

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Licence Sciences et Techniques

GARM

Actualisation cartographique et géochimique des affleurements de la zone 5, carrière m'zoudia, Jbel Ardouz méséta occidentale Maroc

Par

AZIZI Mohamed & AOUSAY Yassine

Soutenu Le 29 juin 2017 devant le jury compose de:

M. IBOUH Hassan

M. MOURCHID Lékbir

M. IGMOULLAN Brahim

FST Marrakech,

CIMAR de Marrakech,

FST Marrakech,

Encadrant

Co-encadrant

Examineur

RESUME

L'objectif de ce travail est de cartographier et caractériser géochimiquement les affleurements géologiques de la zone 5 de la carrière de M'zoudia. Située dans la méséta occidentale à 46 Km à l'ouest de Marrakech.

La carte géologique de la zone 5, réalisée montre l'organisation des différents faciès de carbonates et de schiste sous forme d'un monoclinale de direction NE-SW à pendage vers le SE. Ce monoclinale est traversé par des fractures et de rares plis d'entraînement sous forme d'ondulation de direction N130.

Comme étude géochimique, un échantillonnage ciblé a été réalisé et accompagné d'une observation macroscopique des matériaux primaires, ainsi, 19 échantillons ont été prélevés de façon à couvrir la totalité de la zone, et analysés au laboratoire à l'aide d'un spectromètre à rayons X. Les résultats ont abouti à 5 cartes géochimiques montrant la répartition des éléments indispensables pour la fabrication du ciment (CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, MgO).

La confection d'une dizaine de lames minces (dont 4 uniquement ont abouti dans les schistes supérieur et inférieur) a été réalisée aussi pour la caractérisation microscopique. L'étude au microscope polarisant a permis de mettre en évidence les microfaciès de schiste à grain de quartz de taille différents.

A la lumière des résultats obtenus ; des affleurements bien précis dans les zones ont été caractérisés et valorisés comme sources de matière première qui pourraient améliorer la qualité du ciment de l'usine CIMAR- Marrakech.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciement	6
Dédicaces	7
Liste des figures:	8
Liste des tableaux:.....	9
Liste des annexes:.....	9
Introduction:	10

PARTIE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I. Le groupe Heidelberg:.....	12
II. Ciment du Maroc (site de Marrakech) :.....	13
III. Les départements de la société:.....	14
1. Département administratif:	14
2. Département de production:	14
2.1 Service carrière:.....	14
2.2 Service fabrication:.....	14
2.3 Service expédition:	14
3. Département maintenance:	14
3.1 Service méthodes et préparation:.....	14
3.2 Service réalisation électrique :.....	14
3.3 Service réalisation mécanique:	14
3.4 Service automatisme:.....	14
IV. C'est quoi le ciment?.....	15
V. Les différents produits de la société:	16
VI. La procédure de fabrication du ciment:.....	16
1. Carrière:.....	17
2. Concassage:.....	17
3. Broyage de la matière crue:	18
4. Homogénéisation:.....	19
5. Cuisson:.....	19
5.1 Tour d'alimentation du four:	19
5.2 Four tournant:	20
6. Refroidissement:.....	20
7. Le stockage du clinker:.....	21
8. Broyage de la matière cuite:	21
9. Expédition:	21

1.1	Livraison en vrac :	22
1.2	Livraison en sac :	22

PARTIE 2 : CADRE GEOLOGIQUE DE GISEMENT DE M'ZOUNDIA

I.	Situation du gisement:	24
1.	Situation géographique:	24
2.	Situation géologique:	24
II.	Etude géologique du gisement:	26
1.	Cadre stratigraphique:	26
2.	Cadre structural:	28
3.	Subdivisons de la carrière:	28

PARTIE 3 : ETUDE CARTOGRAPHIQUE, GEOCHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA ZONE 5

I.	Introduction	31
II.	ETUDE CARTOGRAPHIQUE	32
III.	- ETUDE GEOCHIMIQUE:	35
1.	Principe:	35
2.	Méthode de travail :	35
2.1	Echantillonnage:	35
2.2	Technique d'analyse chimique par fluorescence X:	38
A.	Concassage:	38
B.	Etuvage:	38
C.	Broyage :	39
D.	finition :	40
E.	Examen spectrométrique:	40
3.	Résultats et interprétations:	42
3.1	Echantillonnage:	42
3.1	Etuvages:	48
➤	Matériaux moins humides:	48
➤	Matériaux humides:	48
➤	Matériaux très humides:	48
3.2	Les Analyses chimiques:	49
3.1	Calcul de paramètres:	50
3.2	Cartes géochimiques de la zone 5:	51
IV.	ETUDE MINERALOGIQUE:	57
1.	Mode opératoire:	57
1.1	Préparation des lames minces:	57
A.	Le sciage:	57

B. Le polissage:.....	57
C. Le séchage:.....	58
D. Le rodage des lames de verre:	58
E. Le collage:.....	58
F. L'arasement:.....	58
G. La rectification:	58
H. La finition:.....	58
1.2 Examen microscopique:	59
2. Résultats et interprétations:	60
3. Conclusion:.....	62
Perspective:.....	66
REFERENCES BEBLOGRAPHIQUES.....	67
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES.....	67
LISTE DES ANNEXES	68

REMERCIEMENT



Nos remerciements les plus affectueux pour tout le corps enseignant de **la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech** qui nous ont soutenu tout au long de notre formation et qui nous ont fourni tous les outils nécessaires pour être opérationnels tant sur le marché d'emploi que sur notre cursus universitaire.

Nous remercions exceptionnellement notre encadrant **M. IBOUH Hassan** pour ces directives, ces conseils précieux et ces critiques constructives. On a beaucoup appris de son contact tant au niveau professionnel qu'humain.

Nous tenons vivement à exprimer notre profonde gratitude à nos encadrants externes de stage **M. MOURCHID, M. DEKHTARI** et **M. ZIDANI** pour leur accueil chaleureux et leur confiance ; ils nous ont poussé à donner de notre mieux pour être à la hauteur de leurs attentes.

Nos remerciements et notre considération les plus sincères vont aussi à nos professeurs **M. HAFID** et **M. DAOUDI**, au responsable de l'atelier des lames minces **A. Knidiri**, les doctorants du Labo. LGSE (**Brahim, Abdelali, Youssef et Mohcine**) et l'étudiant en master **ARFA** pour leurs disponibilités et leurs conseils judicieux.

Nous sommes très reconnaissants envers tout le personnel de **CIMAR** de Marrakech pour son amabilité, sa disponibilité et son esprit de partage de l'information.

ce travail est dédié

- A mes très chers parents Mr et Mme AZIZI, qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouvent dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour. Je prie Dieu de vous procurer la santé, le bonheur et la vie que vous méritez...
- A mes chers frères et ma sœur, Pour leur amour et leur tendresse. Que Dieu vous aide à tracer vos chemins...
- A ma famille, pour le soutien et les encouragements...
- A mes Professeurs, Pour le savoir qu'ils ont partagé avec nous...
- A mes amis pour le soutien moral, que notre amitié dure pour toujours...
-

AZIZI MOHAMED

Je dédie ce mémoire à toute ma famille, particulièrement mes parents Mr et Mme AOUSAY pour leur soutien et leurs encouragements, à mon frère Hassan sans oublier mes amis (AZIZI, FASKA, YAAKOUB, ARFA,...) et tous mes collègues de la faculté qui m'ont encouragé pendant toute ma formation.

AOUSAY YASSINE

LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Répartition géographique du groupe Heidelberg à travers le monde en comparaison avec le groupe Italcementi
- Figure 2 : les principales matières qui interviennent dans la fabrication du ciment
- Figure3: Composition et utilisation de différentes catégories de ciment
- Figure4: Procédure de fabrication de ciment
- Figure5: Photo représentative de la carrière M'zoudia
- Figure6: Broyeur de la matière crue :
- A) Broyeur à galets
 - B) Broyeur à boulets
- Figure7: Tour d'alimentation de la cuisson
- Figure8: Cuisson tournante
- Figure9: Un refroidisseur vu de l'intérieur(A) et de l'extérieur(B)
- Figure10: Hall de stockage de clinker
- Figure11: Broyeur de la matière cuite (Broyeur ciment)
- Figure12: La livraison en vrac
- Figure13: La livraison en sac
- Figure14: Localisation géographique du gisement M'zoudia
- Figure15: Carte montrant les formations hercyniennes allochtones et autochtones (d'après SOUGY J. in TAHIRI 1982)
- Figure16: Schéma de corrélation stratigraphique du gisement de M'zoudia (Vivier1974 et Tahiri 1982 in Arfa et Assouka 2016)
- Figure 17: Coupe schématique montrant la structure lithologique du gisement M'zoudia(documents internes de la société)
- Figure 18: Subdivision du gisement de M'zoudia (documents internes de la société)
- Figure 19 : localisation des échantillons sur la carte géologique de la zone 5
- Figure 20 : Concasseur à mâchoire (laboratoire de la société CIMAR)
- Figure 21: Etuve (laboratoire de la société CIMAR)
- Figure 22: Broyeur à disque (laboratoire de la société CIMAR)
- Figure 23: Presse pour pastille (laboratoire de la société CIMAR)
- Figure 24 : Spectromètre aux rayons X (laboratoire de la société CIMAR)

Figure 25: Schéma représentatif du principe de fonctionnement de fluorescence X (laboratoire de la société CIMAR)

Figure 26: Carte géochimique des teneurs en CaO

Figure 27: Carte géochimique des teneurs en SiO₂

Figure 28: Carte géochimique des teneurs en Al₂O₃

Figure 29 : Carte géochimique des teneurs en Fe₂O₃

Figure 30: Carte géochimique des teneurs en MgO

Figure 31 : Appareillage de la confection des lames minces (atelier des lames minces FSTG)

Figure 32: Lames minces vu au microscope polarisant GX400

Figure 32: (A: carte de faciès de la zone 5, B: carte de paramètre MS, C: carte de paramètre LSF

D: carte de paramètre A/F).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: REFERENCES GPS DES PRELEVEMENTS EFFECTUES

Tableau 2: DESCRIPTION MACROSCOPIQUE DES ECHANTILLONS A ANALYSER

Tableau 3: CALCULE DE DEGRE D'HUMIDITE DES ECHANTILLONS SELON LES RESULTATS DE L'ETUVAGE

Tableau 4: RESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES PAR FLUORESCENCE X

Tableau 5: CALCULE DE PARAMETRES

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Répartition des différentes catégories de ciment dans les sept silos de l'usine en fonction de qualité et du mode de livraison

Annexe 2: Les normes qui déterminent la composition chimique des matériaux premiers de la carrière de M'zoudia (documents internes de la société)

Annexe 3: les paramètres géochimiques

INTRODUCTION

Dernièrement, le Maroc a connu une forte demande sur les produits cimentiers, notre pays est devenu un chantier ouvert. De nombreux projets de construction économique et sociaux ont été lancés, d'autres sont en cours de réalisation. La bonne maîtrise du processus de fabrication du ciment est donc indispensable pour répondre à cette demande.

En mettant l'axe sur la forte compétition dans ce domaine, CIMAR comme toute entreprise travaillant dans le même secteur, doit assurer la satisfaction de ces clients tant au niveau quantitatif que qualitatif.

La qualité du ciment dépend surtout de la composition chimique des matières premières qui entrent dans la synthèse de clinker. L'usine de Marrakech s'alimente en matières premières à partir de 2 carrières, celle de M'zoudia et celle de Jbel Ighoud. Durant cette année, plusieurs zones de ces carrières ont été épuisées. Presque 80% de l'exploitation de la matière première se concentrent dans la zone 5, carrière M'zoudia.

Dans ce projet, une étude géologique (surtout géochimique et cartographique) sera effectuée dans cette zone 5 pour pouvoir distinguer les sites favorables à l'exploitation des carrières à caractéristiques nécessaires pour une bonne production du ciment..

Ce rapport comprend trois parties :

- ✓ PARTIE 1: PRESENTATION DE L'ENTREPRISE
- ✓ PARTIE 2: CADRE GEOLOGIQUE DE GISEMENT DE M'ZOUNDIA
- ✓ PARTIE 3: ETUDE GEOCHIMIQUE ET CARTOGRAPHIQUE DE LA ZONE 5

PARTIE 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

LST GARM 2017

I. Le groupe Heidelberg :

HEIDELBERG Ciment (anciennement Heidelberger Zement) est une entreprise allemande dont le siège est à Heidelberg, dans le quartier Neuenheim. Fondée en 1873 par Johann Philipp Schifferdecker, cette entreprise est le plus gros producteur allemand de ciment en termes de capacité de production.

À l'échelle mondiale Heidelberg Ciment est le 2^{em} plus grand groupe cimentier (200 millions de tonnes/an) après le franco-suisse LafargeHolcim (340 millions de tonnes/an) et avant le mexicain Cemex (94 millions de tonnes/an). <https://fr.wikipedia.org/wiki/HeidelbergCement>

NB : Depuis sa création en 1972 CIMAR de Maroc a été dirigée par le groupe italien ITALCIMENTI, ce n'est qu'en juillet 2015 que le groupe allemand HeidelbergCement lance une offre d'acquisition sur 45 % d'Italcementi pour 1,67 milliard d'euros.

Le 12 octobre 2016, HeidelbergCement a acheté les actions restantes d'Italcementi qui n'avaient pas été soumises dans l'offre d'achat obligatoire. Par conséquent, HeidelbergCement est maintenant l'unique actionnaire d'Italcementi et détient 100% du capital social. Les actions Italcementi ont été retirées de la Bourse italienne le même jour. (<http://www.heidelbergcement.com/en/pr-20-10-2016>)

Avant l'acquisition d'Italcementi, le groupe Heidelberg Cement était présent dans plus de 40 pays, totalisant notamment 102 usines de ciment, 1 300 sites de production de béton prêt à l'emploi (BPE) Il emploie 45 000 personnes.

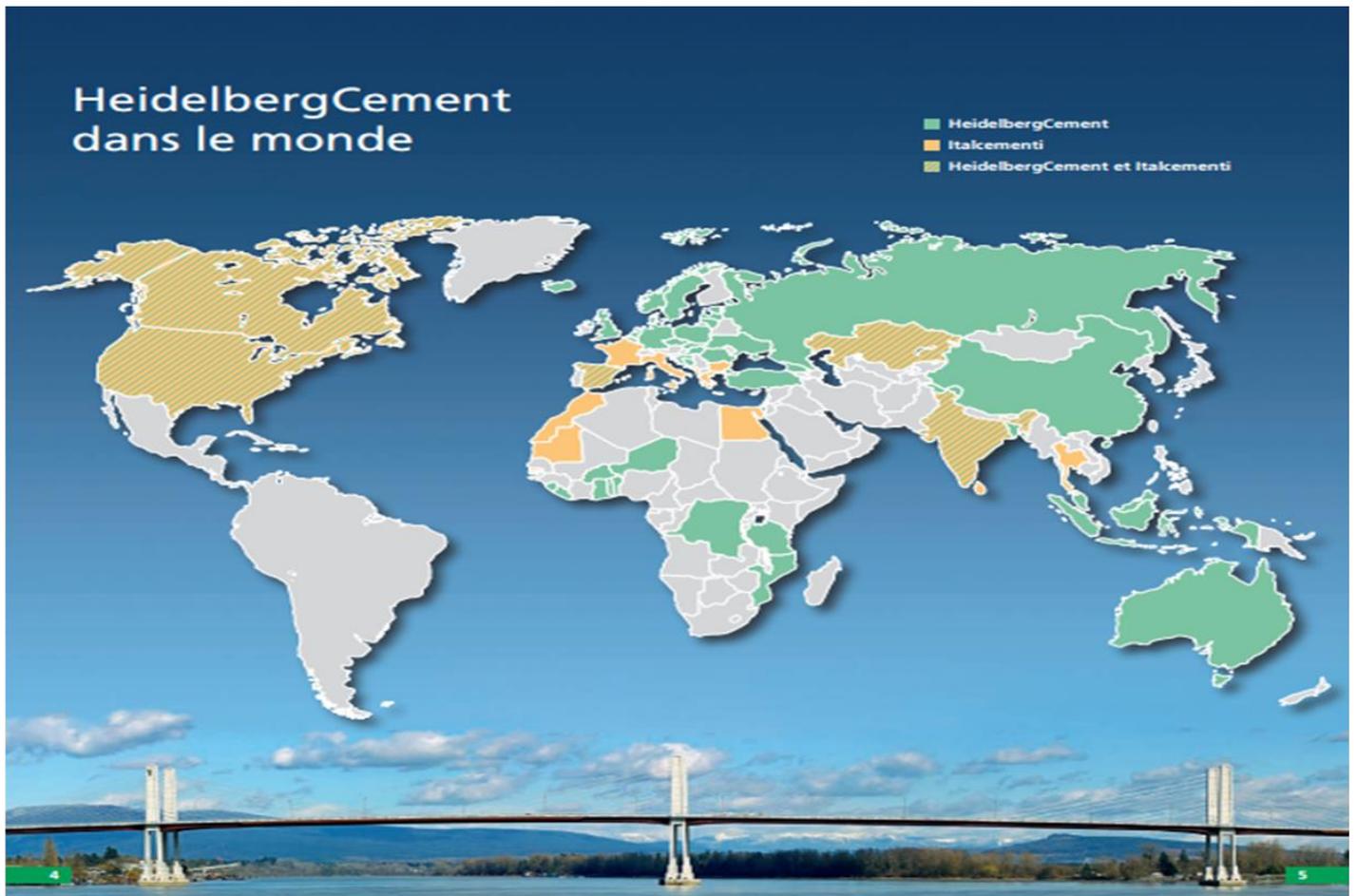


Figure 1 : Répartition géographique du groupe Heidelberg à travers le monde en comparaison avec le groupe Italcementi

(<http://www.cimentsdumaroc.com/fr>)

II. Ciment du Maroc (site de Marrakech)

C'est une société anonyme fondée en 1974 et mise en service en 1976 avec un capital de production de 350000 tonnes par an.. Ciments du Maroc a été créé par les groupes suivants :

- ⊙ SNI (la société National d'investissement)
- ⊙ SFI (la société financière internationale)
- ⊙ CIMR (caisse interprofessionnelle marocain de retraite)
- ⊙ CADEM (cimenterie de Meknès)
- ⊙ LAFARGE MAROC (cimenterie de Casablanca)

LST GARM 2017

Le groupe ciments du Maroc comporte un ensemble d'usines qui sont respectivement installées à Safi, Agadir et Marrakech et dont le siège administratif se trouve à la capitale économique Casablanca à l'adresse (Angle Bd Abdel Moumen et Avenu des Pléiades 20100 Casablanca).

III. Les départements de la société

Ciments du Maroc opère par le billet de différents service ayant chacun des responsabilités bien précise mais interagissant aussi avec d'autres services ce qui montre qu'il y a un échange et une interaction permanente entre les différents services de la société.

Ciments du Maroc (usine de Marrakech) se compose de 3 départements :

1. Département administratif

Il s'occupe du personnel, de la comptabilité, du contrôle de gestion, du commerce et du service social.

