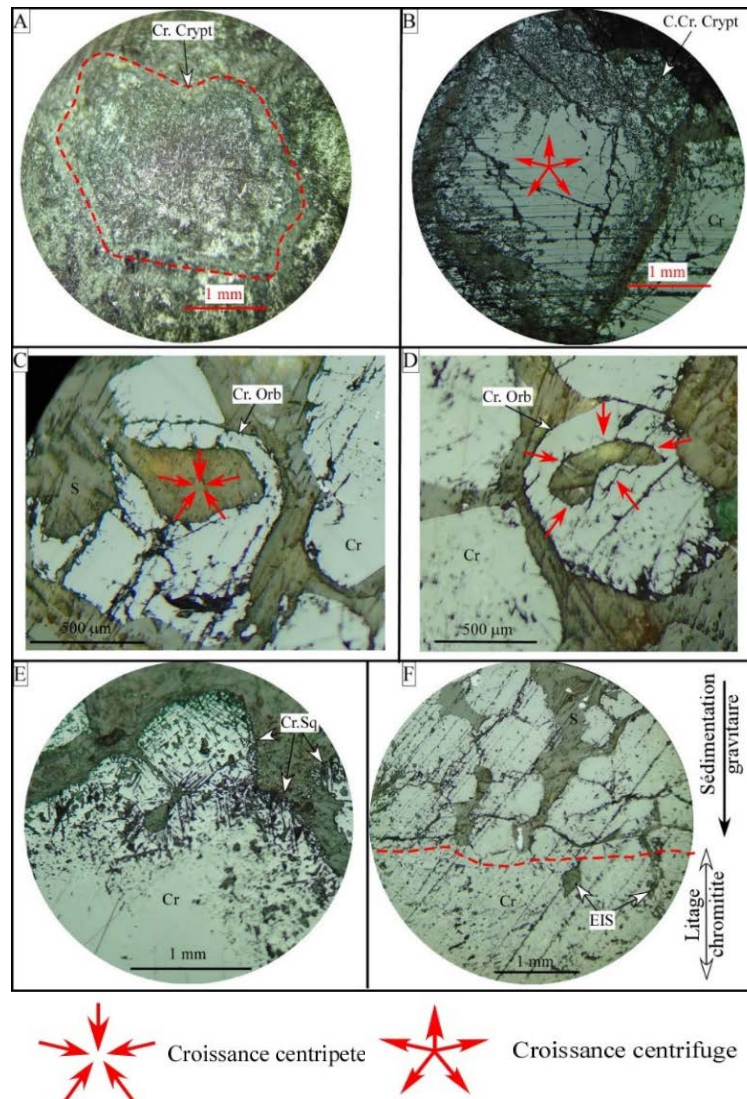
**Figure 10 :** Différents types de grain de chromites provenant des lentilles chromitites de Makalondi. En dehors de l'image A qui est une de vue au MP, toutes les autres proviennent du microscope métallographique (MM): A- Grain de chromite (Cr) à inclusion de silicate (S); Nic //; B- Grain cryptocristallin (Crypt); Nic //; C- Grain de chromite subautomorphe à xénomorphe; Nic //; D- Grain de chromite squelettique (Sg) avec les structures en cage de moins en moins développé de 1 à 4; Nic //; E- Grains orbiculaire de 1 à 4. Nicols parallèle //; F- Coalescence de 4 grains de chromite pour former un nodule; Nic //

- ✓ **Grains de chromite à inclusion silicatée (Figure 10 A)** Les grains de chromite avec inclusion de cristaux de silicate (serpentine, clinocllore et talc) se présentent en grains polis, automorphes à subautomorphes et parfois subarrondis. Ce type de grain caractérise les chromitites podiformes discordants aux lignes d'écoulement mantellique [31] (**Figure 11**).



