



Année Universitaire : 2014-2015



Licence Sciences et Techniques : Géo-Ressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Etude des variations géochimiques de la carrière de
LAFARGE-Meknès**

Présenté par:

- **EL-GUENNOUNI Nabil**
- **JALO Iussufo**

Encadré par:

Pr. RAIS Naoual
Mr. BOUHASSANE Fouad

Soutenu Le 16/06/2015 devant le jury composé de:

- **Pr. N. RAIS**
- **Pr. A. EL GAROUANI**
- **Pr. R. JABRANE**

Stage effectué à : LAFARGE – Meknès





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

EL-GUENNOUNI Nabil et JALO Iussufo

Année Universitaire : 2014/2015

Titre : Etudes des variations géochimiques de la carrière de LAFARGE-Meknès

Résumé

Dans le but d'une amélioration de la qualité du ciment, et de définir un plan d'exploitation pour les zones les plus riches en calcite (CaCO_3), ce travail est basé sur l'étude des variations géochimiques de la carrière de Lafarge-Meknès afin de déterminer les couches lithologiques les plus productives de la calcite, sachant que cette dernière est le constituant de base du ciment et en admettant que la variation de celle-ci entraîne la variation de la qualité du ciment.

Le levé de coupe des fronts de taille a montré une hétérogénéité lithologique. Des échantillons ont été récoltés de ces fronts de taille puis analysés afin de caractériser leurs variations géochimiques.

L'interprétation des résultats des analyses faites par la méthode de diffraction des rayons X nous a permis de déterminer les principaux minéraux de la carrière, l'analyse par la fluorescence X nous a donné les composées chimiques de la carrière sous forme d'oxyde, et par la calcimétrie nous avons pu évaluer la teneur de la calcite (CaCO_3) dans les différentes couches lithologiques de la carrière.

Les résultats ont montré que le pourcentage de la calcite (CaCO_3) est plus important dans la zone D (Ouest et Est) par rapport à la zone 4, et que cette teneur augmente au niveau des couches supérieures de la carrière et diminue au niveau couches inférieures.

Mots clés: Géochimie, qualité de ciment, DRX, FX, carrière Lafarge-Meknès.

Dédicace

Nous dédions ce travail à nos parents qui ont tout fait pour que nous soyons ce que nous sommes le fruit de leurs efforts, espérons que nous correspondons à leurs espérances ; à nos frères et nos sœurs qui n'ont jamais cessé de nous apporter leurs soutiens et de nous encourager pendant notre parcours scolaire et dans notre travail.

Nous dédions ce travail, en effet, à toutes nos deux familles qui ensemble forment une unique et grande famille, c'est cette famille qui nous a soutenu, nous a accompagné durant toute notre trajectoire scolaire et universitaire, et c'est à cette famille que nous dédions ce travail.

Nous dédions également notre travail à nos collègues de FST avec qui nous avons eu l'occasion de travailler ensemble, et de partager nos connaissances, nos expériences, et à tous nos amis dont leurs encouragements n'ont jamais cessé de nous parvenir.

Remerciement

Nous adressons nos vifs remerciements à Monsieur le Doyen, ainsi que tout le personnel de l'administration de la FST de nous avoir facilité l'obtention de ce stage, et surtout de leur attention qu'ils prêtent à non seulement notre binôme mais à tous (tes) les étudiants (es) de cette faculté.

Nos Sincères remerciements et notre profonde gratitude s'adressent à notre encadrant professeur Mme RAIS Naoual, pour son encadrement pédagogique, pour ses orientations et ses conseils fructueux qu'elle nous apportés à la réalisation de ce travail.

On profite de cette occasion pour remercier également nos professeurs Messieurs les jurys Mr. R. JABRANE, Mr. A. EL GAROUANI, d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Un merci tout particulier à Mr. A. CHAOUNI professeur et responsable de la filière de GRE, à Mr. A. LAHRACH professeur et chef de département des sciences de la terre, et à l'ensemble des enseignants de ce département pour leur assistance, leurs conseils et leurs enseignements à la fois riches et pédagogiques. Aussi, on exprime notre profonde reconnaissance et remerciement à tous les professeurs de FST que d'un moment à l'autre on a bénéficié de leurs savoirs.