2. Département de production Il se compose de 3 services :

2.1 Service carrière: Alimentation de l'usine en matière première.

2.2 Service fabrication : Contrôle et suivi de la production.

2.3 Service expédition : Livraison du produit fini en vrac ou en sacs.

3. Département maintenance

C'est le département vital de l'usine, il s'occupe des travaux de maintenance et de la préparation des travaux d'intervention ainsi que leur réalisation à travers 3 services:

3.1 Service méthodes et préparation : Élaboration et planification des travaux d'entretien à court, moyen et long terme.

3.2 Service réalisation électrique :

Réalisation des travaux d'entretien électriques planifiés par le service méthode.

3.3 Service réalisation mécanique : réalisation des travaux d'entretien mécanique planifiés par le service méthode.

3.4 Service automatisme : Réalisation des travaux concernant les interventions sur les automates.

Durant la période du stage, nous étions affectés au service carrière

IV. C'est quoi le ciment ?

Le ciment est une poudre minérale, qui au début est un mélange d'environ 80% de calcaire et de 20% d'argile, et qui avec l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement, même à l'abri de l'air, et même sous l'eau.

C'est aussi un liant hydraulique, formé de constituants anhydres, cristallisés ou vitreux, renfermant de la silice, de l'alumine et de la chaux, et dont le durcissement est principalement dû à la formation par Combinaison de ces constituants anhydres (desséchés) avec l'eau, de silicates et d'aluminates de calcium hydratés très peu solubles dans l'eau.

Le ciment anhydre est un mélange intime, réalisé soit avant, soit après broyage, d'un ou de plusieurs constituants ou ajouts chimiques de fabrication.

Après quelques opérations, on obtient du clinker, qui avec le gypse forme les principales matières de fabrication du ciment (figure 2).

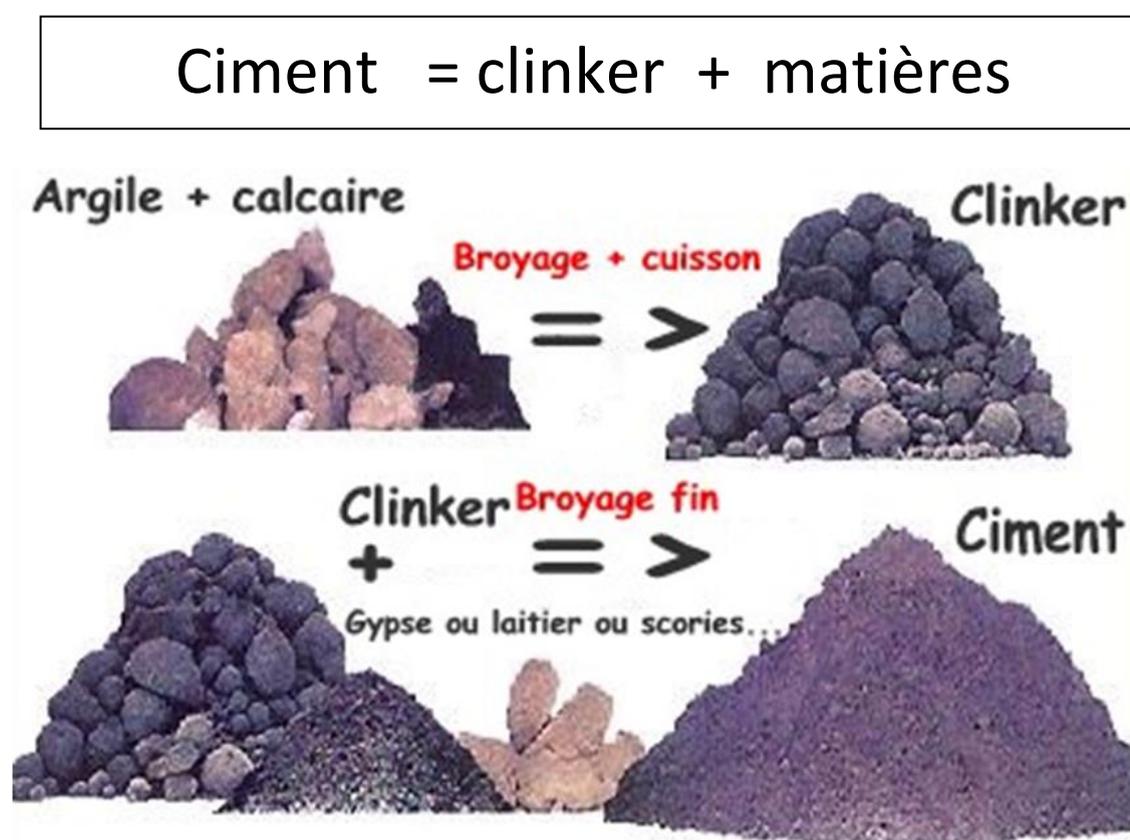


Figure 2 : les principales matières de fabrication du ciment

<http://grandeparoisse.free.fr/ciment.html>

V. Les différents produits de la société :

Le ciment produit par l'usine CIMAR de Marrakech est classé en trois qualités selon le pourcentage du clinker (CPJ35, CPJ45 et CPJ55). Le tableau ci-dessous représente la composition en clinker et en matières ajoutées ainsi que l'utilisation de chaque catégorie de ciment:

Figure 3 : Utilisation et composition des différents catégories de ciment

Categorie	composition		Utilisation
	Clinker	Matières ajoutées*	
<i>Ciment portland composé 35 (CPJ35)</i> 	>65	35	<i>les beton armes faiblement sollicite et tous les travaux de maconnerie</i>
<i>Ciment portland composé 45 (CPJ45)</i> 	>70	30	<i>ciment de premier choix, utilise pour la realisation des travaux en beton arme en batiment et les travaux de grand masse</i>
<i>Ciment portland composé 55 (CPJ55)</i>	>85	15	<i>ouvrage en beton arme forttement sollicite prefabricatio et beton manufacture, beton precontraint</i>

* Gypse, pouzzolane , Argile

VI. La procédure de fabrication du ciment

Lors de sa fabrication le ciment passe par plusieurs étapes avant d'être exposé au marché, le schéma suivant représente la procédure de fabrication du ciment dès la carrière jusqu'au stade d'expédition:



Figure 4: Procédures de fabrication de ciment

<http://www.cimentsdumaroc.com/NR/rdonlyres/628ACE90-34E1-4343-9B05-4DDCEA8FE4B3/0/PlaqueMarrakech.pdf>

1. Carrière :

Afin de garantir un mélange aussi homogène et stable que possible, les carrières sont exploitées à ciel ouvert dans trois cantons: le canton de L’Mzoudia, de Jbel Ighoud et celui de Tacna. Chaque carrière se compose de plusieurs zones et chaque zone se compose de plusieurs gradins. L’extraction de la matière brute se fait par battage en grande masse au moyen d’explosifs. La société soustraite cette première étape de son processus au quelle nous avons assisté.



Figure 5: Photos représentatives du carrière M’zoudia

2. Concassage :

Les roches abattues doivent ensuite être fragmentées pour atteindre des dimensions plus petites que possible. Pour ce faire,

L’usine de Marrakech dispose de trois types de concasseurs :

- le concasseur à mâchoires
- le concasseur giratoire
- le concasseur dragon.

L'alimentation de ces concasseurs se fait par des engins mobiles assurant un débit peut aller jusqu' à 280 tonnes par heure.

Il est évident qu'une étape de contrôle intervient tout au long du processus de production du ciment. En effet, un premier contrôle se fait au laboratoire de contrôle après concassage pour assurer la composition correcte des quatre constituants de base de la matière crue (chaux, silice, alumine et fer).

3. *Broyage de la matière crue :*

L'usine de Marrakech dispose de deux types de broyeurs : les broyeurs verticaux et les broyeurs horizontaux, les broyeurs crus ont pour fonction de réduire les matières provenant du pré homogénéisation à la finesse requise pour la cuisson. En effet, l'échange thermique et les réactions chimiques sont d'autant plus intenses que les surfaces de contact entre les grains de matière et les gaz sont importantes (la matière est fine).

En plus de sa fonction de fragmentation, le broyeur mélange initialement les différents minéraux et les ajouts (gypse, pyrite et pouzzolane). A la fin du processus de broyage, la matière quitte le broyeur, d'une part par un organe de décharge et d'autre part par l'air. Elle se dirige ensuite vers les silos d'homogénéisation tandis que celle insuffisamment broyée sera recyclée dans le broyeur.

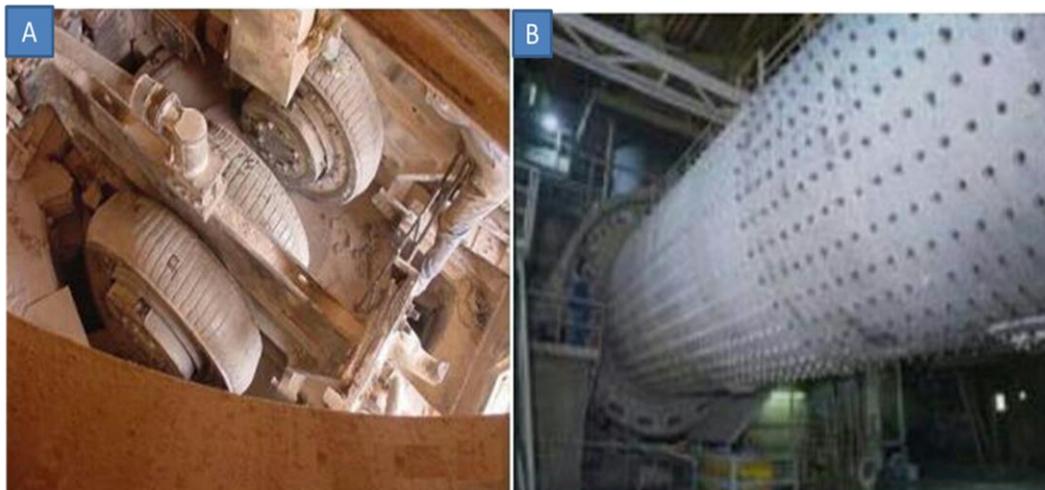


Figure 6: Broyeur de la matière crue (A) à galet (B) à boulet

4. Homogénéisation :

Avant de procéder à la cuisson, une ultime étape de préparation va être confiée à la matière crue, il s'agit de l'homogénéisation en continu. Un grand silo reçoit de la farine produite par le broyeur, celle-ci est déversée par le haut et distribuée par un réseau de transfert en pattes d'araignée sur le périphérique du silo jusqu'au deux tiers de sa hauteur. La farine passe ensuite, par le fond du silo, dans une chambre de mélange où se passe une homogénéisation instantanée par air choc.

5. Cuisson :

5.1 Tour d'alimentation du four :

Avant de rentrer dans le four, la matière subit un chauffage relatif dans la tour en passant par plusieurs étapes, ce chauffage se fait par les gaz échappés du four, c'est à ce stade que commence la décarbonatation (à 500°C) et le séchage de la matière.



Figure 7: Tour de l'alimentation du four

5.2 Four tournant :

La farine homogénéisée entre dans un four rotatif où s'effectue l'étape la plus importante de sa transformation. L'alimentation en farine se situe à l'extrémité opposée du brûleur, la rotation et l'inclinaison du four font progresser la matière. Autrement, on peut commenter le processus de cuisson de la manière suivante :

L'entrée du four, la décarbonatation de la farine se poursuit et s'achève au fur et à mesure que la farine avance dans le four en se chauffant, ce qui permet la formation du clinker (la matière de base pour la fabrication du ciment).



Figure 8: Cuisson

6. Refroidissement

Une fois que le clinker sort du four à une température très élevée, deux opérations doivent être effectuées :

- Une première opération de nature économique qui consiste à récupérer la chaleur après refroidissement par soufflage d'air et la renvoyer à la tour échangeur.
- Une seconde opération est d'ordre mécanique, qui consiste à transporter le clinker vers le stockage.

Après refroidissement, le clinker se présente sous forme de nodules gris foncé.

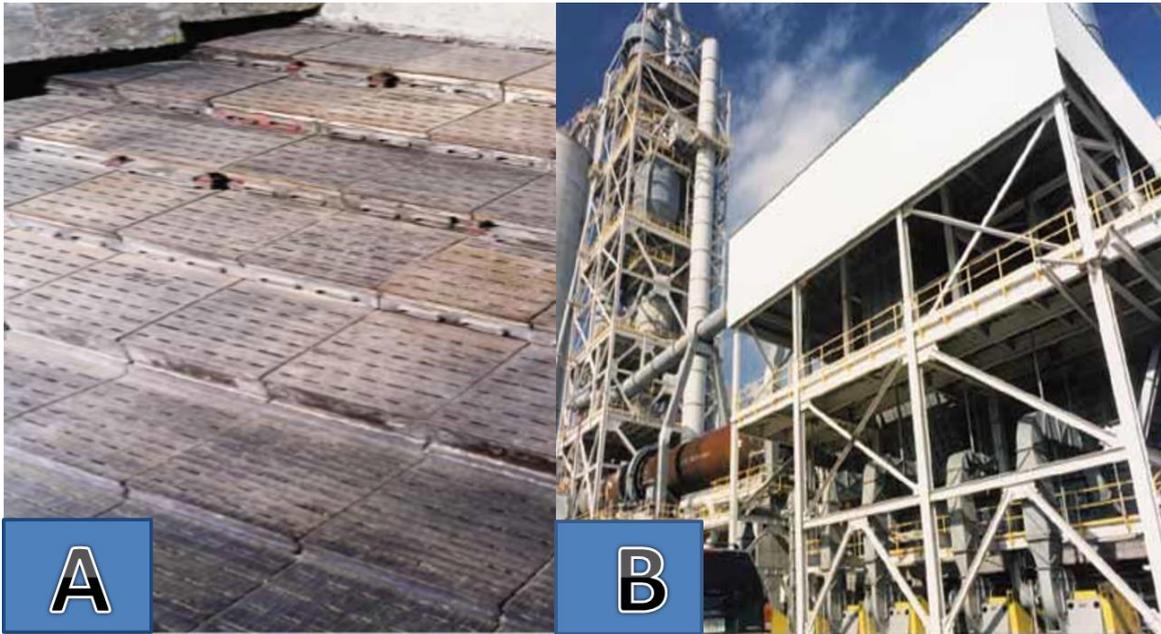


Figure 9 : Un refroidisseur vu de l'intérieur(A) et de l'extérieur (B).

7. *Le stockage du clinker :*

Le clinker refroidi est ensuite stocké sous un hall couvert ou dans des silos.



Figure 9 : Hall de stockage du clinker

8. *Broyage de la matière cuite :*

Le broyage du clinker s'effectue dans des broyeurs horizontaux, des quantités de produit chimiques peuvent être ajoutées pour éviter l'agglomération et pour faciliter le broyage et l'écoulement de la matière finie. Ce sont des aides au broyage ou agents moteurs, qui en tous cas ne doivent ni modifier ni influencer sur la qualité du produit fini : le ciment type CPJ 35 et type CPJ 45.



Figure 11 : Broyeur cuite (broyeur ciment)

9. *Expédition*

Le ciment prêt à l'emploi est transféré vers des silos de stockage du ciment suivant la demande du client, le ciment est livré soit en vrac soit en sacs (Annexe 1).

1.1 Livraison en vrac :

Les véhicules à citerne sont placés sur un pont bascule sous une tête de chargement télescopique est adaptée à l'ouverture de la citerne et un système de commande contrôle le chargement.



Figure 12 : la livraison en vrac

1.2 Livraison en sac :

Des sacs de poids net égale à 50 Kg sont mis vides dans des ensacheuses permettant leur remplissage par le ciment. Les sacs sont placés par des opérateurs. Il existe trois machines ensacheuses commandant six lignes de livraison



Figure 13: la livraison en sac (A) par méthode caricamate et méthode de palettiseur (B)

PARTIE 2 : CADRE GEOLOGIQUE DE GISEMENT DE M'ZOUNDIA

LST GARM 2017

I. Situation du gisement :

1. Situation géographique :

La société du ciment « ciment du Maroc » est située à 46Km l'ouest de Marrakech sur la route principale n°10 reliant Marrakech à Essaouira, à côté du petit village : M'ZOULDIA

L'usine s'est installée juste près du gisement de M'ZOULDIA ou unité de JBEL ARDOUZ situé à une dizaine de km au Sud des JEBILETS occidentales, à 100 m au Nord de la localité de M'ZOULDIA. Il culmine à 455m, ce qui représente une dénivellation maximale de 80 m au-dessus de la plaine du Haouz.

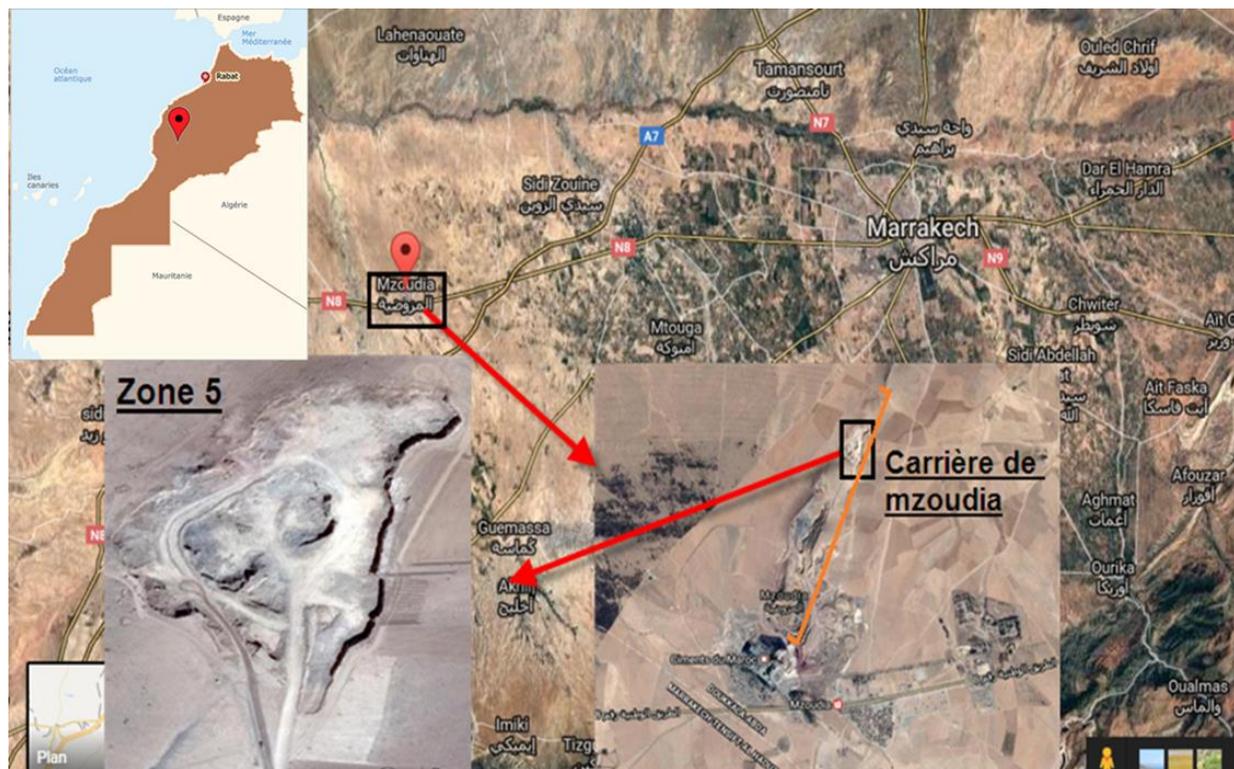


Figure 14 : Localisation géographique du gisement M'zoudia

2. Situation géologique

Le gisement de calcaire de M'ZOULDIA correspond à la partie sud de la boutonnière hercynienne des JBILETS occidentales.