**Figure 11 :** Schéma simplifié des positions des chromites podiformes [31]. (d) Discordant, (S) Subconcordant; (C) Concordant, (M) Discontinuité de Moho; (MP) Moho pétrologique; (GL) Gabbro lité; (MC) Chambre magmatique; (R) Ridge; (H) Harzburgite; (D) Dunitique; (L) Lithosphère, (A) Asthénosphère

- ✓ **Grains de chromites disséminés (Figure 10B).** Les grains disséminés sont généralement xénomorphes, en très petits cristaux isolés dans la phase silicatée. Ils sont également observés à la périphérie des grains subautomorphes;
- ✓ **Chromites squelettiques (Figure 10D).** Elles présentent des grains avec des structures en cage qui montrent un développement par croissance centrifuge : localement au cours d'une première étape, tout le grain présente une structure en cage. A un stade avancé chaque grain présente un cœur bon poli alors que la périphérie garde encore sa structure en cage (Figure 10 D). Cette croissance centrifuge s'observe également chez les grains cryptocristallins qui montrent à certain niveau de croissance un grain à cœur bon poli pendant que la périphérie reste encore cryptocristalline (Figure 12A et 12B);
- ✓ **Chromites orbiculaires (Figure 10 E).** Ce sont des grains de chromites qui présentent un cœur silicaté et un cortex de chromite massive, les orbicules se développent de façon centripète avec une bordure bien cristallisée pendant que le cœur reste encore silicaté (Figure 12C et 12D). Les chromites orbiculaires sont des structures typiques des chromites podiformes [11, 32];
- ✓ **Nodules mises en place par agglomération (Figure 10F).** Dans la chambre magmatique, pendant le mouvement vertical descendant gravitaire des chromites, certains grains s'agglomèrent pour former des nodules ovoïdes xénomorphes. Localement, la coalescence est tellement parfaite qu'on a du mal à délimiter les individus coalescents (Figure 12E et 12F). Cette agglomération des grains de chromite est également possible pendant le fluage, soit au fond de la chambre magmatique, soit pendant la circulation ascendante et turbulente du magma dans les conduits intra-péridotites mantelliques. Par sédimentation magmatique, le mouvement vertical conduit à la formation de lits très riches en chromites observés sur les affleurements et au microscope (Figure 12F). Les chromites nodulaires caractérisent des chromitites des ophiolites podiformes [11, 32, 33].



**Figure 12 :** Différents type de croissance des grains de chromite. Les images sont prises au microscope métallographique (MM) : A- Grains disséminés constitués de chromites (Cr) cryptocristallins (Crypt), Nic //; B- Grain subautomorphe résultant d'une croissance centrifuge des grains disséminés. Le cœur a un bon polis pendant que la périphérie présente une couronne (C) de chromites (Cr) cryptocristallins (Crypt), Nic //; C et D- Croissance centripète des grains orbiculaires (orb), Nic //; E- Agglomérations par coalescence des grains squelettiques (Sq) Nic //; F- Litage de chromitites formé par sédimentation gravitaire, l'agglomération des grains laisse souvent des espaces interstitielles silicatées (EIS); Nic //

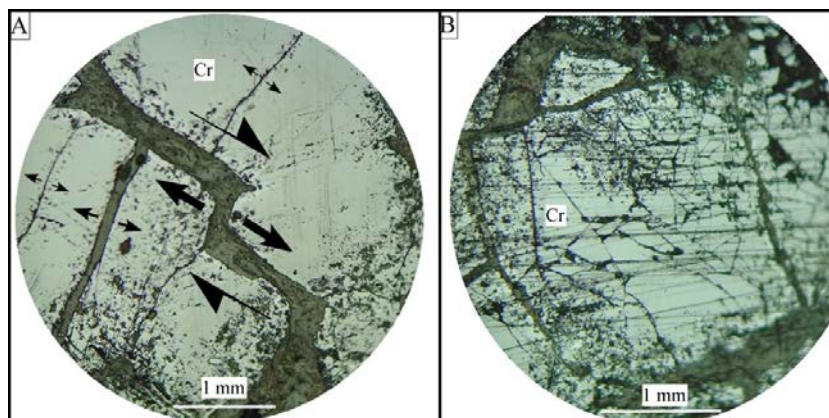
### 3-1-3. Déformation à l'échelle des cristaux

A l'échelle microscopique, deux types de déformation ont affecté les grains de chromites :

- Une première déformation ductile, caractérisée essentiellement par des foliations mylonitiques et des structures de type pull-apart (**Figure 13 A**). Les structures de type pull-apart observées dans les chromites sont interprétées comme résultant d'une extension pendant une déformation ductile [33, 34]. Certains auteurs précisent que les structures en pull-apart résulteraient d'une déformation de haute température (>1200°C) [33, 35]. La schistosité observée dans les granites syn-schisteux serait en liaison avec la formation des picotites dans les conditions de moyenne pression, tandis que

les structures en pull-apart des lentilles de chromitites seraient associées aux conditions de hautes températures ;

- Une seconde phase de déformation cassante caractérisée par la présence des grains de chromite cataclasés (*Figure 13 B*).