Nous remercions Mr. le Directeur de LAFARGE-Meknès qui a eu la bienveillance de nous accorder ce stage et c'est ainsi qu'on remercie mesdames Malika Youssifinne et Fayza El-Mounine qui ont donné un pas décisif à cet accord.

On exprime notre gratitude et notre remerciement particulier à Monsieur BOUHASSANE Fouad, responsable du service carrière pour son encadrement et ses encouragements, et qui a été toujours disponible de travailler avec nous et de nous fournir des aides dont on a besoin, et de son intérêt aux activités des stagiaires.

Toutes personnes de LAFARGE trouvent ici notre remerciement pour leur collaboration et qui nous ont répondu régulièrement à nos questions tout au long de notre stage et plus précisément à Mr. DERRI Mohamed, Mr. Moubarak et Mr. AGUELMANE Jaouad, tous de service de carrière.

Pour finir, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Table de matières

| | |
|--------------------------|---|
| Résumé | 2 |
| Dédicace | 3 |
| Remerciement | 4 |
| Table de matières | 5 |
| Liste des figures | 7 |
| Liste des tableaux | 8 |
| Introduction..... | 9 |

PARTIE I

Présentation de la société d'accueil et description de la zone d'études

| | |
|---|----|
| CHAPITRE 1 | 11 |
| Présentation de la société d'accueil et processus de fabrication du ciment..... | 11 |
| I. Présentation du groupe LAFARGE | 12 |
| 1. LAFARGE Maroc | 12 |
| 2. LAFARGE ciments de Meknès | 12 |
| II. Le ciment | 15 |
| 1. Définition | 15 |
| 2. Composition minéralogique et chimique du ciment | 15 |
| 3. Etapes de fabrication..... | 16 |
| CHAPITRE 2..... | 19 |
| Description de la zone d'étude | 19 |
| I. Situation régionale | 20 |
| 1. Localisation de la carrière | 20 |
| 2. Morphologie..... | 20 |
| 3. Climat/Végétation | 21 |
| II. La géologie | 21 |
| 1. Stratigraphie | 21 |
| 2. Structure et Genèse | 22 |
| 3. Carte géologique régionale | 22 |
| CHAPITRE 3..... | 23 |
| Matériel et Méthodes | 23 |
| I. Etudes au terrain | 24 |
| 1. Visite et études des fronts de la carrière | 24 |
| 2. Echantillonnage et préparation des « Cuttings »..... | 24 |

| | |
|--|----|
| II. Etudes au laboratoire | 26 |
| 1. La Calcimétrie..... | 26 |
| 1.1 Principe et But de la Manipulation | 26 |
| 1.2 Matériel..... | 26 |
| 1.3 Mode opératoire..... | 27 |
| 1.4 Calculs | 27 |
| 2. La Fluorescence X | 28 |
| 2.1 Principe et but de la Manipulation..... | 28 |
| 2.2 Matériels | 28 |
| 2.3 Mode opératoire..... | 28 |