Trois grands domaines structuraux ont été mis en évidence dans cette région, un domaine autochtone à l'Ouest surmonté à l'Est par l'intermédiaire de contacts tectoniques subhorizontaux, d'un domaine para-autochtone (ou autochtone relatif) et d'un domaine allochtone (Tahiri, 1982).

❖ L'autochtone :

C'est des terrains puissants (900 m) non métamorphique à l'Ouest, peu métamorphique à l'Est. Il s'agit d'une série d'âge cambro-ordovicien, calcaireuse à la base et silto-gréseuse au sommet.

❖ **Para-autochtone (ou autochtone relatif) :**

Il s'agit de terrains d'âge cambrien inférieur constitués essentiellement d'alternances silto-gréseux et silto-calcaireux ce qui représente une affinité avec les terrains autochtones.

❖ **Allochtone :**

Comporte trois unités structurales attribuées au Paléozoïque:

✚ **Unité Jbel Ardouz**

Elle s'agit d'une série dévonienne, non métamorphique s'étendant selon la direction SW-NE et formée principalement de calcaire, conglomérat et de quartzite.

✚ **Unité Skhirates**

Constituée de terrains d'âge ordovico-Dévonien surtout de calcaire massif à Polypiers veinés de calcite.

✚ **Unité Abda :** constituée d'un matériel volcano-sédimentaire.

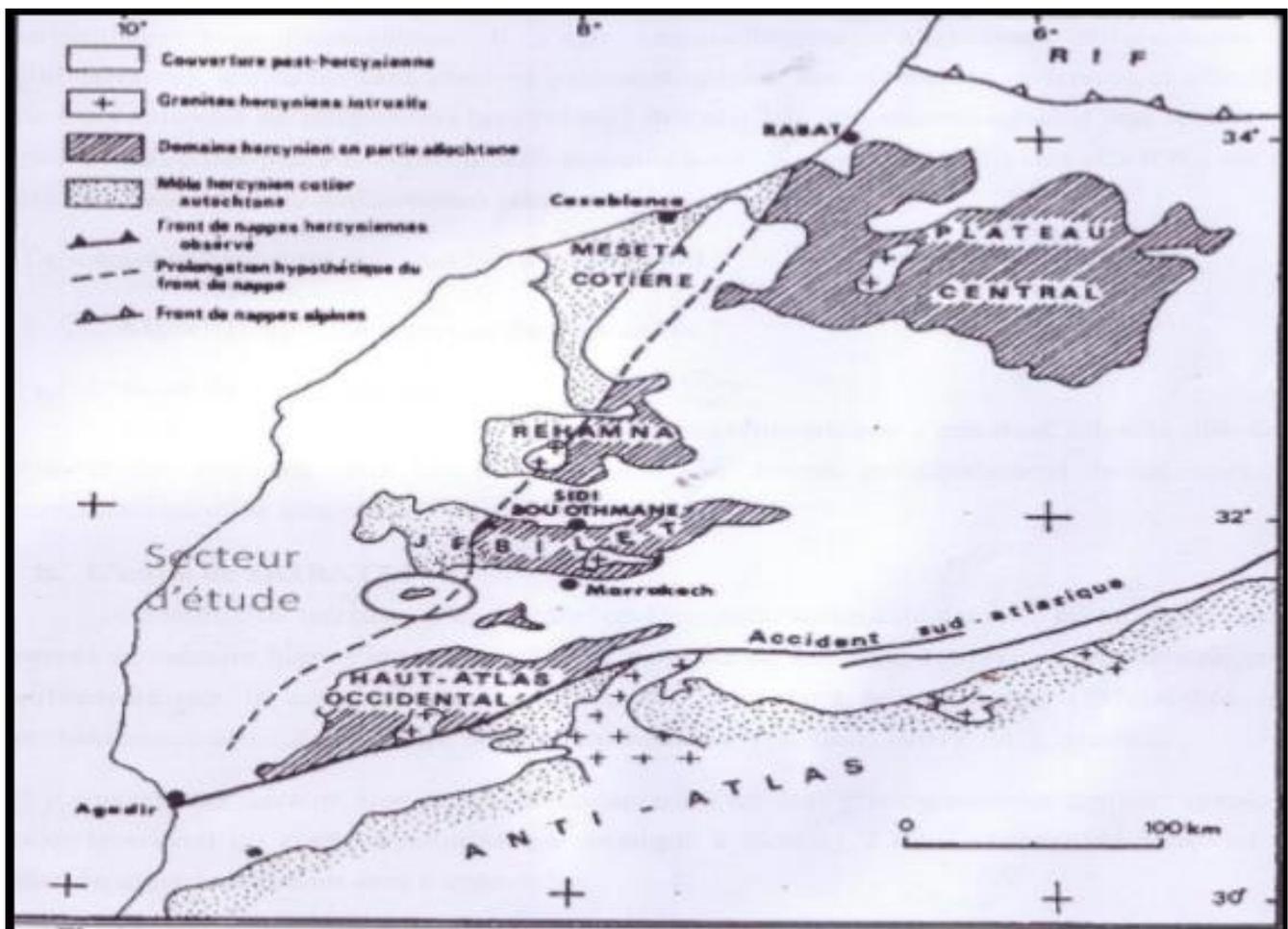


Figure 15 : Carte montrant les formations hercyniennes allochtones et autochtones (d'après SOUGY J. in TAHIRI 1982).

II. Etude géologique du gisement :

1. Cadre stratigraphique:

Plusieurs hypothèses ont été proposées pour établir la stratigraphie du gisement de M'zoudia, en particulier Vivier (1974) et Tahiri (1982).

Pour Vivier (1974):

Il se basant sur les analyses chimiques et sur des sondages, pour proposer la succession stratigraphique de bas en haut, suivante:

- ⊙ Schistes inférieurs : épaisseur inconnue
- ⊙ Calcaire et calcaire dolomitique : épaisseur variable (60 à 100m)
- ⊙ Schistes supérieurs : épaisseur 100m
- ⊙ Quartzites : épaisseur non déterminée Puis un ensemble discordant formé :
- ⊙ Des marnes (calcaire argileux, schistes) : épaisseur 15 à 40m
- ⊙ Encroûtement calcaire (conglomérat) : épaisseur 8m.

Pour Tahiri (1982):

Il se base sur une étude géologique de terrain et propose la succession paléozoïque suivante :

- ⊙ une formation argilo gréseuse et conglomératique rouge et des quartzites.
- ⊙ une formation calcaire comprenant des dolomies, des calcaires et des marno-calcaires.
- ⊙ une formation gréso-quartzitique.

Le schéma ci-dessous (figure 16) présente la corrélation stratigraphique entre les deux différentes successions:

- ✓ Succession selon Tahiri (1982)

✓ Succession selon Vivier (1974)

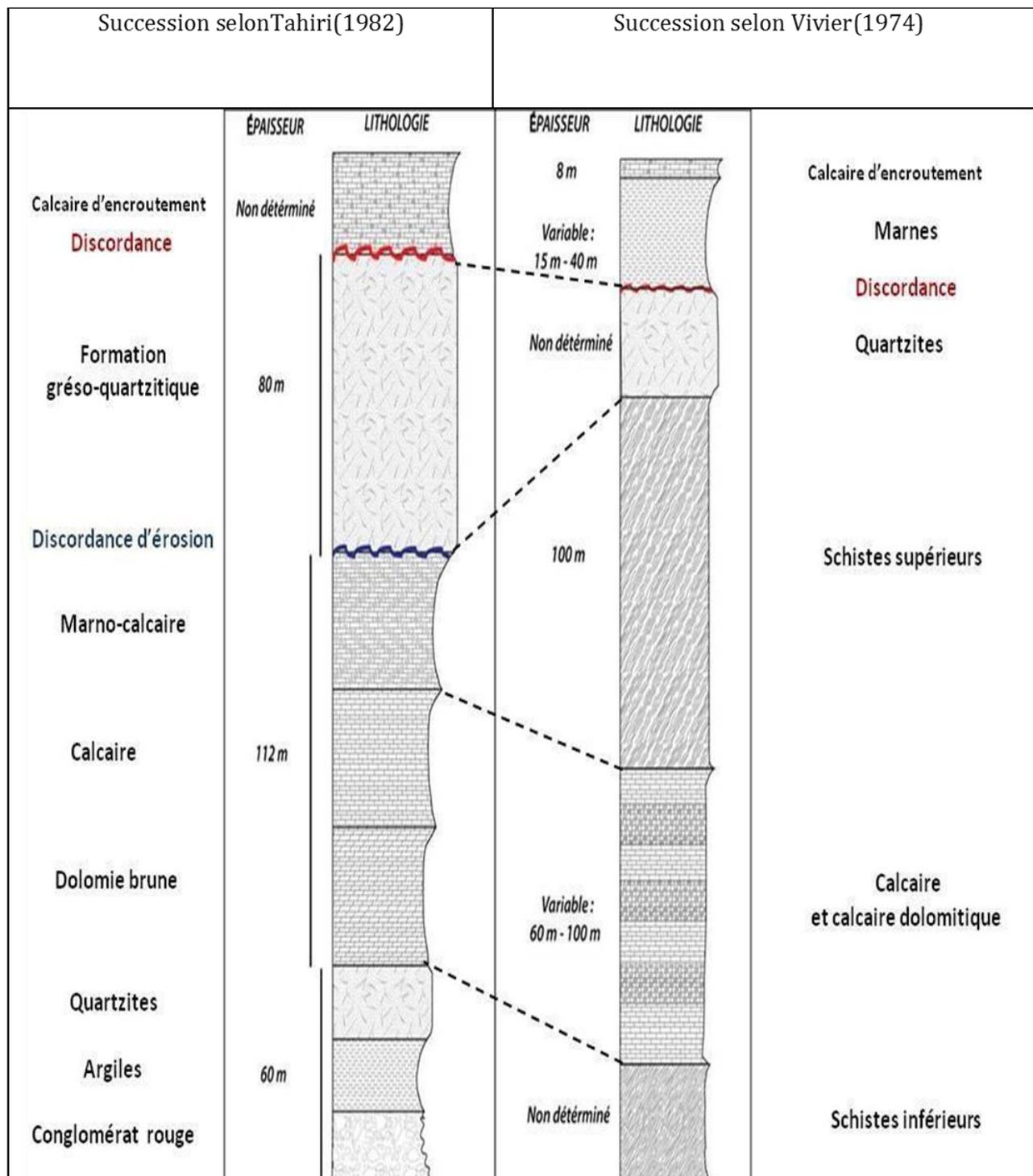


Figure 16: Schéma de corrélation stratigraphique du gisement de M'zoudia (Vivier 1974 et Tahiri 1982)

2. Cadre structural:

D'après Tahiri (1982), le jbel Ardouz est un synforme nord-sud en forme de cuillère. La structure du gisement est complexe à cause de nombreux contacts anormaux liés à des chevauchements. Les couches sont pentées d'environ 30° à 60° vers le Sud Est (le pendage des couches changent d'une zone à l'autre), les calcaires d'encroûtement reposent en discordances sur ces dernières (figure 17).

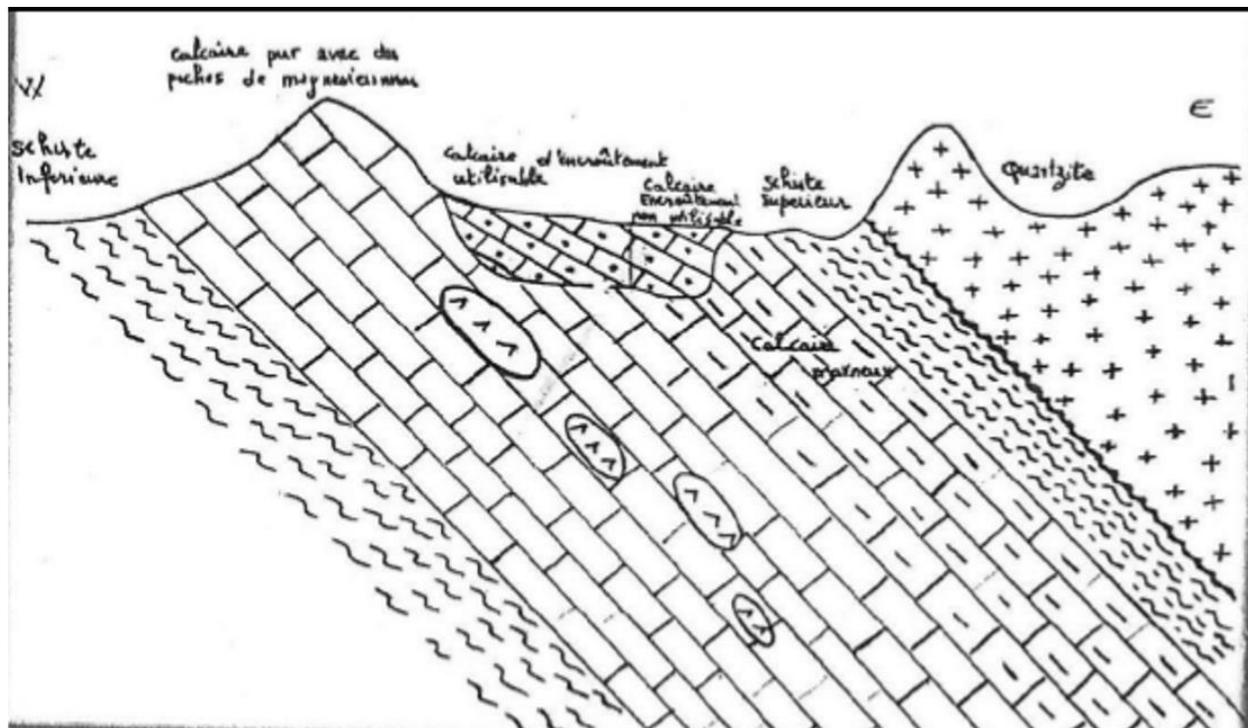


Figure 17: Coupe schématique montrant la structure lithologique du gisement M' zoudia (documents internes de la société)

3. Subdivisons de la carrière :

D'après plusieurs études effectuées sur l'unité de Jbel Ardouz, (VIVIER 1974) et (TAHIRI 1982) le flanc Ouest de ce synforme est subdivisé en 9 compartiments, qui constituent chacun une zone d'exploitation. Ces zones sont limitées entre eux par des failles plus au moins verticales de direction E-W. Parmi ces compartiments, seulement 3 zones sont actuellement exploitables (Figure 18).

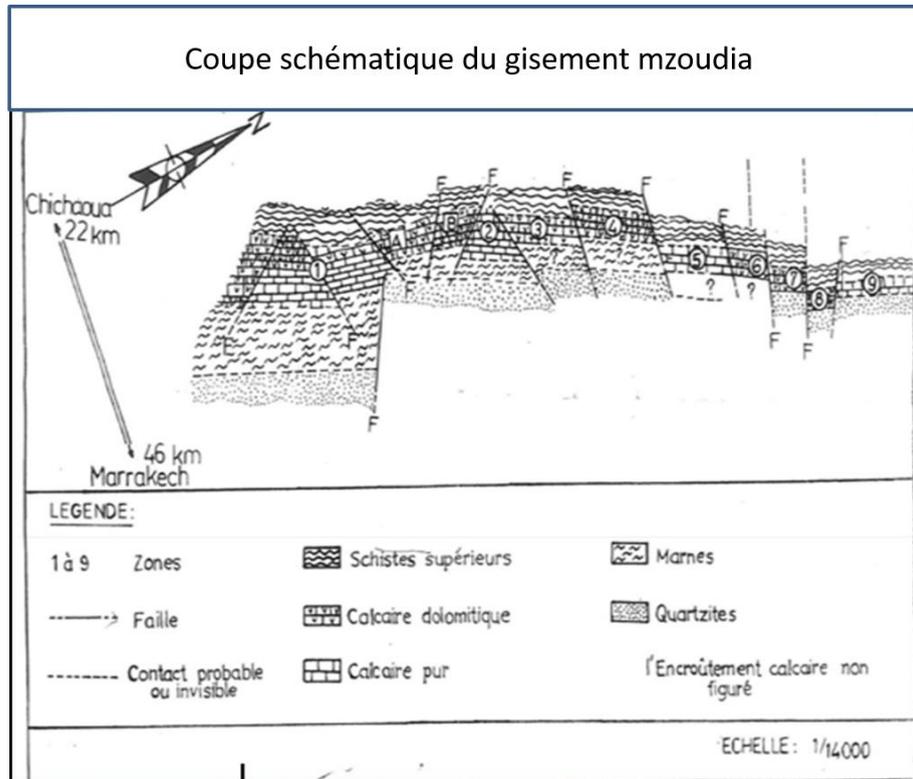


Figure 18 : Subdivision du gisement de M'zoudia (documents internes de la société)

-Zone 1 : Elle contient une grande quantité de calcaire pur recouvert de calcaire magnésien, des schistes et les quartzites. 5 gradins sont effectués dans cette zone d'exploitation, l'émergence de la nappe phréatique empêche l'exploitation de cette zone,

Zone 2 : Elle contient également une quantité de calcaire, schiste, et de quartzite. De même que la zone 1 l'exploitation a été suspendue au niveau du gradin numéro 8 qui correspond à une couche dure de lithologie quartzitique, difficile à éliminer bien qu'en dessous de ces quartzite se situent des quantités importantes de calcaire pur. Des études ont proposés des solutions alternatives pour une reprise de l'exploitation, mais sans succès.

-Zone 5 : actuellement exploitable couvre 80% des besoins de l'usine, l'extraction s'est étendu actuellement au niveau du gradin 3, elle comporte trois types de formations:

- Schiste inférieur : orienté vers l'ouest d'un pendage 10°, son épaisseur restant inconnue.
- Calcaire pur d'une coloration gris clair traversé par des veinules de calcite, des calcaires dolomitiques, des marnes et des marno-calcaires.
- Schiste supérieur : caractérisé par des intercalations des quartzites qui peuvent atteindre plusieurs mètres.