**Figure 13 :** Déformations microscopiques : A- structure de type pull-apart des grains de chromite ; MM, Nic// ; B- Déformation cataclastique des grains de chromite ; MM, Nic //

### 3-2. Discussion

Les analyses des chromitites de Makalondi ont donné 5 types de grains de chromites. Les travaux réalisés par d'autres auteurs ont mis en évidence : tantôt 1 type de grain de chromite (chromite à inclusion silicatée) [31] ; tantôt 2 types (chromite disséminé et à inclusion de silicate) [36], (chromites nodulaires et orbiculaires) [37] ou encore 3 types de grains de chromites (chromites nodulaires, orbiculaires et disséminées) [11]. Un autre auteur [33] a décrit une évolution texturale en 5 étapes, identique à celle mise en évidence dans le secteur de Makalondi. Cette évolution texturale des grains de chromites du secteur de Makalondi comprend les 5 étapes suivantes :

- **Première étape** : formation de grains squelettiques de chromite. Les analyses en imagerie 3D ont montré que les chromites squelettiques se forment par croissance suivant l'axe (111), dans un magma sursaturé en chrome [11]. Il apparaît ainsi que les grains de chromite squelettique sont les premiers à se former dans les lentilles de chromitites de Makalondi.
- **Deuxième étape** : formation de grains de chromite cryptocristallins (disséminés). La croissance centrifuge des grains, sans figures d'arrachement (bons polis), issus des grains disséminés, indique qu'ils sont postérieurs aux grains de chromite cryptocristallins. Toutefois, une déformation intense permet de passer du grain automorphe au grain cryptocristallin [33].
- **Troisième étape** : mise en place des grains de chromites riches en inclusions de silicate. Ce type de grain se forme proche du solidus [36].
- **Quatrième étape** : formation de grains de chromites orbiculaires. Ces derniers se forment selon un processus de cristallisation, impliquant une syncristallisation de la chromite et de l'olivine dans des conditions plus ou moins cotectiques [37].
- **Cinquième étape** : développement de chromites nodulaires. Ce type de chromite se forme par agglomération d'autres types de grain. Ce qui permet de les placer en cinquième position. D'autres auteurs classent également ce type de grain en dernière position mais évoquent une formation par croissance au tour d'un nucleus de grain squelettique [11].

L'absence de pyroxène dans les silicates des chromitites indique que le protholite enveloppant les chromites est de type dunitique. Par conséquent la serpentine résulterait de l'altération hydrothermale des dunités (olivines). Les amphibolites schisteuses pourraient résulter d'un protholite de type pyroxénite par métamorphisme dans les conditions de faciès amphibolite, comme c'est le cas des amphibolites de Ladanka, dans l'Ouest du Niger [16]. Les foliations mylonitiques et les structures en pull-apart obtenues dans les chromitites sont typiques des chromitites podiformes [33]. Ainsi les chromitites de Makalondi résulteraient d'un magma peridotitique (dunite), en injection dans des ouvertures. Ce mode de mise en place serait cohérent avec un contexte d'arc dans une zone de subduction [33, 38, 39]. Un contexte d'arc insulaire océanique a déjà été évoqué dans le Liptako nigérien [12 - 16] et dans le reste des formations birimiennes de la dorsale de Man [10, 41].

#### 4. Conclusion

Dans les lentilles de chromitites de Makalondi, les caractères texturaux ont permis d'apprécier leurs origines et les conditions de leur mise en place : D'un point de vue textural, les chromitites sont caractérisées, suivant l'évolution de la chambre magmatique, par des textures squelettiques, disséminées, à inclusion silicaté, orbiculaires puis nodulaires. Les grains nodulaires et orbiculaires démontrent que les lentilles de chromite de Makalondi sont des chromites podiformes. La présence de texture squelettique et des grains de chromite à inclusions de silicate indique, respectivement, une sursaturation du magma originaire en chrome et une disposition discordante des chromitites podiformes. Les différents grains formés flottent dans une mésostase de protholite dunitique transformé en serpentine (antigorite et chrysotile), en clinocllore et en talc. La diversité de structures (litées, en pull-apart, mylonitiques et cataclastiques) est obtenue dans un contexte de type arc dans une zone de subduction. Les trois premières structures (structures litées, en pull-apart et mylonitiques) correspondent à une déformation ductile syn-magmatique ayant affecté ces chromitites podiformes, pendant leur mise en place dans les conditions de moyenne pression à haute température (> 1200°C).