PARTIE II

Etude des variations géochimiques de la carrière de LAFARGE-Meknès

| | |
|--|----|
| CHAPITRE 1 | 30 |
| La lithologie de la carrière | 30 |
| I. Généralités | 31 |
| 1. Fronts de taille de la carrière..... | 31 |
| 2. Lithologie | 32 |
| 2.4 Zone D Ouest..... | 32 |
| 2.5 Zone D Est | 34 |
| 2.6 ZONE 4..... | 35 |
| CHAPITRE 2..... | 36 |
| Analyses et interprétations des résultats de laboratoire..... | 36 |
| I. Minéraux de la carrière | 37 |
| II. Résultats des études géochimiques..... | 37 |
| 1. Calcimétrie..... | 37 |
| 1.1. Discussion..... | 39 |
| 1.2. Conclusion | 40 |
| 2. La Fluorescence X | 41 |
| 1.1 Discussion..... | 45 |
| 1.2 Conclusion | 46 |
| 3. Comparaison entre la teneur en CaCO ₃ et le pourcentage de CaO pour les zones étudiées | 47 |
| Conclusion | 49 |
| Références bibliographiques..... | 50 |
| Abréviations..... | 50 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Organigramme de LAFARGE – Meknès..... | 14 |
| Figure 2 : Composition chimique du ciment | 15 |
| Figure 3 : Localisation de la carrière LAFARGE Meknès (Google earth, 2015)..... | 20 |
| Figure 4 : Stratigraphie générale de la carrière..... | 21 |
| Figure 5 : Carte géologique carte de localisation de la zone étudiée et contexte géologique | 22 |
| Figure 6 : Foration et trou de mine « 22-04-2015 » | 25 |
| Figure 7 : Quartage d'échantillon | 25 |
| Figure 8 : Principe de la fluorescence X..... | 28 |
| Figure 9 : Calcimètre de Bernard..... | 26 |
| Figure 10 : Litho-stratigraphie générale des fronts de la carrière..... | 31 |
| Figure 11 : Panneau 1 zone D'Ouest « 14-05-2015 » | 32 |
| Figure 12 : Panneau 5 zone D'Ouest « 14-05-2015 » | 33 |
| Figure 13 : Panneau 2 zone D Est « 20-05-2015 » | 34 |
| Figure 14 : Panneau 6 zone D Est « 20-05-2015 » | 34 |
| Figure 15 : Panneaux 19 et 20 zone 4 « 22-05-2015 » | 35 |
| Figure 16 : Variation du % de CaCO ₃ au niveau du panneau 1 zone D ouest..... | 37 |
| Figure 17 : Variation du % de CaCO ₃ au niveau du panneau 5 zone D ouest..... | 38 |
| Figure 18 : Variation du % de CaCO ₃ au niveau du panneau 2 zone D Est | 38 |
| Figure 19 : Variation du % de CaCO ₃ au niveau du panneau 6 zone D Est | 39 |
| Figure 20 : Variation du % de CaCO ₃ au niveau des panneaux 19 et 20 zone 4..... | 39 |
| Figure 21 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p1 zone D Ouest » | 41 |
| Figure 22 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p5 zone D Ouest » | 42 |
| Figure 23 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p2 zone D Est »..... | 43 |
| Figure 24 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p6 zone D Est »..... | 43 |
| Figure 25 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p19 zone 4 »..... | 44 |
| Figure 26 : Variation des teneurs de CaCO ₃ et de CaO dans les trois zones d'étude | 48 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Pourcentage des principaux constituants du ciment | 16 |
| Tableau 2 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 1 zone D Ouest | 37 |
| Tableau 3 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 5 zone D ouest | 38 |
| Tableau 4 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 2 zone D Est | 38 |
| Tableau 5 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 6 zone D Est | 39 |
| Tableau 6 : Résultats de la Calcimétrie des panneaux 19 et 20 zone 4 | 39 |
| Tableau 7 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P1 zone D Ouest..... | 41 |
| Tableau 8 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P5 zone D Ouest..... | 42 |
| Tableau 9 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P2 zone D Est..... | 42 |
| Tableau 10 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P6 zone D Est..... | 43 |
| Tableau 11 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P19 zone D Est..... | 44 |
| Tableau 12 : Résultats du Cutting pour la zone D Ouest..... | 47 |
| Tableau 13 : Résultats du Cutting pour la zone D Est..... | 47 |
| Tableau 14 : Résultats du Cutting pour la zone 4..... | 47 |

Introduction

Le secteur de l'industrie de construction constitue un facteur important dans la croissance économique du Maroc et du monde en général.

L'exigence de la « qualité du ciment » par les clients devient un facteur déterminant dans le marché et par conséquent aux choix des clients, qui sont serrés à la rentabilité de l'entreprise.

Rappelons-nous que la qualité du ciment fabriqué est strictement liée à la matière première exploitée, et ce dernier est entièrement dépendant des éléments chimiques qui constituent les différents minéraux entrant à la fabrication du produit final (ciment). On parle donc de la géochimie, ou encore de la minéralogie de la carrière en question.

Notons que le ciment a des caractéristiques typiques (teneurs en calcaire, en silice, en alumine, en minerai de fer, bauxite, gypse etc.).