**PARTIE 3 : ETUDE CARTOGRAPHIQUE,
GEOCHIMIQUE ET MINERALOGIQUE DE LA
ZONE 5**

LST GARM 2017

I. Introduction

L'étude de la zone 5 consiste à réaliser une carte de faciès permettant d'actualiser la cartographie de la zone après plusieurs extractions de calcaires et d'autres produits qui ont changé la forme de ses affleurements. Cette carte de faciès actualisée sera complétée par une campagne d'échantillonnage et d'analyses géochimiques afin de réaliser des cartes géochimiques représentant les teneurs en certains éléments principales qui interviennent dans la fabrication des ciment afin de pouvoir déterminer les zones avec une composition chimique en carbonate, silice et autre éléments favorable pour l'exploitation du ciment dans cette partie

Durant ce travail et pendant toute la période de stage plusieurs matériels ont été utilisés pour effectuer les différentes tâches, le tableau ci-dessous représente la fonction de chaque matérielle ainsi que son domaine d'utilisation:

Appareillages	Fonction
GPS *	Détection des coordonnés (latitude, longitude et altitude) de chaque point de prélèvement.
BOUSSOLE*	Mesurer l'orientation des différentes formations ainsi que les structures géologiques rencontrées lors du prélèvement.
MARTEAU*	Permet de garantir un échantillon frais, de bonne qualité et Représentatif pour le faciès correspondant.
HCL*	Caractérisation macroscopique des formations carbonatées.
BLOC NOTE*	Description des différents faciès de la zone ainsi le marquage des orientations mesurés pas la boussole.
SACHETS D'ECHANTILLONNAGE*	Rassembler une quantité de matière suffisante pour les analyses chimique et minéralogique ainsi pour la diffraction X.
STYLO INDELEBIL *	Marquage du référence de chaque échantillon (nature et numéro d'échantillon, zone de prélèvement, numéro de gradin ainsi que l'endroit dont il est prélevé côté EST, OUEST ou centre de la zone).
CONCASSEUR A MACHOIRE*	Diminuer la taille des échantillons
ETUVE*	Séchage de la matière concassée.
BROYEUR D DISQUE*	Transformer la matière en poudre.
PRESSE POUR PASTILLE*	Préparer une pastille destinée aux analyses spectrométriques.
SPECTROMETRE*	Voir page 41.

*Utilisés pour l'échantillonnage

*Utilisés pour les analyses chimiques

LST GARM 2017

II. ETUDE CARTOGRAPHIQUE

C'est la partie la plus importante de ce travail. On a commencé par rassembler toute les informations et tous les résultats obtenus dans les travaux antérieurs pour établir cartes géologique d'état des lieux avant de commencer à récolter nos données qui vont servir pour la de la zone d'étude.

Pour se faire en commence déjà par une cartographie des différents faciès le long des gradins, en suite reporte les limites sur une carte topographique détaillé de la zones ensuite une extrapolation des limites des faciès selon la direction et le pendage a permis d'obtenir la carte de faciès de la figures 19. Les limites de ces faciès ont vérifié par des points GPS que nous avons projeté sur cette carte.

En parallèles à la cartographie de faciès, des échantillons ont prélevés sur la carte (figure 19) pour des analyses géochimiques. Les analyses concernent le dosage de plusieurs éléments majeur, elles ont été effectuées sur 19 échantillons (Tableau 4 partie ETUDE GEOCHIMIQUE)

Carte lithologique de la zone 5, carrière M'zoudia

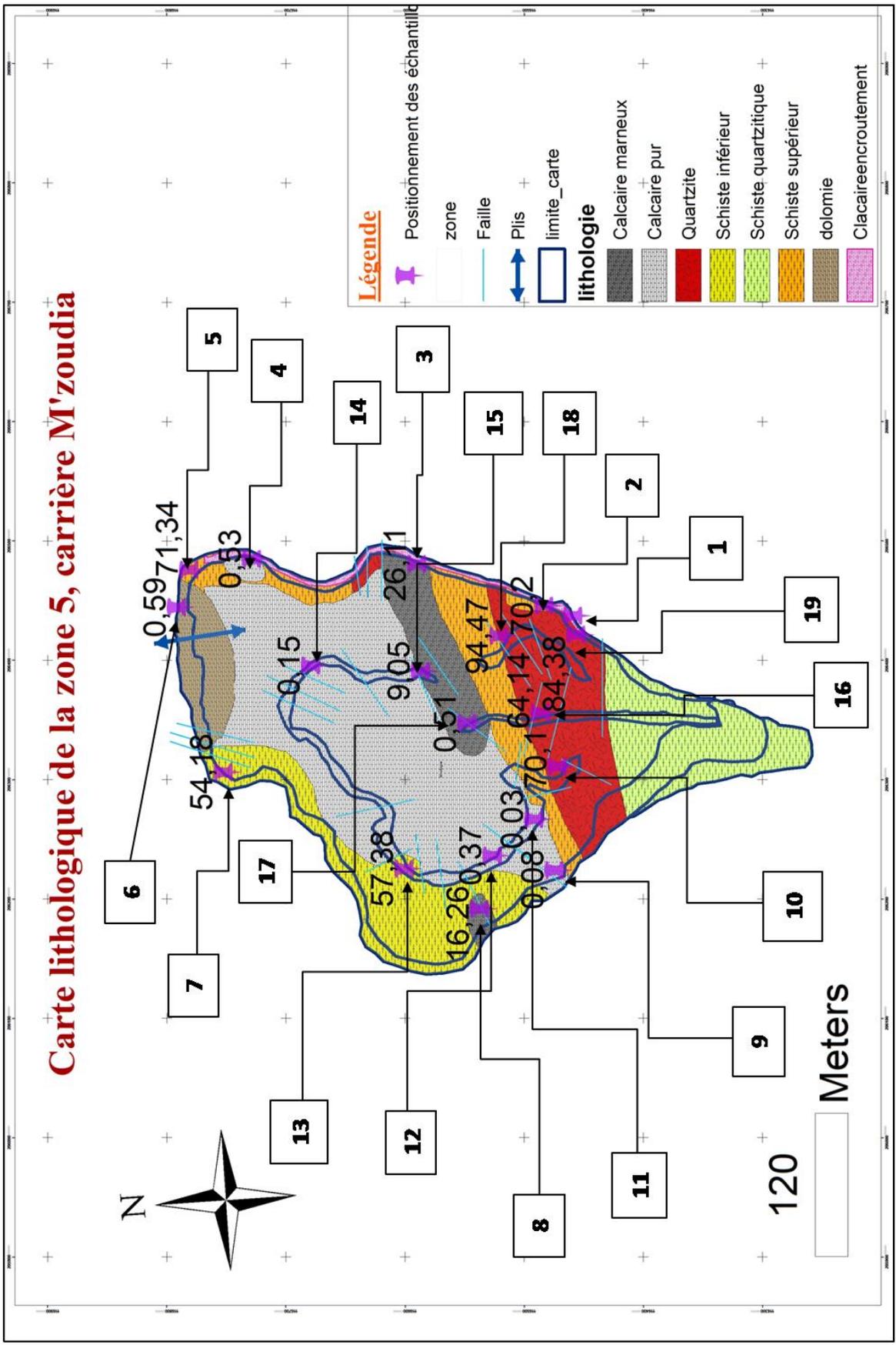


Figure 19: localisation des échantillons sur la carte géologique de la zone 5

En même temps que la cartographie des faciès plusieurs mesures de schistosité ont été levé dans les différents faciès et se présente comme:

- Schiste quartzitique E2
 - N 153,43SE
- Calcaire Marneux E3 :
 - N170, 30SE
 - N150, 75SE
- Schiste supérieur Quartzitique E5 :
 - N60, 40ESE
 - N145, 55SES
 - N50,60ESE
- Calcaire Dolomitique E6 :
 - N110, 40SSW
 - N115, 45S
- Schiste inférieur Marneux E7 :
 - N0, 40E
 - N0, 55E
 - N10, 40ESE
- Schiste inférieur Quartzitique E10 :
 - N60, 65SE
 - N35, 70ESE
- Quartzite E16 :
 - N0, 68E
 - N0, 48E
 - N15, 68E
- Quartzite E18 et E19 :
 - N60, 40SSE
 - N15, 58ESE
 - N45, 72SE
 - N50, 68SE

La zone 5 montre des terrains sédimentaires appartenant au flanc Ouest qui constitue le Jbel Ardouz et qui est subdivisé en 3 unités:

- Une formation calcaire.
- Une formation grésos-quartzitique.
- Une formation argilo-gréseuse et conglomératique.

Ces unités affleurent dans la zone 5 :

- Unité inférieure correspondant aux schistes inférieurs d'épaisseur inconnue
- Unité carbonatée, calcaire blanc à gris clair, calcaire dolomitique et des calcaires marneux.
- Unité supérieure correspondant aux schistes supérieurs avec des quartzites qui couvre la partie Est du gisement.

L'ensemble ou seulement la partie supérieure est couvert par les calcaires d'encroûtement, ils sont sous forme des conglomérats polygéniques.

On note la présence de 2 discordance de type ravinement les 2 sont au niveau du calcaire pur de 2ème gradin La zone est affectée par des failles qui ont engendrés des petites failles de direction moyen allant de NNE-SSW à E-W et de longueur variable entre 15 à 30m au niveau des différentes formations , avec un plissement anticlinal de direction axiale NWN-SES au niveau de dolomite et schistes supérieur de la partie Est et d'autre sous forme d'ondulation de directions variables .

III. - ETUDE GEOCHIMIQUE :

1. Principe :

Prélèvement des échantillons des différents matériaux existant dans la zone tout en marquant la référence de chaque prélèvement, en suite ces éléments vont être transportés vers le laboratoire pour les analyser par méthode de fluorescence X pour connaître sa composition chimique (par % d'oxydes) en certains éléments majeurs, mineurs et traces, ces données géochimiques vont servir par la suite pour distinguer les endroits favorables à l'exploitation.

2. Méthode de travail :

2.1 Echantillonnage :

Munies d'un marteau et autres matériels utiles nous avons prélevé 19 échantillons de roches de façon à couvrir la totalité de la zone d'étude. Les échantillons récoltés sont issus de roches ayant les caractéristiques du faciès et sans altération. Il faut absolument prendre les

roches les moins altérées, sans cassures ni fractures pouvant permettre la circulation des solutions d'éléments étrangers à la roche. Par la suite, les échantillons sont mis dans des sachets, puis

numérotés à l'aide d'un stylo indélébile de telle sorte à pouvoir identifier facilement la zone et l'endroit d'où il provienne.

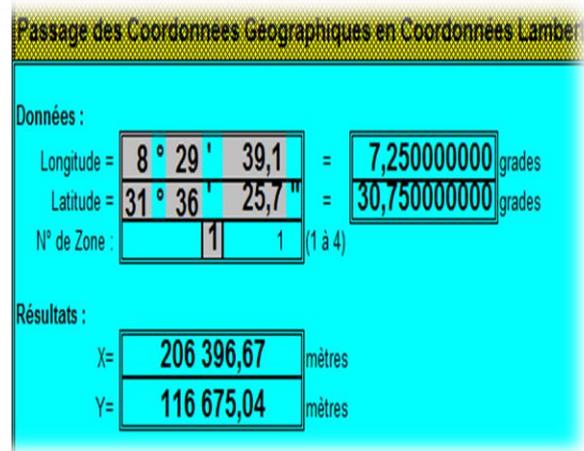
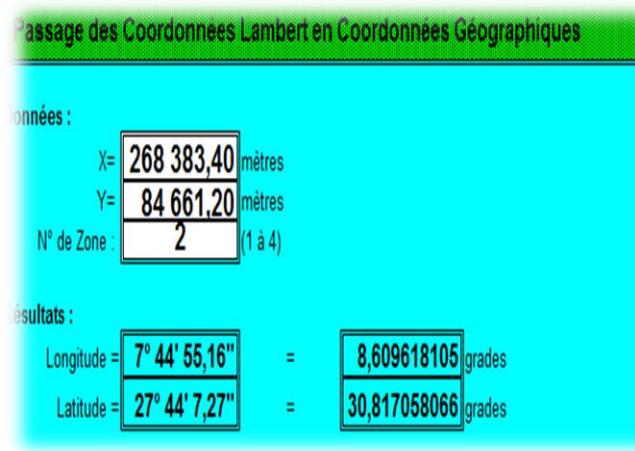
NB : chaque échantillon prélevé va subir un quartage c'est-à-dire il va être divisé en deux parties ; l'une destinée à l'analyse chimique par fluorescence x et l'autre à l'analyse minéralogique par confection des lames minces et par diffraction des rayons X.

Le travail effectué est représenté dans le tableau ci-dessous :

TABEAU 1: REFERENCES GPS DES PRELEVEMENTS EFFECTUES

Numéro échantillon	Nature échantillon	coordonnées point prélèvement			Niveau (gradin)	Lieu de prélèvement
		Longitude(m)	Latitude(m)	Altitude(m)		
1	Quartzite	206437,62	116455,05	380	1er gradin	Zone5-G1 (côté droit)
2	Schiste quartzitique	206446,25	116479,44	375		Zone5-G1 (côté droit)
3	Calcaire marneux	206481,07	116586,26	374		Zone5-G1 (côté droit)
4	Calcaire	206485,18	116724,8	372		Zone5-G1 (côté droit)
5	Schiste quartzitique	206476,19	116777,45	374	2ème gradin	Zone5-G1 (centre)
6	Dolomie	206444,84	116787,63	380		Zone5-G1 (centre)
7	Schiste inférieur	206306,55	116748,59	376		Zone5-G1 (côté gauche)
8	Calcaire marneux	206192,02	116533,21	375		Zone5-G1 (côté gauche)
9	Calcaire	206224,45	11670,62	376	3ème gradin	Zone5-G1 (côté gauche)
10	Schiste quartzitique	206311,41	116468,04	368		Zone5-G2 (côté gauche)
11	Calcaire	206267,16	116487,84	362		Zone5-G2 (côté gauche)
12	Calcaire	206236,55	116522,64	364		Zone5-G2 (côté gauche)
13	Schiste inférieur	206225,56	116596,92	360	Zone5-G2 (côté gauche)	Zone5-G2 (côté gauche)
14	Calcaire	206396,07	116675,04	368		Zone5-G2 (centre)
15	Calcaire marneux	206391,3	116582,76	364		Zone5-G2 (côté droit)
16	Quartzite	206356,6	116482,1	368		Zone5-G3 (côté gauche)
17	Calcaire	206347,95	116543,99	363	Zone5-G3 (côté gauche)	Zone5-G3 (côté gauche)
18	Quartzite	206421,72	116452,44	366		Zone5-G3 (centre)
19	Quartzite	206421	116517,17	366		Zone5-G3 (côté droit)

NB : la transformation des coordonnées géophysiques en coordonnées GPS « Lambert » a été faite par le logiciel suivant :



2.2 Technique d'analyse chimique par fluorescence X :

Avant d'être exposés aux rayons X sous forme d'une pastille, nos échantillons frais passent chacun par plusieurs étapes pour préparer cette pastille

A. Concassage :

Se fait à l'aide d'un concasseur à mâchoires qui sert à transformer les blocs en une matière meuble dont le diamètre des grains est inférieur ou égal à 5mm (Figure 20).

B. Etuvage

Il faut bien se rappeler que la matière concassée est encore humide, c'est-à-dire elle contient une certaine quantité d'eau qui va causer des problèmes au niveau du broyage (Colmatassions de la matière et agglutination de celui-ci sur les disques du broyeur). Le problème sera posé aussi au niveau de la spectrométrie car ses molécules vont intervenir dans les calculs d'analyses chimiques ce qui crée des erreurs au niveau des résultats, d'où la nécessité d'un séchage



Figure20: Concasseur à mâchoire (laboratoire de la société CIMAR)



Figure 21 : Etuve (laboratoire de la société CIMAR)

complet des échantillons avant de passer aux étapes suivantes, c'est pour ça on les met dans une étuve à 105°C pendant 12 à 16h.

On note bien que chaque échantillon doit être pesé dans un balance avant et après l'étuvage afin de comparer sa masse humide à celui sèche et ensuite pouvoir calculer son degré humidité (voir tableau partie résultats)

C. Broyage :

La matière par la suite est finement broyée à l'aide d'un broyeur à disques (figure 21).

Mode opératoire

-Rinçage par une petite quantité de la matière afin d'éviter sa contamination par la matière précédemment broyée.

-Broyage primaire : c'est à ce stade qu'on fait la séparation de la matière destinée pour les analyses par diffraction aux rayons X.

-On pèse 10g de la matière destinée à la fabrication de la pastille.

-Broyage secondaire par l'ajout d'un produit sous forme de pilules (3pilules pour chaque préparation) qui sert à empêcher l'adhérence de la matière contre les disques du broyeur.



Figure22: Broyeur à disque(laboratoire de la société CIMAR)

D. finition

Les 10 grammes finement broyés sont ensuite mis dans une pastille bien propre et pressés à l'aide d'une presse pour pastille sous une pression supérieure ou égale à 150 bar. (figure 23)



Figure23: Presse pour pastille(laboratoire de la société CIMAR)

E. Examen spectrométrique :

Dès que les pastilles sont prêtes à manipuler, on les soumet aux rayonnements X à l'aide d'un spectromètre (figure21) spécifique relié à un ordinateur qui montre les résultats des analyses.

Il s'agit d'une technique physique d'analyse. Elle permet des dosages allant de la ppm à 100% et consiste à l'irradiation d'échantillon par un faisceau de rayon X (Fig24)



Figure24: Spectromètre aux rayons X(laboratoire de la société CIMAR)

Les radiations primaires produites par le tube à rayons X excitent les atomes de l'échantillon et produisent l'émission de raies caractéristiques ou de fluorescence dans toutes les directions. (Figure 25)

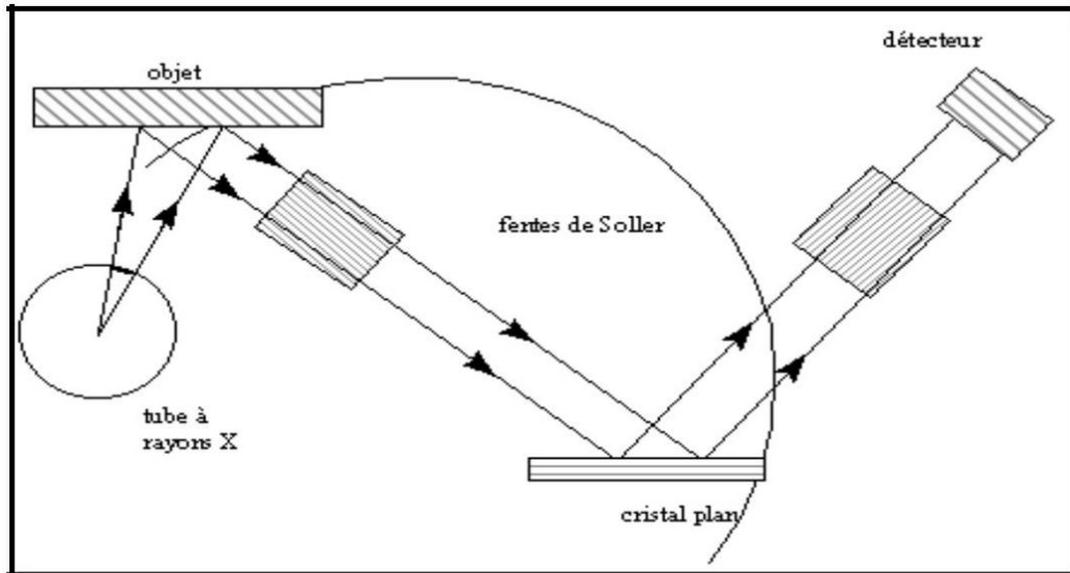


Figure25: Schéma représentatif du principe de fonctionnement de fluorescence X

La fraction de ces radiations qui passe à travers les fentes d'un collimateur est un faisceau parallèle dirigé sur un cristal analyseur. Ce dernier diffracte la longueur d'onde λ reliée à l'angle θ par l'équation de Bragg:

$$N\lambda = 2d \sin \theta$$

D	Distance inter-réticulaire
θ	Angle de réflexion ou de diffraction
N	Ordre (1, 2, 3...) de la réflexion. Le premier ordre est le plus généralement utilisé car il correspond à de plus fortes intensités
λ	Longueur d'onde

- L'intensité d'une raie de longueur d'onde est mesurée en choisissant un cristal convenable et en positionnant un détecteur à l'angle 2θ par rapport au faisceau incident.