#### Références

- [1] - B. GHOSH and R. KONAR, Textural developments in chromite deforming under eclogite-facies conditions from the Neoproterozoic Sittampundi anorthosite complex, southern India. *GEOLOGICAL JOURNAL Geol. J.*, (2011), DOI: 10.1002/gj.1316
- [2] - H. V. EALE and G. COSTIN, Crustally Contaminated Komatiite: Primary Source of the Chromitites and Marginal, Lower, and Critical Zone Magmas in a Staging Chamber Beneath the Bushveld Complex. *Economic Geology*, Vol. 107, (2012) 645 - 665. doi: 0361-0128/12/4027/645-21
- [3] - M. M. LANGA, P. J. JUGO, M. I. LEYBOURNE, D. F. GROBLER, J. ADETUNJI, H. SKOGBY, Chromite chemistry of a massive chromitite seam in the northern limb of the Bushveld Igneous Complex, South Africa: correlation with the UG-2 in the eastern and western limbs and evidence of variable assimilation of footwall rocks. *Mineralium Deposita*, (2020) 1 - 14. <https://doi.org/10.1007/s00126-020-00964-y>
- [4] - M. A. YUDOVSKAYA, G. COSTIN, V. SHILOVSKIKH, I. CHAPLYGIN, M. MCCREESH and J. KINNAIRD, Bushveld symplectic and sieve-textured chromite is a result of coupled dissolution-precipitation : a comparison with xenocrystic chromite reactions in arc basalt. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 174 (2019) 74 <https://doi.org/10.1007/s00410-019-1613-3>
- [5] - H. EL HADI et A. TABIT, Cumulats basiques et ultrabasiques du massif d'Oumarou Bou Azzer-el Graara (Anti-Atlas. Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, N°16 (1992) 1 - 7

- [6] - G. E. F. GOUEDJI, Les séquences mafiques-ultramafiques de Samapleu et leur minéralisation en Ni-Cu-EGP: un dyke nourricier du complexe lité Yacouba ; craton Archéen de Man, Ouest Côte d'Ivoire. - Thèse PhD en co-tutelle Univ. Franche Comté-Besançon /Univ. F.H. Boigny Abidjan. Soutenance Octobre 2014, (2014) 250 p.
- [7] - M. TALBI, A. BENDAOU, J. R. KIENAST et K. OUZEGANE, Le massif ultrabasique d'in allarène in ouzzal sud-hoggar occidental: étude pétrographique et minéralogique. bulletin du service géologique national, Vol. 18, N° 1 (2007) 3 - 24
- [8] - T. AUGÉ, M. JOUBERT and L. BAILLY, Typology of mafic - ultramafic complexes in Hoggar, Algeria: Implications for PGE, chromite and base-metal sulphide mineralization. *Journal of African Earth Sciences*, 63 (2012) 32 - 47. doi:10.1016/j.jafrearsci.2011.10.002
- [9] - L. ADISSIN GLODDI, R. SAÏZONOU, A. F. BRUNO, ISSIFOU A. K. FATIOU, S. YESSOUFOU et B. ADJO KANON, Geology and Geochemistry of the Chromiferous Mineralization in the External Zone of the Pan-African Dahomeyides Belt, Northwestern Benin (Gulf of Guinea, West Africa). *International Journal of Geosciences*, (2019) 1068 - 1080. <https://doi.org/10.4236/ijg.2019.1012061>