Pour comprendre ce problème, et tant que étudiant en Géo-Ressources et Environnement nous sommes intéressés à l'étude des variations géochimiques au sein de la carrière de LAFARGE-Meknès, qualifiées comme facteur responsable de la variation de qualité du ciment.

L'étude envisagée a pour objet d'études et d'analyses des données géologiques, des variations géochimiques, de la caractérisation et l'hétérogénéité chimique de la matière première et de déterminer les zones plus productives (zones riches en calcaire- CaCO_3) et de proposer quelques recommandations pour l'amélioration de qualité du ciment.

Ce rapport présente les résultats du stage de projet de fin d'études, réalisé au sein de la cimenterie LAFARGE de Meknès, pour l'obtention du diplôme de licence sciences et techniques de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

Collaborant entre université et industrie, ce stage nous a permis de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises durant notre formation universitaire.

En guise de description, ce travail est composé de 4 étapes suivantes :

- 1^{er} étape : la présentation de la société d'accueil et du processus de fabrication du ciment.
- 2^{ème} étape : Consacrée pour la description de la zone d'étude notamment la situation géographique et le contexte géologique.
- 3^{ème} étape : Les variations géochimiques des fronts de la carrière.
- 4^{ème} étape : Une synthèse et quelques recommandations pour une amélioration progressive de qualité du ciment.

PARTIE I

Présentation de la société d'accueil et description de la zone d'études

CHAPITRE 1

Présentation de la société d'accueil et processus de fabrication du ciment

I. Présentation du groupe LAFARGE

Créé en 1833, le Groupe Lafarge est aujourd'hui le leader mondial des matériaux de construction :

- N°1 mondial du Ciment et de la Toiture.
- N°2 des Granulats & Béton.
- N°3 du Plâtre.



En 2012, le groupe, fort de 77 000 collaborateurs et d'un chiffre d'affaires de 14,6 milliards d'euros, est présent dans 75 pays. La croissance de Lafarge a été particulièrement forte dans les pays en développement. (Rapport annuel LAFARGE 2013)

1. LAFARGE Maroc

En 1930, Lafarge s'implanta au Maroc en créant la première cimenterie du pays à Casablanca, principal marché jusqu'à lors de consommation de ciments. Quelques années plus tard, le groupe se développe et crée une 2ème cimenterie à Meknès entre 1982 et 1984 ainsi que deux autres cimenteries au Nord du pays (Tétouan et Tanger), une usine de plâtre à Safi, et neuf centrales à béton.

Il fallait attendre le 10 juin 1995 pour que la naissance du groupe Lafarge Maroc voit le jour lors de la signature d'une convention de partenariat entre la SNI (Société Nationale d'Investissement) et le groupe Lafarge qui aboutit à la mise en œuvre d'un holding (50% Lafarge et 50%SNI).

Pour conserver son leadership au Maroc, Lafarge a opté pour une stratégie d'investissement, de management et de contrôle de qualité très pointu. (Lafarge Maroc)

2. LAFARGE ciments de Meknès

Située au Nord-est de Meknès, 4ème ville marocaine sur l'échelle économique grâce à la présence d'un secteur industriel dont Lafarge ciments fait partie. Cette usine avait comme Titre CADEM (Ciment Artificiel De Meknès), connaît aujourd'hui un potentiel et à un dynamisme qui assure sa bonne continuité. Depuis sa création, elle a connu plusieurs améliorations techniques. (Document interne Lafarge Meknès)

Les caractéristiques de l'usine Meknès : (Rapport annuel Lafarge Meknès 2014)

- Dénomination LAFARGE CEMENTS (Usine de Meknès).
- Siège social Km8, route de Fès, BP : 33 Meknès
Standard : 52-26-44/45/46
Fax : direction usine : 54-92-94
Service technique : 54-93-07
Service commercial : 54-93-05

- Nature Juridique Société anonyme.
- Directeur général Mr Lkbir TAYA
- Capital social 476 430 500 DH
- Répartition du capital LAFARGE 50% et L'ONA 50%
- Produits fabriqués Ciment portland avec ajouts CPJ45 en Sac et en vrac.
Ciment portland avec ajouts CPJ35 en Sac.