- En bombardant la poudre à analyser par le rayon X primaire, chaque élément produit un rayon X secondaire (ou fluorescent) qui est diffracté selon la loi de Bragg. Ces rayons secondaires sont isolés et détectés par le détecteur. La concentration de l'élément analysé est proportionnelle au nombre de coups détectés par seconde.

Deux détecteurs sont couramment employés :

- À flux gazeux : le gaz du compteur est ionisé lors du passage d'un photon X. Il permet de détecter les éléments dont le numéro atomique est compris entre le sodium et le zinc.

- À scintillation : il s'agit d'un cristal d'iodure de sodium. Ce compteur permet d'analyser les éléments de numéro atomique supérieur à celui du fer.

Éléments analysés : dix-huit éléments majeurs, mineurs et traces sont analysés quantitativement dans les silicates selon leur teneur: Si, Al, Ca, K, Ti, Fe, Mn, P, Mg, Na, Pb, Cu, Sn, Sb, Rb, Zr.

3. Résultats et interprétations :

3.1 Echantillonnage :

En se basant des normes fixées par la société (annexe 2) et sur les observations et les tests effectués sur terrain on arrive à faire une première description lithologique de nos échantillons (voir tableau ci-dessous) :

Tableau 2 : DESCRIPTION MACROSCOPIQUE DES ECHANTILLONS A ANALYSER

(pour les illustrations voir page photos succédant ce tableau)

N° de l'échantillon	Référence de l'échantillon	caractérisation de l'échantillon	lithologie supposé	illustration
1	Q1r	rouge brunâtre consolidé	Quartzite	Illustration 1-A
2	SQS1j	jaune verdâtre peu consolidé	Schiste quartzitique supérieur	Illustration 1-B
3	CM1b	Brun consolidé	Calcaire marneux	Illustration 1-C
4	C1b	brun consolidé	calcaire pur	Illustration 1-D
5	SQS2j	brun jaunâtre moyennement consolidé peu ardoisé	Schiste supérieur quartzitique	Illustration 1-E
6	CDb	Brun rosâtre consolidé	Calcaire dolomitique	Illustration 2-A
7	SIM1r	Rouge, beige jaune peu consolidé à meuble	Schiste inférieur marneux	Illustration 2-B
8	CM2g	Blanc grisâtre Très consolidé	Calcaire marneux	Illustration 2-C
9	C2b	Blanc Très consolidé	Calcaire pur	Illustration 2-D
10	SIQb	Beige jaunâtre peu consolidé	Schiste inférieur quartzitique	Illustration 3-A
11	C3b	Blanc très consolidé	Calcaire pur	Illustration 3-B
12	SIM2j	Jaune à beige peu consolidé	Schiste inférieur marneux	Illustration 3-C
13	C4g	Gris claire à foncé très consolidé	Calcaire pur	Illustration 3-D
14	C5b	Blanc très consolidé	Calcaire pur	Illustration 3-E
15	CM3n	Noir peu consolidé	Calcaire marneux	Illustration 4-A
16	Q2b	Brun, jaune peu consolidé, ardoisé	Quartzite	Illustration 4-B
17	C6n	Noir consolidé	Calcaire pur	Illustration 4-C
18	Q3j	Brun jaune très consolidé	Quartzite	Illustration 4-D
19	Q4r	Brun rougeâtre très consolidé	Quartzite	Illustration 4-E

LST GARM 2017

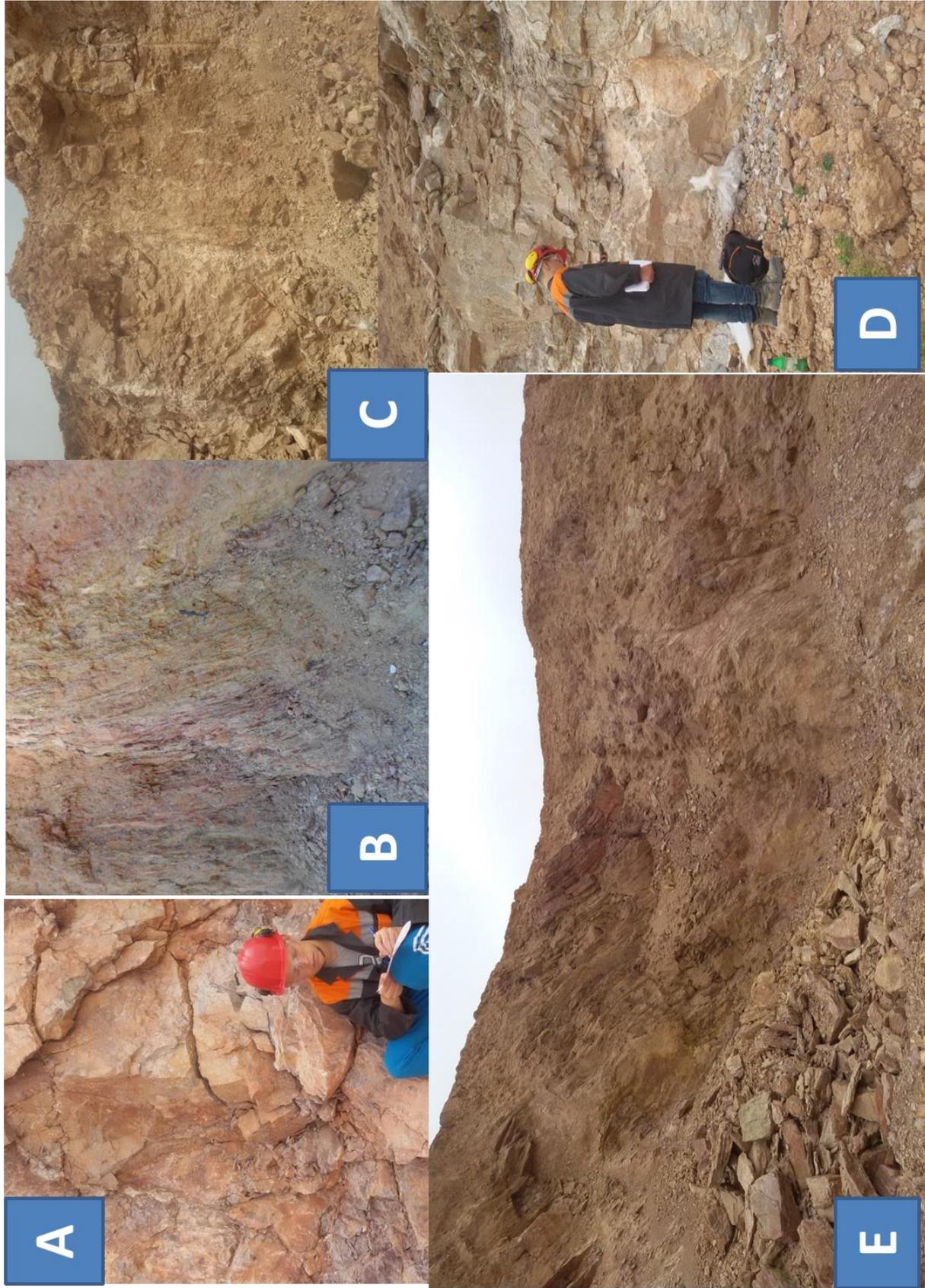


Illustration 1: montrant les faciés macroscopiques de la zone 5 carrière M'zoudia (A,B,C,D,E voir tableau 2)

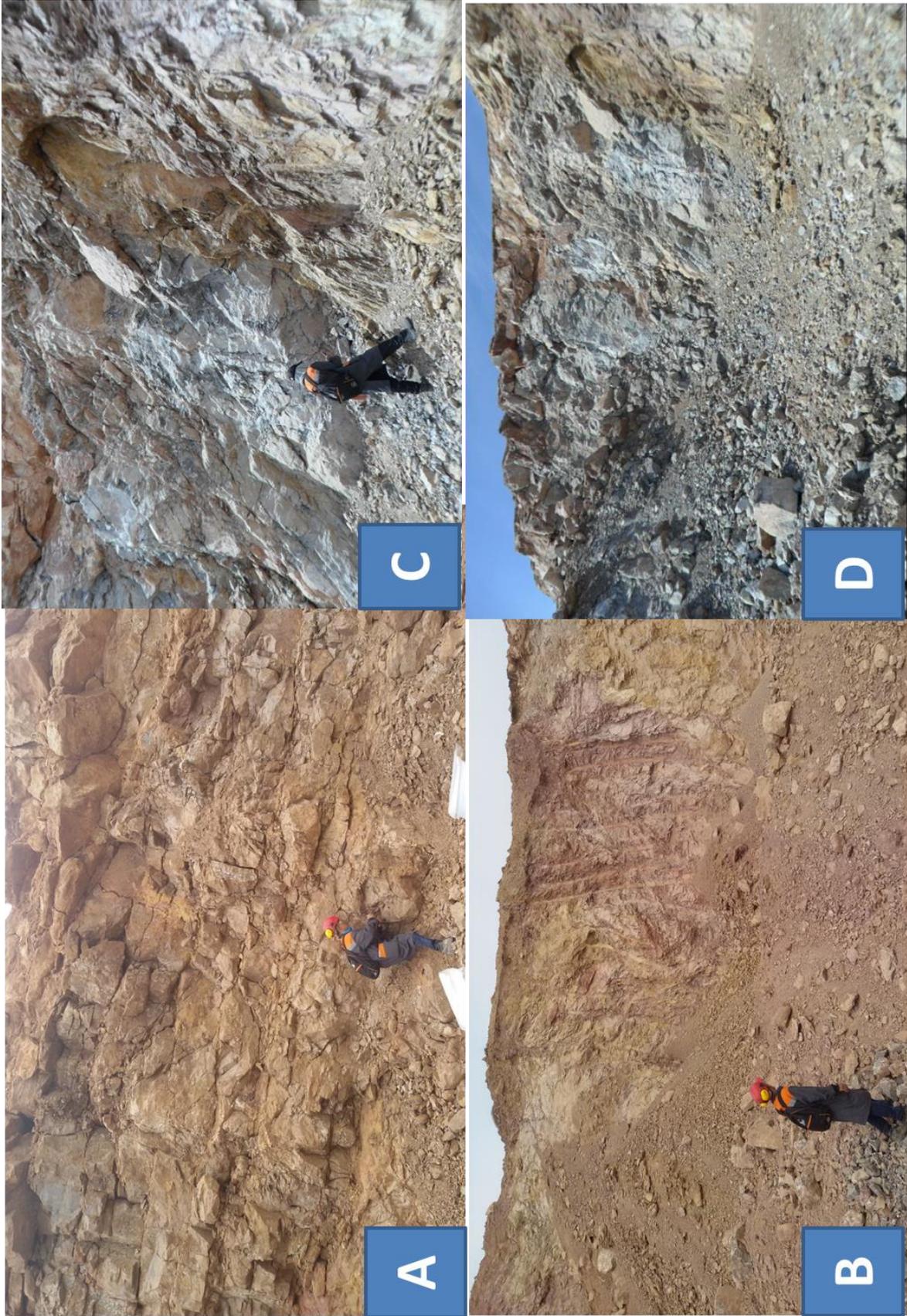


Illustration 2: montrant les faciès macroscopiques de la zone 5 carrière M'zoudia (A,B,C,D voir tableau 2)

LST GARM 2017

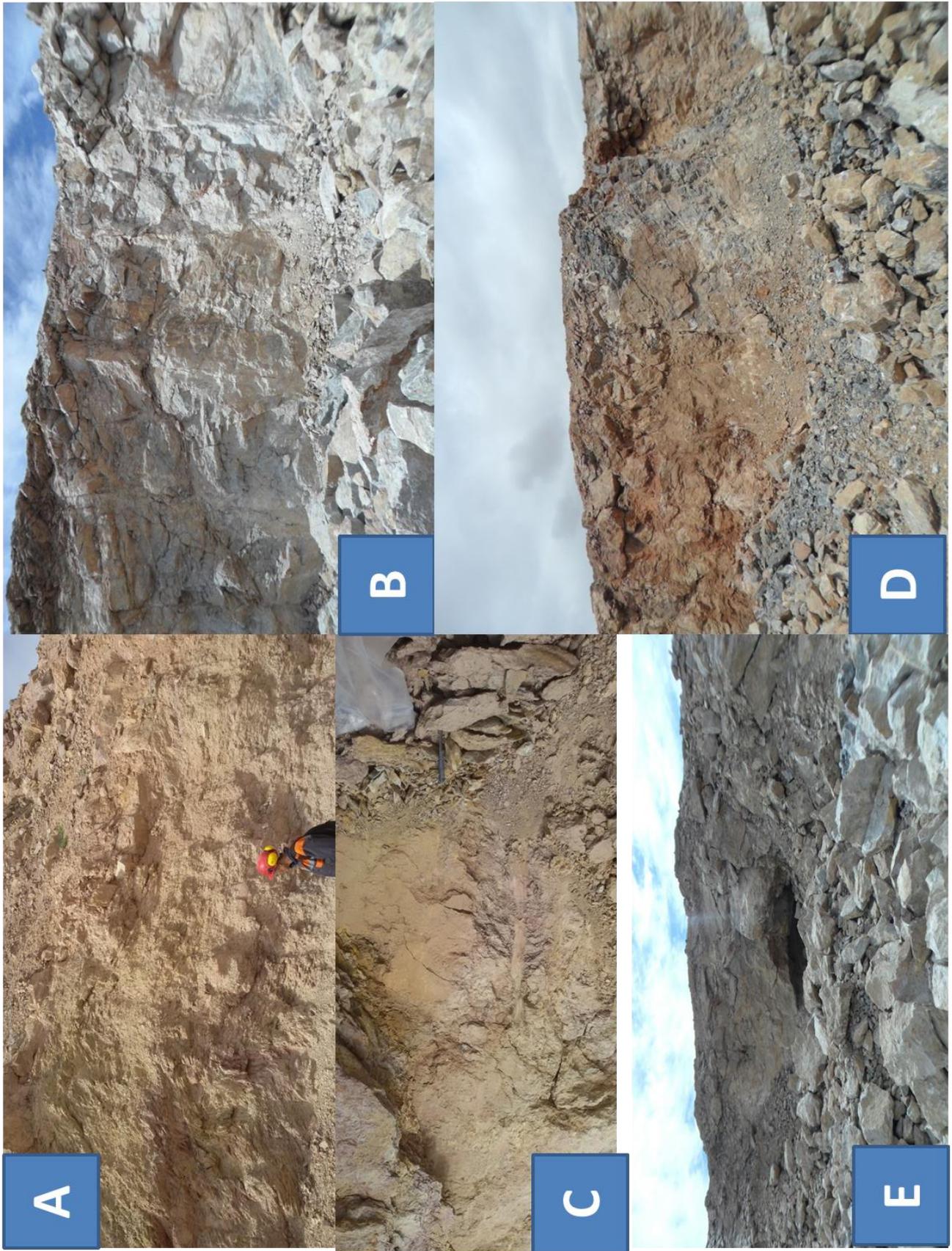


Illustration 3: montrant les faciès macroscopique de la zone 5, carrière M'zoudia (A,B,C,D ,E voir tableau 2)

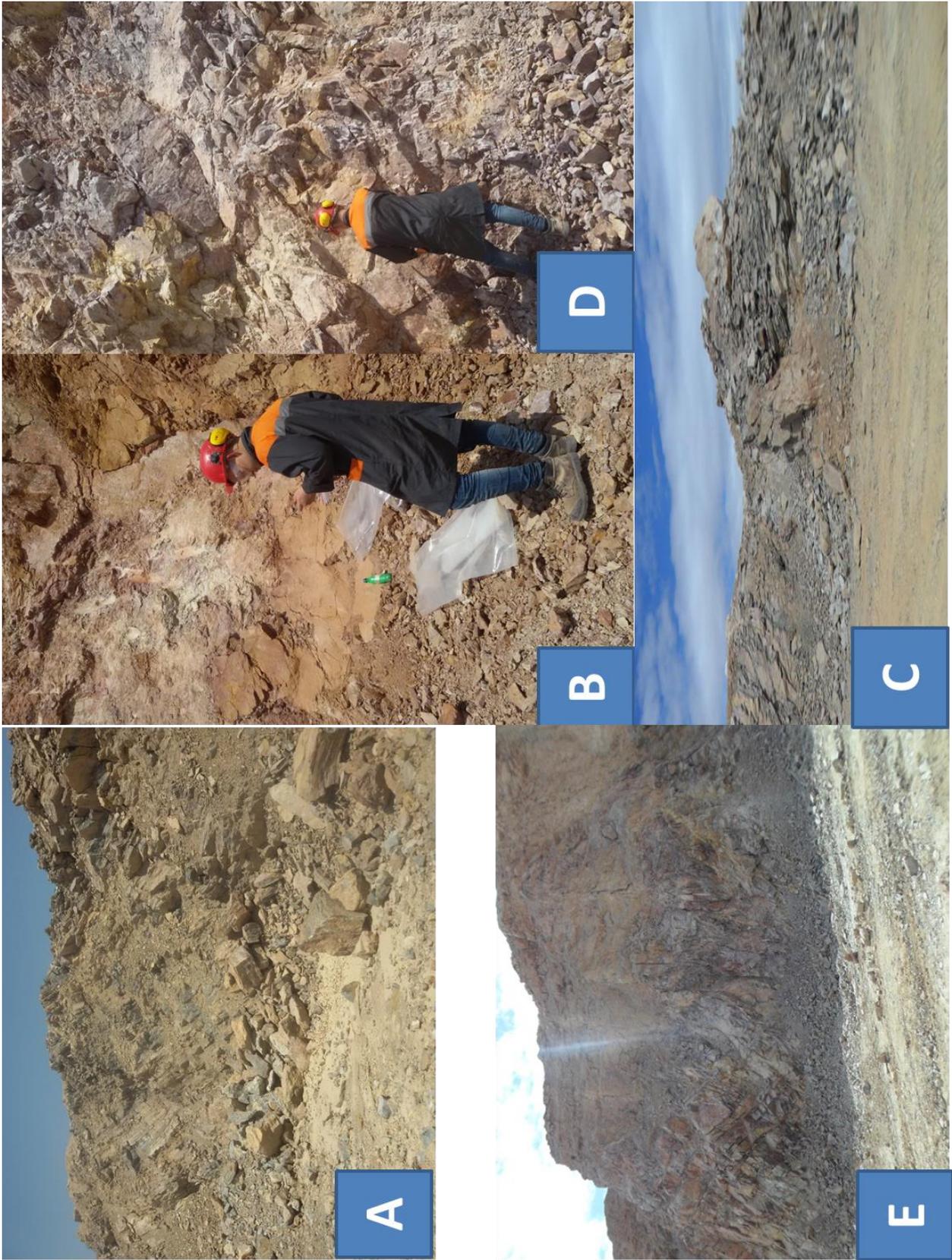


Illustration 4: montrant les faciés macroscopique de la zone 5, carrière M'zoudia (A,B,C,D,E voir tableau 2)