- [10] - H. G. DILL, the "chessboard" classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. *Earth-Science Reviews*, 100 (2010) 1 - 420. doi:10.1016/j.earscirev.2009.10.011
- [11] - H. M. PRICHARD, S. J. BARNES, B. GODEL, S. M. REDDY, Z. VUKMANOVIC, A. HALFPENNY, C. R. NEARY and P. C. FISHER, The structure of and origin of nodular chromite from the Troodos ophiolite, Cyprus, revealed using high-resolution X-ray computed tomography and electron backscatter diffraction, (2015)
- [12] - I. AMA SALAH, J. P. LIEGEOIS et A. POUCKET, Evolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba) : géologie, géochronologie et géochimie. *Journal of African Sciences*, Vol. 22, N° 3 (1996) 235 - 254
- [13] - A. SOUMAILA, Etude structurale, pétrographique et géochimique de la ceinture de Diagorou-Darbani, Liptako, Niger Occidental (Afrique de l'Ouest). Thèse, Univ. Franche- Comté, (2000) 56 - 203
- [14] - A. SOUMAILA, P. HENRY et M. ROSSY, Contexte de mise en place des roches basiques de la ceinture de roches vertes birimienne de Diagorou-Darbani (Liptako, Niger, Afrique de l'Ouest) : plateau océanique ou environnement d'arc/bassin arrière-arc océanique. *C. R. Géoscience*, N° 336 (2004) 1137 - 1147 Doi:10.1016/j.crte.2004.03.008
- [15] - A. SOUMAILA, Z. GARBA, A. MOUSSA ISSAKA, H. NOUHOU and D. SEBAG, Highlighting the root of a paleoproterozoic oceanic arc in Liptako, Niger, West Africa. *Journal of Geology and Mining Research*, Vol. 8 (2) (2016) 13 - 27, July, 2016. DOI: 10.5897/JGMR2015.0230
- [16] - A. SOUMAILA, Y. AHMED et H. NOUHOU (2016): Géochimie des basites et ultrabasites de Ladanka (Liptako, Niger). *Journal des Sciences*, Vol. 16, N° 3 (Décembre 2016) I.S.S.N 0851 - 4631. 37 - 54
- [17] - E. MACHENS, Mission de prospection générale du liptako, rapport de fin de mission (1958-1964) et inventaire d'indice de minéralisation. B.R.G.M ; 74, Rue de la fédération Paris XVe, (1964) 81 - 84
- [18] - E. MACHENS, contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'ouest de la république du Niger. Editions du bureau de recherches géologiques et minières 74, rue de la fédération, Paris-xve, (1973) 1 - 158
- [19] - M. Y. HASSAN et S. L. MORCOS, Rapport sur les résultats de la région du Nord Makalondi. Région I, DRGM, Ministère des Mines et de l'Energie, Niamey, (1984)
- [20] - D. DUPUIS, J. PONS et A. E. PROST, Mise en place de plutons et caractérisation de la déformation birimienne au Niger occidental. *Compte Rendus Acad. Sci. Paris*, N° 312 (II) (1991) 769 - 776
- [21] - J. PONS, P. BARBEY, D. DUPUIS and J. M. LÉGER, Mechanism of emplacement and structure of a 2.1 Ga juvenile continental crust : the Birimien of southwestern Niger. *Précambrien research*, N° 70 (1995) 281 - 301

- [22] - P. AFFATON, P. GAVIGLIO et A. PHARISAT, Réactivation du craton ouest africain au Panafricain : paléocontraintes déduites de la fracturation des grès néoprotérozoïques de Karey Gorou (Niger, Afrique de l'Ouest). *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, N° 331 (2000) 609 - 614
- [23] - A. SOUMAILA et M. KONATE, Caractérisation de la déformation dans la ceinture birimienne (paléoprotérozoïque) de Diagorou-Darbani (Liptako nigérien, Afrique de l'Ouest). *Afr. Geo. Revew.*, Vol. 13, N° 3 (2005) 161 - 178
- [24] - A. SOUMAILA, P. HENRY, Z. GARBA and M. ROSSI, REE Patterns, Nd-Sm and U-Pb ages of the metamorphic rocks of the Diagorou-Darbani greenstone belt (Liptako, SW Niger) : implication for Birimian (Paleoproterozoic) crustal genesis, *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 297, (2008) 19 - 32
- [25] - H. GARBA SALEY, M. KONATE, Y. AHMED et A. SOUMAILA, Les minéralisations de manganèse du Nord Téra (Liptako, Ouest Niger): origine et conditions de mise en place. *Science de la vie, de la terre et agronomie, REV. CAMES*, Vol. 05, N°02 (2017) \*\* ISSN 2424 - 7235
- [26] - H. GARBA SALEY, A. SOUMAILA and M. KONATÉ, Alteration Processes of Paleoproterozoic Manganese Protodes of the North Téra : Mineralogy and Geochemistry (West Africa) *Journal of Geological Resource and Engineering*, 6 (2018) 177 - 193. doi:10.17265/2328-2193/2018.05.001
- [27] - M. M. HALLAROU, M. KONATÉ, A. S. OLATUNJI, Y. AHMED, F. F. AJAYI and R. M. ABDUL, Re-Os Ages for the Kourki Porphyry Cu-Mo Deposits, North West Niger (West Africa): Geodynamic Implications. *European Journal of Environment and Earth Sciences*. Vol. 1 | Issue 4 | (July 2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.24018/ejgeo.2020.1.4.43>
- [28] - J. P. MILESI, J. L. FEYBESSE, P. LEDRU, A. DOMMANGET, M. F. OUEDRAGO, E. MARCOUX, A. E. PROST, C. VINCHON, J. P. SYLVAIN, V. JOHAN, M. TEGYEY, J. Y. CALVEZ et P. LAGNY, "les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'ouest, chron." *Rech. Min.*, 497 (1989) 3 - 98
- [29] - J. F. BEAUX, B. PLATEVOET et J. F. FOGELGESANG, Atlas de pétrologie, science de la terre. Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-057576-3, (2012) 144 p.
- [30] - M. Z. ABZALOV, Chrome—spinel in gabbro—wehrlite intrusions of the Pechenga area, Kola Peninsula, Russia : emphasis on alteration features. *Lithos*, 43 (1998) 109 - 134
- [31] - S. J. EDWARDS, J. A. PEARCE and J. FREEMAN, New insights concerning the influence of water during the formation of podiform chromitites *Geological Society of America Special Paper*, 349 (2000) 139 - 147
- [32] - X. XU, J. YANG, D. BA, G. GUO, P. T. ROBINSON and J. LI, Petrogenesis of the Kangjinla peridotite in the Luobusa ophiolite, Southern Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42 (2011) 553 - 568. doi:10.1016/j.jseaes.2011.05.007
- [33] - X. HUANG, L. JIANGHAI, T. M. KUSKY and Z. CHEN, microstructures of the zunhua 2.50 Ga podiform chromite, north china craton and implications for the deformation and rheology of the archean oceanic lithospheric mantle. *Precambrian ophiolites and related rocks*. Edited by timothy m. kusky. *Developments in Precambrian geology*, Vol. 13 (k.c. condie, series editor) 321. Doi: 10.1016/s0166-2635,(04)(2004)13010-7
- [34] - T. ÜNER and Ü. ÇAKIR, Mineralogical, petrographical and geochemical characteristics of eldivan ophiolite (çankiri) harzburgitic tectonites. *mineral res. expl. bull.*, 143 (2011) 75 - 94
- [35] - B. HOLTZMAN, Gauging stress from mantle chromitite pods in the Oman ophiolite. In : Dilek, Y., Moores, E., Elthon, D. (Eds.), *Ophiolites and Oceanic Crust: New Insights from Field Studies and the Ocean Drilling Program : Boulder, Colorado. Geological Society of America Special Paper*, 349 (2000) 149 - 158
- [36] - Z. VUKMANOVIC, S. J. BARNES, S. M. REDDY, B. GODEL, M. L. FIORENTINI, Morphology and microstructure of chromite crystals in chromitites from the Merensky Reef (Bushveld Complex, South Africa). *Contrib Mineral Petrol*, 165 (2013) 1031 - 1050. DOI 10.1007/s00410-012-0846-1
- [37] - M. LEBLANC, D. CASSARD et T. JUTEAU, Cristallisation et Déformation des Orbicules de Chromite. *Mineral Deposita*, 16 (1981) 269 - 282



- [38] - J. A. PEARCE, S. J. LIPPARD and S. ROBERT, Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. Pennsylvania State University, (2016) 1 - 18. <http://sp.lyellcollection.org/>
- [39] - T. E. JOHNSON, M. BROWN, K. M. GOODENOUGH, C. CLARK, P. D. KINNY, R. and W. WHITE, Subduction or sagduction? Ambiguity in constraining the origin of ultramafic-mafic bodies in the Archean crust of NW Scotland. *Precambrian Research*, 283 (2016) 89 - 105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2016.07.013>
- [40] - A. POUCKET, S. DOUMBIA and M. VIDAL, Geodynamic setting of the Birimian volcanism in central Ivory Coast (western Africa) and its place in the Palaeoproterozoic evolution of the Man. *Bull. Soc. géol. Fr.*, T. 177, N° 2 (2006) 105 - 121
- [41] - L. BARATOUX, V. METELKA, S. NABA, M. W. JESSELL, M. GREGOIRE, J. GANNEA, Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (~2.2-2.0 Ga), western Burkina Faso. *Precambrian Research*, 191 (2011) 18 - 45. doi:10.1016/j.precamres.2011.08.010