3.1 Etuvages :

TABLEAU 3 : CALCULE DE DEGRE D'HUMIDITE DES ECHANTILLONS SELON LES RESULTATS DE L'ETUVAGE

Numéro échantillon	Nature échantillon	Masse humide(g)	Masse sèche(g)	Mt(g)	Degré d'humidité
1	Quartzite	154,82	154,74	32,24	0,065
2	Schiste quartzitique	412,22	410,99	178,88	0,527
3	Calcaire marneux	788,3	788,3	644,43	0,16
4	Calcaire	238,67	238,66	107,95	0,008
5	Schiste quartzitique	402,55	401,46	178,9	0,487
6	Dolomie	152,9	152,4	31,81	0,413
7	Schiste inférieur	397,1	388,74	110,04	2,912
8	Calcaire marneux	165,5	165,31	32,23	0,143
9	Calcaire	948	947,87	644,45	0,043
10	Schiste quartzitique	338,67	336,81	134,17	0,91
11	Calcaire	365,18	365,18	107,97	0
12	Calcaire	452,77	352,7	134,12	0,022
13	Schiste inférieur	308,86	306,44	107,95	1,205
14	Calcaire	236,33	236,31	107,94	0,016
15	Calcaire marneux	235,14	234,9	107,99	0,189
16	Quartzite	415,09	413,39	107,07	0,552
17	Calcaire	381,91	481,08	178,91	0,409
18	Quartzite	148,12	147,76	31,81	0,31
19	Quartzite	252,77	252,62	107,81	0,103

mt: masse de tarage

D'après ces résultats on note que les matériaux de la carrière M'zoudia se trouvent en en trois états:

- **Matériaux moins humides :** calcaire et calcaire marneux.
- **Matériaux humides :** quartzites.
- **Matériaux très humides :**schiste inférieur, schiste supérieur et schiste quartzitique.



HUMIDITE	
	Masse (g)
tare	178,88
tare+MH	412,22
tare+MS	410,99
Humidité	0,527

Fenêtre du logiciel de traitement de l'Humidité des échantillons

3.2 Les Analyses chimiques :

TABLEAU 4 : RESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES PAR FLUORESCENCE X

Numéro échantillon	Nature échantillon	Analyses chimiques													
		SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	BaO	Cl	P2O5	TiO2		
1	Quartzite	91,8	2,31	0,47	0,31	0,04	0,061	0,1	0,002	0,004		0,065	0,212		
2	Schiste quartzitique	70,2	12,5	2,83	3,22	0,41	1,38	0,113	0,041	0,036		0,097	0,808		
3	Calcaire marneux	26,1	2,81	1,33	37	0,19	0,01	0,31	0,001	0,001	0,001	0,012	0,161		
4	Calcaire	0,53	0,07	0,07	56,5	0,33	0,01	0,02	0,004	0,012	0,001	0,005	0,005		
5	Schiste quartzitique	71,3	11,4	2,91	2,67	1,75	0,037	1,83	0,162	0,032		0,094	0,732		
6	Dolomie	0,59	0,51	5,89	35,4	18,1	0,01	0,12	0,01	0,002	0,009	0,015	0,03		
7	Schiste inférieur	54,2	22	9,39	0,52	0,98	0,07	2,89	0,456	0,07		0,175	1,448		
8	Calcaire marneux	16,3	5,31	1,71	39,9	1,34	0,01	0,91	0,006	0,004		0,025	0,235		
9	Calcaire	0,08	0,13	0,12	56,1	0,54	0,01	0,01	0,006	0,011		0,007	0,006		
10	Schiste quartzitique	70,1	13,5	2,96	2,37	0,64	0,027	2,1	0,088	0,038		0,086	0,847		
11	Calcaire	0,03	0,18	0,17	55,4	0,82	0,01	0,02	0,002	0,009	0,001	0,007	0,013		
12	Calcaire	0,37	0,51	0,19	54,8	0,49	0	0,09	0,003	0,007	0,001	0,017	0,024		
13	Schiste inférieur	57,4	20,6	5,45	2,15	0,51	0,028	2,15	0,162	0,063		0,222	1,315		
14	Calcaire	0,15	0,19	0,04	55,9	0,5	0,01	0,01	0,002	0,011	0,001	0,006	0,004		
15	Calcaire marneux	9,05	2,96	0,73	24,2	0,21	0	0,37	0,002	0,021	0,002	0,018	0,145		
16	Quartzite	64,1	12,6	2,58	5,18	0,88	0,038	2,19	0,067	0,037		0,124	0,839		
17	Calcaire	0,51	0,43	0,19	55,1	0,39	0,01	0,05	-0	-0	0,003	0,011	0,018		
18	Quartzite	84,4	3,31	1,31	6,6	0,09	0,065	0,35	0,013	0,004		0,066	0,206		
19	Quartzite	94,5	2,6	0,69	0,29	0,04	0,054	0,13	0,002	0,006		0,062	0,245		

LST GARM 2017

-On note que le site dont on a prélevé l'échantillon E6 (calcaire dolomitique) est non favorable à exploiter comme matière primaire du ciment car le pourcentage de MgO dans celui-ci est supérieur à 3% ce qui pourrait générer des gonflements qui entraînent une diminution des caractéristiques mécanique du béton (résistance)

-Le reste des échantillons est favorables à l'exploitation mais avec la nécessité parfois de quelques produits d'addition qu'on ajoute suivant des normes et des règles bien précises qui se basent sur le calcul de certains paramètres géochimiques (tableau 4).

3.1 Calcul de paramètres :

TABLEAU 5 : CALCULE DE PARAMETRES

Numéro échantillon	Nature échantillon	Calcul de paramètres		
		MS	A/F	LSF
1	Quartzite	33,0359712	4,91489362	0,001065439
2	Schiste quartzitique	4,5703125	4,42756184	0,015114291
3	Calcaire marneux	6,30676329	2,11278195	0,479268808
4	Calcaire	3,78571429	1	35,12992664
5	Schiste quartzitique	4,99579832	3,90721649	0,012423539
6	Dolomie	0,0921875	0,08658744	6,121496942
7	Schiste inférieur	1,72492837	2,34504792	0,002836545
8	Calcaire marneux	2,31623932	3,10526316	0,755587867
9	Calcaire	0,32	1,08333333	124,8108589
10	Schiste quartzitique	4,2717855	4,54391892	0,011078545
11	Calcaire	0,08571429	1,05882353	139,1315261
12	Calcaire	0,52857143	2,68421053	31,29923507
13	Schiste inférieur	2,20437956	3,77614679	0,0114229
14	Calcaire	0,65217391	4,75	83,62765639
15	Calcaire marneux	2,45257453	4,05479452	0,827104145
16	Quartzite	4,22529644	4,88372093	0,026427493
17	Calcaire	0,82258065	2,26315789	26,90055626
18	Quartzite	18,2640693	2,52671756	0,027390916
19	Quartzite	28,7142857	3,76811594	0,001008352

Une première analyse de ce tableau n°4 permet de conclure sur les dosages à faire si on utilise ces matériaux pour le ciment (Annexe 3), ainsi :

- Pour les échantillons E7, E8, E12, E13, E14 et E15 : on ajoute les marnes comme source d'Al (suivant les calculs du module A/F)
- Pour les échantillons E9, E11 et E17 on ajoute les cendres de pyrrhotites comme source de fer (suivant les calculs du module A/F)
- Pour les échantillons E9, E11, E12, E14 et E17 : on ajoute les marnes comme source d'Al (suivant les calculs du module KHUL)
- Pour les échantillons E7, E8, E13, E15 on ajoute les calcaires purs comme sources de la chaux (suivant les calculs du module KHUL)

Pour les échantillons E1, E2, E3, E5, E10, E16, E18 et E19 : les matériaux correspondant ne sont pas des bonnes matières premières pour la fabrication du ciment car ils ont un module silice anormale ($MS > 4$) la source de la silice dans ces matériaux est contribué au quartz, ce qui les rend des nuisible pour la fabrication des cimenteries.

3.2 Cartes géochimiques de la zone 5

Afin de voir la répartition spatiale des teneurs géochimiques, 6 éléments principaux pour la fabrication du ciment ont été projetés (il s'agit du CaO, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃ et MgO) sur la carte des faciès de la zones 5. Le résultat est sous forme de pour établir 6 cartes géochimiques de ces éléments qui sont indispensables pour la fabrication du ciment. Ces cartes vont permettre de mettre en évidence les variations des teneurs de ces éléments à l'échelle de la zone d'étude pour guider et diriger l'exploitation au niveau de cette zone.

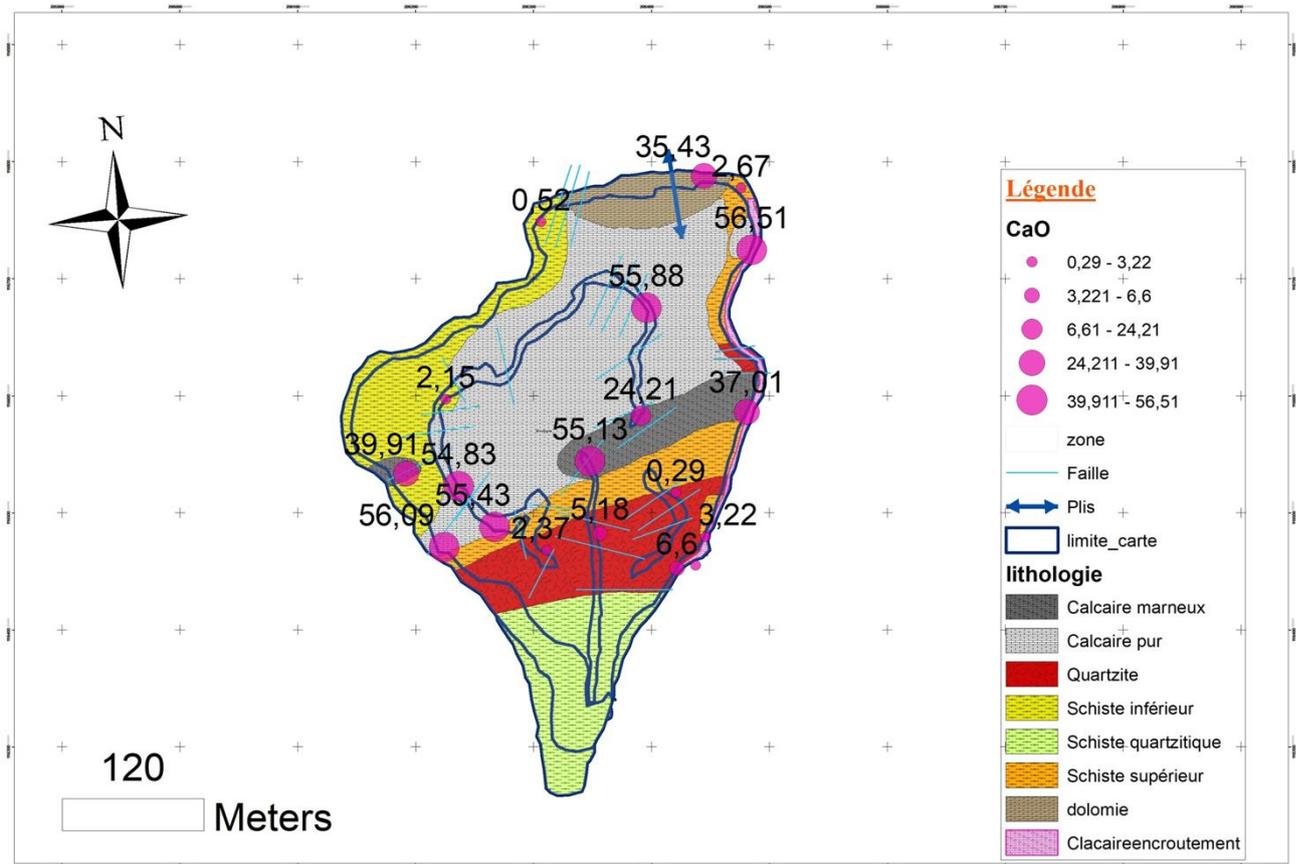


Figure 26 : Carte géochimique des teneurs en CaO

-L'analyse de cette carte montre la que répartition de la chaux et surtout uniforme dans la partie centrale de la zone 5. Les formations riches en chaux se concentrent au milieu de la zone au niveau des formations carbonatées (calcaire pur et calcaire marneux)

-on note bien que les teneurs en chaux s'intensifient au milieu de la partie ouest de la zone c'est ce qu'on peut expliquer par la présence d'une fracturation intense dans ce site qui à permet la formation de veinules à remplissage de la calcite, ce qui est également confirmé par les pourcentages élevés de la chaux au niveau des échantillons qui ont été prélevé dans ce site (E9, E11, E12) (tableau 4) .

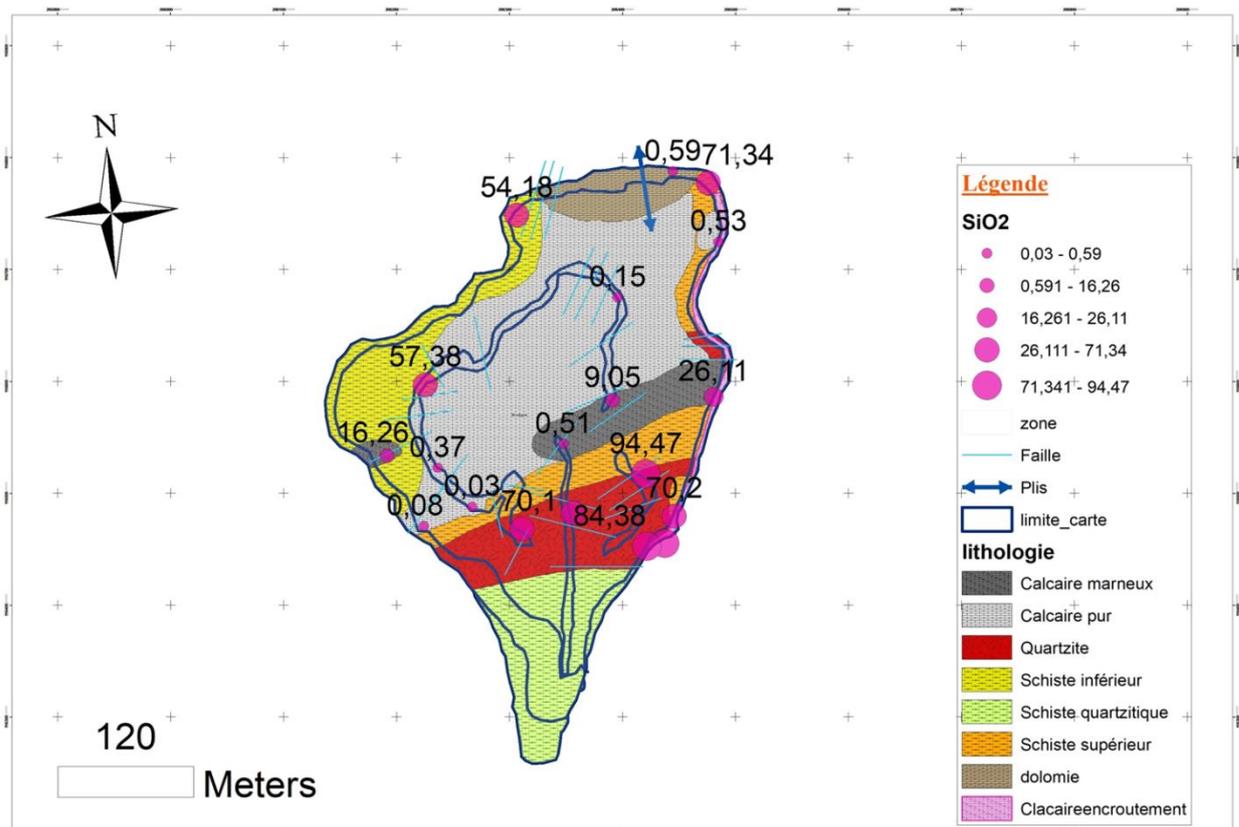


Figure 27 : Carte géochimique des teneurs en SiO2

-La carte géochimique de la figure 27 montre que les formations quartzitiques ou schisto-quartzitiques qui présentent des teneurs SiO₂ allant jusqu'à 94ppm peuvent être utilisé comme source de silice pour l'usine de cimenterie. Cependant la lithologie de ces formations : est de natures quartzites qui sont des roches métamorphiques (grain de quartz détritiques.). les grains de quartz sont connu pour leur caractère nuisible pour la fabrication de ciment car pénalisant pour l'usine.

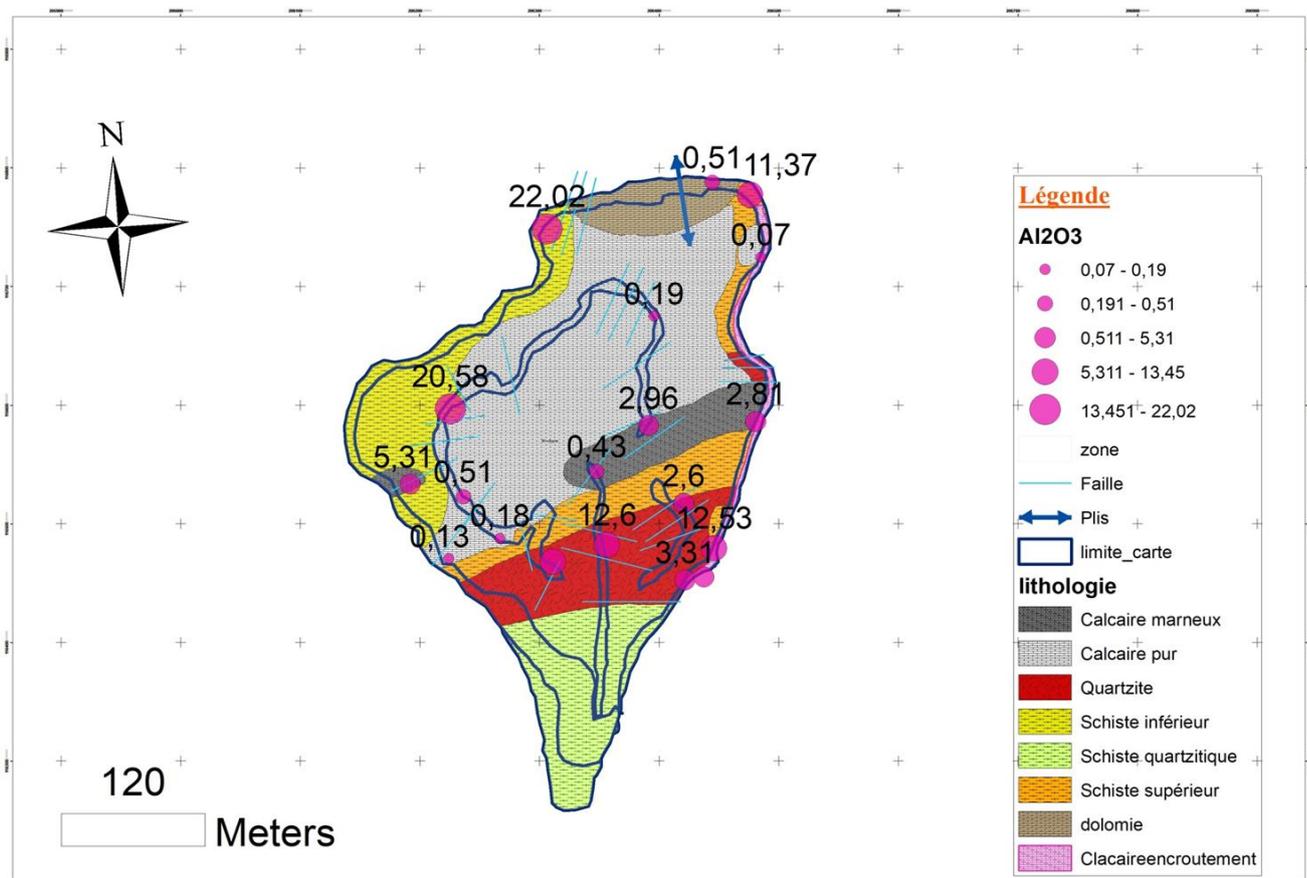


Figure 28 : Carte géochimique des teneures en Al₂O₃

-l'alumine se trouve en quantité importante au niveau des schistes (sup et inf) et des quartzites surtout au niveau des contacts entre ces dernières avec les facies carbonates (calcaires et dolomies)

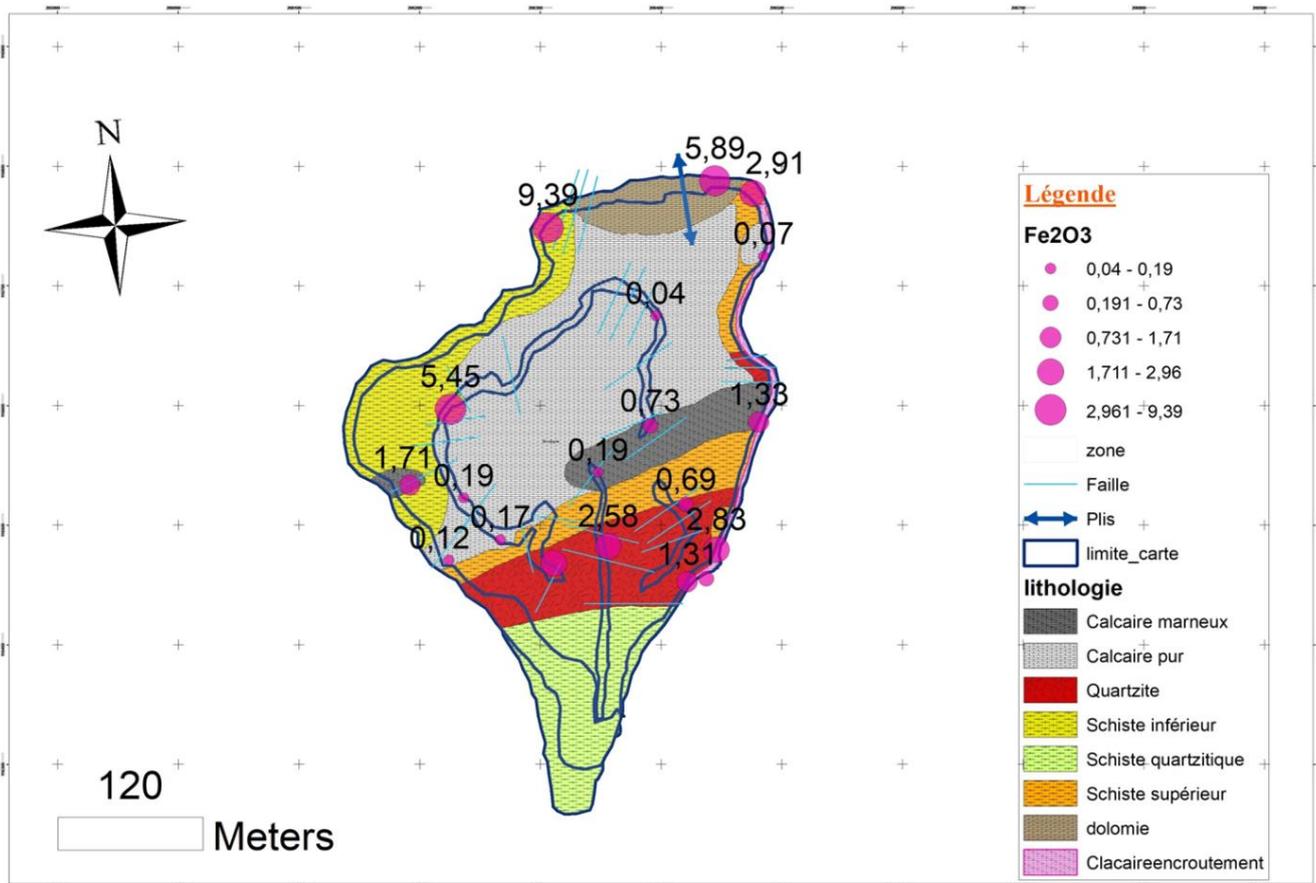


Figure 29 : Carte géochimique des teneurs en Fe2O3

-de même que la distribution que l'alumine, sauf que le Fe2O3 se montre en quantités importantes ainsi au niveau des calcaires magnésiennes (dolomiess)

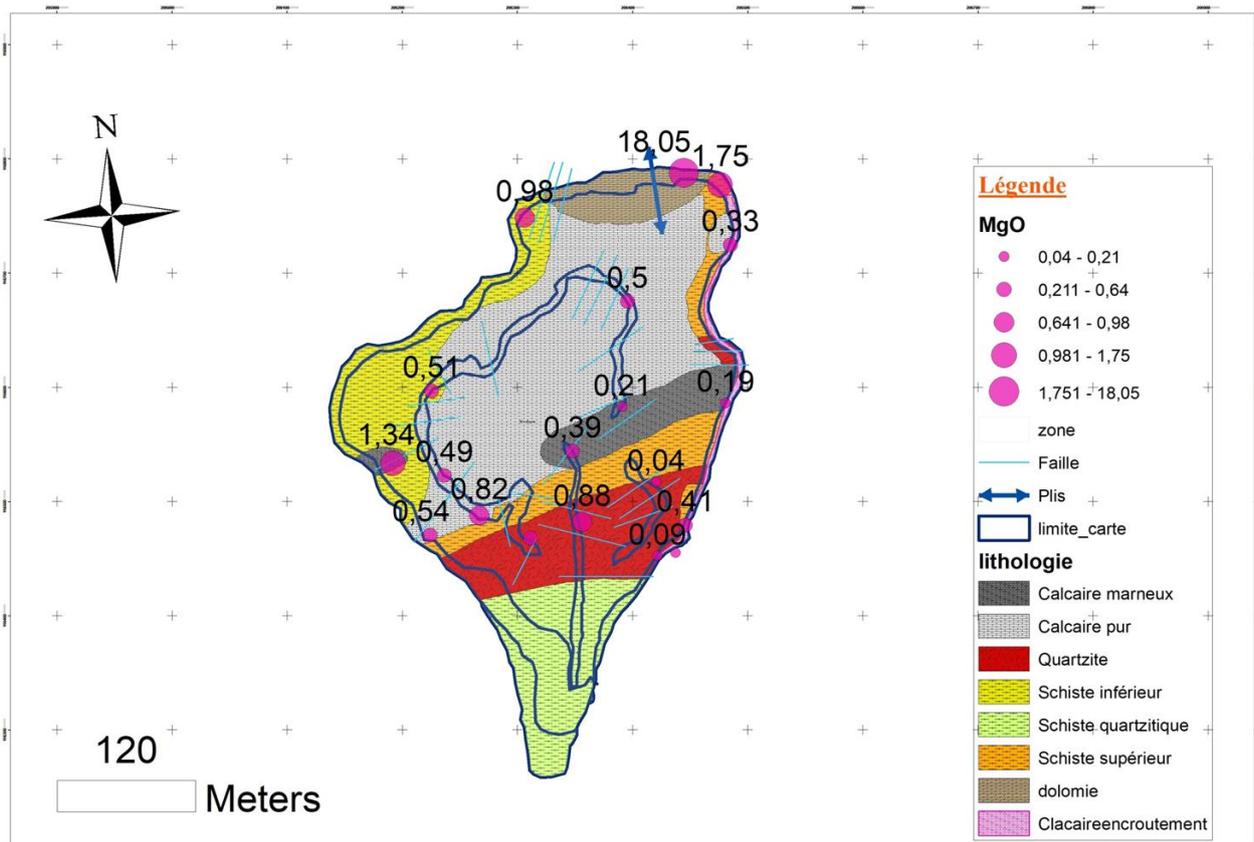


Figure 30 : Carte géochimique des teneures en MgO

La carte de distribution du MgO montre que les teneures intenses se situent au niveau des dolomies et dans le poche carbonate apparaissant sur les schistes inférieurs. Les teneurs peuvent dépasser 18ppm au nord de cette zone 5.

Conclusion :

D'après ces résultats cartographiques, l'exploitation des matières primaires pour le ciment doit être :

-Concentrée au milieu de la zone et dans la partie ouest vu l'abondance d'élément indispensable pour la fabrication du ciment tel que la CaO Al_2O_3 FeO_2

-Arrêtée au niveau de partie N-S vue la présence d'élément pénalisent pour le ciment (la MgO et le quartz)

IV. ETUDE MINERALOGIQUE

Afin d'avoir une idée sur les microfaciès constituant les roches de la zones, et surtout avoir une idée sur les minéraux siliceux qui intéresse l'industrie du ciment. On se pose la question sur la nature de ces minéraux qui peuvent se présenté sous différents états. Ils peuvent être sous forme de SiO_2 à l'état libre en excès sous forme de quartz ou en combinaison avec d'autres éléments comme les argiles et les micas...

Pour répondre à la question, on a essayé de confectionné une dizaine de lames minces à étudier au microscopique et dont 4 uniquement ont abouti dans. les schistes supérieur et inférieur. Avant de décrire les microfaciès, ont fera une description des étapes de confection de lames que nous avons préparé nous-même :

1. Mode opératoire :

1.1 Préparation des lames minces :

A. Le sciage:

Opération qui s'effectue à l'aide d'une scie à disque diamanté afin d'obtenir un talon (Encore appelé sucre ou esquille), (figure 22-A-).

B. Le polissage:

Consiste à polir la surface du talon destinée au collage sur la lame de verre rodée en utilisant un abrasif (carbure de silicium) dans une gamme granulométrique de 400, 600 et 800.

La machine utilisée est appelée une rodeuse, elle permette le rodage automatique des talons, des lames porte-objet, et de la mise à épaisseur finale des lames minces. Equipée d'un porte échantillon pouvant recevoir jusqu'à 12 lames, de 2 porte-talons pouvant accepter jusqu'à 12

pièces, d'un système de contrôle et de maintien en géométrie du plateau, d'un stand de mesure de contrôle d'épaisseur, et d'un lot de consommables de mise en route, (figure 22-B-).

C. Le séchage:

Le talon ainsi poli est séché sur plaque chauffante à thermostat portée à une température de 70°C, (figure 22-C-)

D. Le rodage des lames de verre:

C'est un plissage des lames vierges, par l'abrasif 800, afin de parfaire l'adhésion lors du collage. L'appareil utilisé est le tasseau. L'épaisseur des lames rodées est mesurée par le comparateur. (Figure 22-D-).

E. Le collage:

Se réalise par l'utilisation d'un adhésif spécial : l'araldite. Elle est préparée par mélange instantané d'une résine et d'un durcisseur. Le collage dure 24 heures à température ambiante ou 3 heures à 70°C. (Figure 22-E-).

F. L'arasement:

S'effectue à l'aide de la microscie à disque diamanté et consiste à araser l'esquille pour ne garder qu'une épaisseur de l'ordre de 2 mm, (Figure 22-F-).

G. La rectification:

Permet de ramener l'épaisseur du reste du talon arasé à 100 µm. La rectifieuse est composée d'une meule diamantée et d'un porte lame amovible dont le mouvement translatore est contrôlé par celui rotatoire du dispositif de mesure d'épaisseur : le micromètre, (Figure 22-G-).

H. La finition:

Ultime étape de confection, elle permet d'obtenir une épaisseur de 25 à 30 µm, tout en contrôlant la qualité de la lame sous microscope optique. Un éventuel recouvrement par lamelle se fait à l'aide d'une colle spécifique : le baume de Canada,

1.2 Examen microscopique :

L'étude des lames minces à l'aide d'un microscope optique polarisant, consiste à effectuer un certain nombre d'observations, dont le but est de déterminer les propriétés physiques et optiques des minéraux. Ces observations vont permettre de décrire la nature des minéraux constituant la roche. On peut ainsi quantifier les minéraux par comparaison des quantités des minéraux de la roche entre elles (Hervé Coulon,1987).

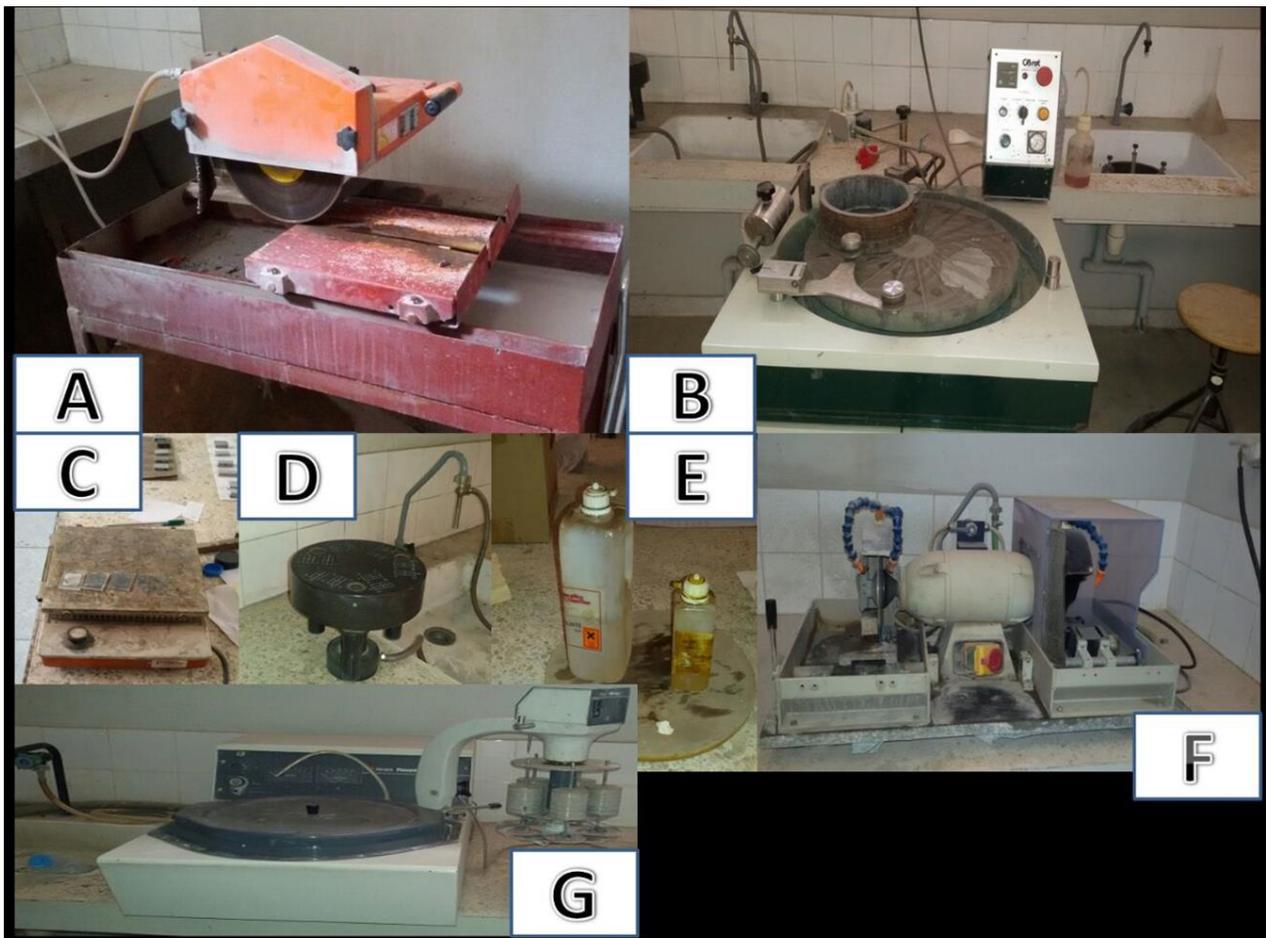


Figure31 : Appareillage de la confection des lames minces (atelier des lames minces FSTG)

2. Résultats et interprétations

L'examen microscopique des lames minces nous a permis de déterminer la minéralogie de chaque lames et parfois même la chronologie des événements au cours de la minéralisation.

La lame E16 :

Le microfaciès est formé par 2 phases les oxydes de fer et le quartz (Figure 32-E16)

La lame montre l'absence de litage et d'orientation des grains ou de cristaux, les minéraux présentent des contacts parfois concavo-convex et imbriqué avec une abondance de ce dernier, ces contacts nous informe que la roche a subit a une diagenèse plus intense.

La lame E5 :

Elle montre essentiellement du quartz et des oxydes de fer. (Figure 32-E5)

La lame montre un faciès schisteux grâce à la présence de certains litages (l'orientation préférentielle des minéraux), aussi l'oxydation est bien visible et bien observé sous formes des fissures rempli par des oxyde de fer .

La lame E2 :

Minéralogie : quartz + les oxydes de fer + la calcite (rare) (Figure 32-E2)

Le contact concavo_convexe entre les grain est moins intense que celui de la lame E16 mais plus intense que celui de E5 ; ce qui signifie que la compaction est intermédiaire est une diagenèse de moyen intensité , la calcite est purement entouré les grains de quartz , ce que signifier aussi qu'on a pas un stade parfait de diagenèse.

La lame E10 :

Minéralogie très riche en quartz + les oxydes de fer + la calcite. (Figure 32-E10)

Le microfaciès de cette lame ressemble à celui de la lame E2. Il montre des grains de quartz avec une taille très grande par rapport aux autres lames. Les contacts entre les grains sont linéaires et ou ponctuelles justifier que la diagenèse (compaction) est de faible à moyen intensité, la calcite entouré les grains de quartz confirme cette faible intensité.

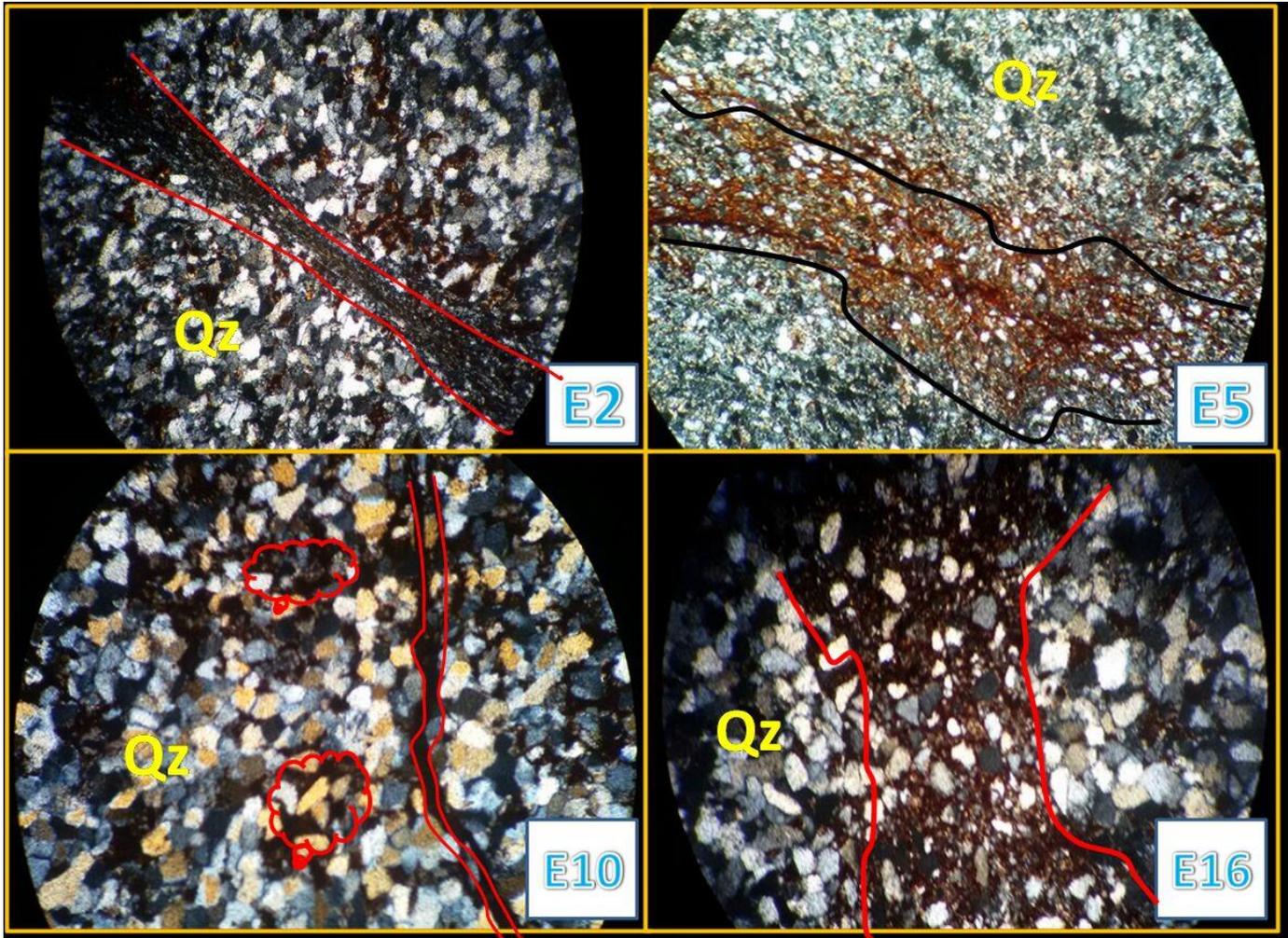


Figure 32: Lames minces vu au microscope polarisant GX400

3. Conclusion

L'observation au microscope des lames minces des schistes montre une La déférence au niveau de la taille des grains de quartz et au niveau du degré de compaction (contact) entre ces dernier. Cette observation justifie la variation du degré de diagenèse variable dans la carrière de Mzoudia. On note aussi l'abondance des grains quartzitique explique l'origine de la silice qui montre abondante dans les analyses chimiques (plus de 60 à 70%).

La présence des oxyde de fer, sois disséminés sous de plages isolés ou en remplissant des fissures qui peuvent correspondre au plan de schistosité, peut expliquer les teneur du fer détecter au niveau des analyses chimiques.

CONCLUSION GENERALE

L'étude cartographique, géochimique ainsi que mineralogique des affleurements de la zone 5 de la carrière de M'zoudia, effectuée dans le cadre de notre projet de fin d'étude a abouti aux résultats suivants:

La carte géologique 1/450 de la zone 5, réalisée sur le terrain et appuyée par des points GPS ; montre l'organisation des différents faciès de carbonates et de schiste sous forme d'un monoclinal de direction NE-SW à pendage vers le SE. Ce monoclinal est traversées par des fractures de direction moyen allant de NNE-SSW à E-W et de longueur variable entre 15 à 30m. On note aussi de rares plis d'entraînement sous forme d'ondulation de directions variables.

- Concernant l'étude géochimique, un échantillonnage ciblé a été réalisé et accompagné d'une observation macroscopique faciès. Ainsi, 19 échantillons ont été prélevés de façon à couvrir la totalité de la zone, et analysés au laboratoire à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X. Les corrélations entre tous ce qui est cartographique et géochimique ont abouti à 6 cartes géochimique montrant la répartition des teneurs des éléments indispensables pour la fabrication du ciment (CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, MgO).

L'analyse de ces cartes géochimique montre que :

- ❖ Pour la carte des teneurs en chaux (figure 26), la répartition de la chaux est surtout uniforme dans la partie centrale de la zone 5. Les formations riches en chaux se concentrent au milieu de la zone au niveau des formations carbonatées (calcaire pur et calcaire marneux) .on note ainsi que les teneurs en chaux s'intensifient au milieu de la partie ouest de la zone c'est ce qui est du à la fracturation intense de ce site qui à contribuer à la circulation de fluides riches en chaux sous forme de veinules à remplies de calcite, ce qui est également confirmé par les pourcentages élevés de la chaux au niveau des échantillons qui ont été prélevé dans ce site (E9, E11, E12) (tableau 4).
- ❖ La carte des teneurs en silice géochimique (figure 27) montre que les formations quartzitiques ou schisto-quartzitiques qui présentent des teneurs SiO₂ allant jusqu'à 94ppm peuvent être utilisé comme source de silice pour l'usine de cimenterie.

Cependant la lithologie de ces formations : est de natures quartzites qui sont des roches métamorphiques (grain de quartz détritiques.). Les grains de quartz sont connu pour leur caractère nuisible pour la fabrication de ciment car pénalisant pour l'usine. Ce qui rend ces facies inutile pour la fabrication du ciment.

- ❖ Pour la carte des teneurs en Al_2O_3 (Figure 28):l'alumine se trouve en quantité importante surtout au niveau des schistes (sup et inf.) et des quartzites
- ❖ Pour la carte des teneurs en Fe_2O_3 :(Figure 29) de même que la distribution que l'alumine, sauf que le Fer se montre même au niveau de calcaires magnésiennes (dolomie)
- ❖ pour la carte des teneurs en MgO (figure 30) La distribution du MgO montre que les teneuses intenses se situent au niveau des dolomies et des contacts calcaire-dolomie. Les teneurs peuvent dépasser 18ppm au nord de la zone d'étude.

-La confection d'une dizaine de lames minces (dont 4 uniquement ont abouti dans les schistes supérieur et inférieur) a été réalisé aussi pour la caractérisation microscopique. L'étude au microscope polarisant a permis de mettre en évidence les microfaciès de schiste à grain de quartz de taille différentes.

A la lumière des résultats obtenus ; des affleurements bien précis dans la zones ont été caractérisés est valorisés comme sources de matière première qui pourrait améliorer la qualité du ciment de l'usine CIMAR- Marrakech.

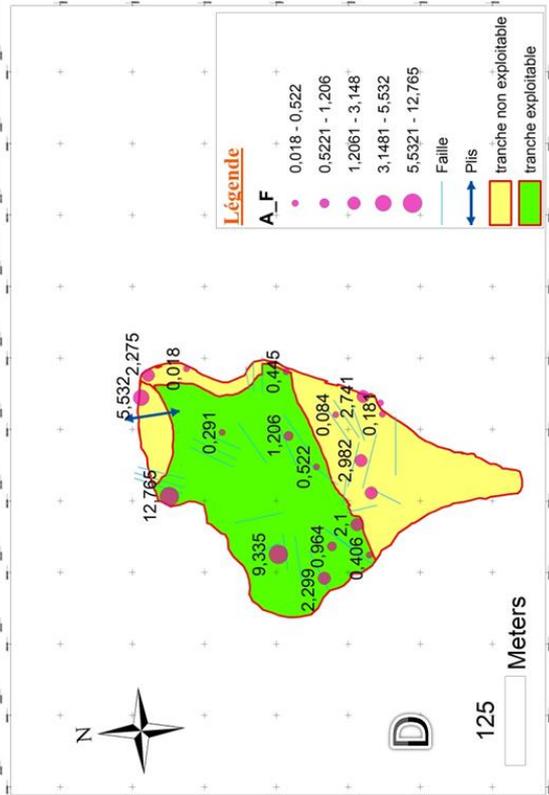
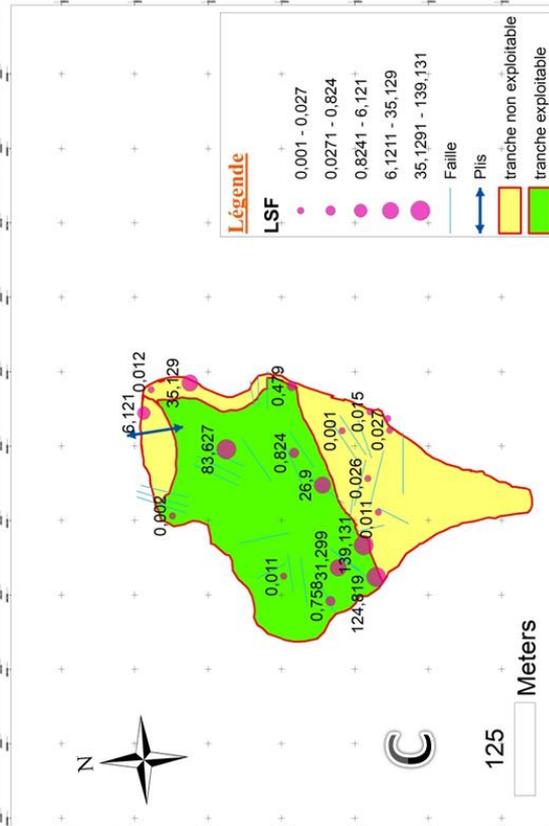
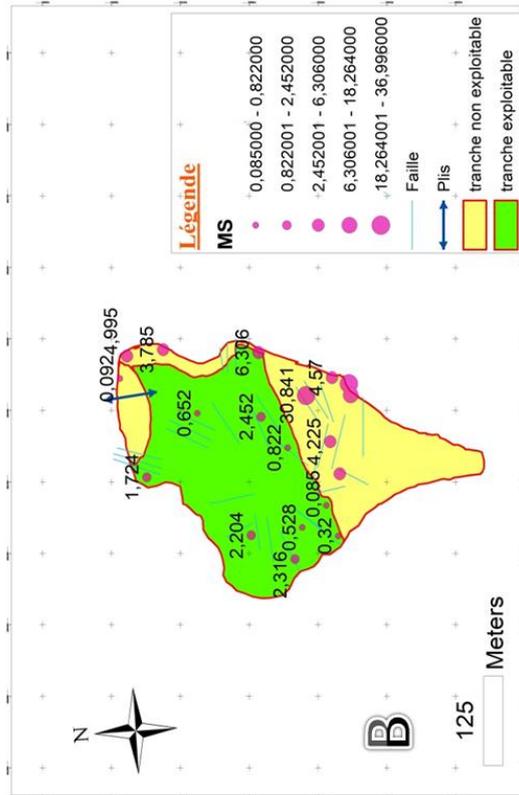
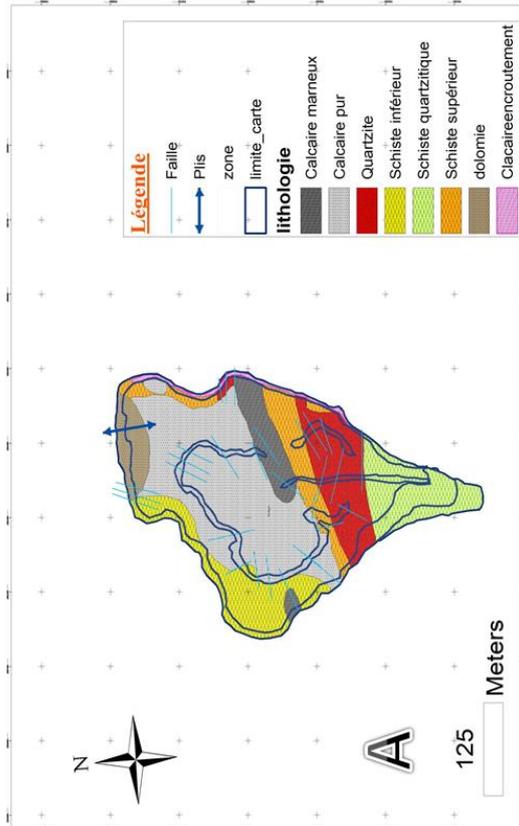


Figure 33: (A: carte de faciès de la zone 5, B: carte de paramètre MS, C: carte de paramètre LSF, D: carte de paramètre A/F).

PERSPECTIVES

Pour la bonne maîtrise de matériaux de la zone 5 carrière de Mzoudia, nous suggérons:

- ❖ Confirmer les analyses chimiques à chaque fois par d'autre analyse minéralogique pour la mise en valeur des teneurs en minéraux impropres à l'exploitation tels que le quartz et la dolomite.

- ❖ Faire des analyses minéralogiques plus poussées en utilisant des techniques plus précises telles que la diffraction des rayons X, la spectroscopie d'absorption infrarouge, et l'ICP qui donnent des teneurs exactes des différentes phases minéralogiques.

- ❖ Utiliser la calcimétrie pour estimer le pourcentage de CaCO_3 et $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ pour les calcaires et les calcaires dolomitiques.

- ❖ Mieux se baser sur des études géologiques comme guide d'exploitation.

REFERENCES BEBLOGRAPHIQUES

- ❖ **Hervé Coulon (1987)** Propriété physico chimique de sédiments argileux français : contribution au stockage de déchets radioactifs- Thèse présenté à l'UST de Lille Flandres- Artois.
- ❖ **Tahiri A (1982)** Litho-stratigraphie, structure et métamorphisme de la partie sud des Jebilet occidentales autochtones et allochtones. Thèse 3em cycle Université Aix-Marseille III,
- ❖ **Arfa et assouka (2016)** Caractérisation et analyses microscopiques et géochimiques des affleurements de la carrière M'zoudia, JebelArdouz, Le Haouz occidental, Maroc – Mémoire de stage de fin d'étude 1st GARM, FST Marrakech.
- ❖ **Benaziz et Essimmou (2012)** Etude géologique de la zone 5 : cartographie et calcule des réserves quartzitiques– Mémoire de stage de fin d'étude 1st GARM, FST Marrakech.
- ❖ **Ezzoughri et Elhakiki (2012)** rapport de stage OFPPT Marrakech

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- ❖ Le groupe Heidelberg [en ligne] disponible sur http://fr.wikipedia.org/wiki/Heidelberg_cement.
- ❖ Le groupe Heidelberg [en ligne] disponible sur :<http://www.heidelberg.com/en/pr-20/10/2016>.
- ❖ Heidelberg cement dans le monde [en ligne] disponible sur : http://www.ciment_du_maroc.com.fr
- ❖ La grande paroisse[en ligne] disponible sur : <http://grandeparoisse.free.fr/ciment.html>
- ❖ Ciments du Maroc[en ligne] disponible sur : <http://www.cimentsdumaroc.com/NR/rdonlyres/628ACE90-34E1-4343-9B05-4DDCEA8FE4B3/0/PlaquetteMarrakech.pdf>

LES ANNEXES

Annexe 1: Répartition des différentes catégories de ciment dans les sept silos de l'usine en fonction de qualité et du mode de livraison (document propre à ce travail)

Silo	Livraison en Sac	Livraison en vrac
S1	-	X (CPJ 55)
S2	-	X (CPJ45)
S3	Cendre volant	
S4	X (CPJ 45)	-
S5	X	-
S6	X	X
S7	-	X

Annexe 2: Les normes qui déterminent la composition chimique des matériaux premiers de la carrière de M'zoudia (documents internes de la société)

Composition chimique des matériaux premiers (% en oxydes)						
	Calcaire pur	Calcaire dolomitique	Calcaire d'encroutement	Calcaire marneux	Marne	Schiste inférieur
SiO ₂	<5	<10	5 à 25	10 à 25	35 à 45	40 à 60
Al ₂ O ₃	=<1	=<2	<5	<10	6 à 13	12 à 22
Fe ₂ O ₃	=<1	=<2	<3	<3	<3	4 à 10
CaO	>48	38 à 48	32 à 44	30 à 40	15 à 30	6 à 14
MgO	=<4	4 à 15	<4	<4	<3	<3
SO ₃	=<1	=<1	<1	<1	<1	<1
PF	>40	>30	>35	>30	<30	<30

LST GARM 2017

Paramètres	Formule	Signification
Module silicique (MS)	$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$	<p>une bonne matière doit avoir un module silicique $MS < 4$:</p> <p>la silice est contenue dans des minéraux différents du quartz tels que les argiles ou les micas.</p>
Module de degré de saturation en CaO (KHUL)	$KHUL = \frac{CaO}{(2.8SiO_2) + (1.1Al_2O_3) + (0.7Fe_2O_3)}$	<p>-Si le KHUL est inférieur à 0.96 on ajoute du calcaire pur.</p> <p>-Si le KHUL est supérieur à 0.96 on ajoute des marnes.</p>
Module aluminoferrique A/F	$A/F = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	<p>-Si A/F est < 1.85 on ajoute des cendres de pyrrhotite.</p> <p>-Si A/F est > 1.85 on ajoute des marnes.</p>