- Effectif du personnel 331, répartis de la façon suivante :
- Cadres 9
- Agents de maîtrise supérieurs 6
- Agents de maîtrise 44
- Chefs d'équipe 37
- Ouvriers 225

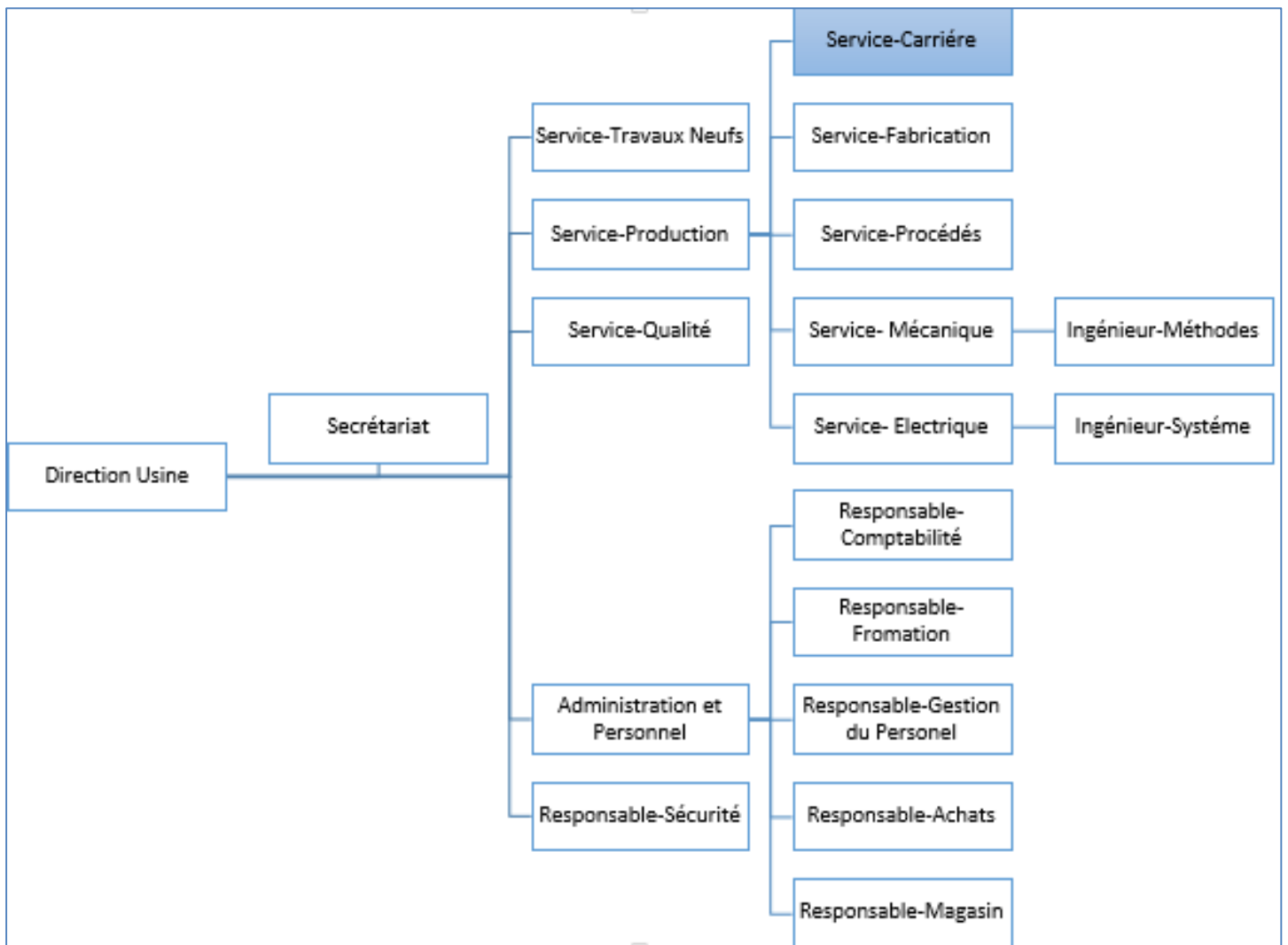


Figure 1 : Organigramme de LAFARGE - Meknès

Service carrière

C'est au niveau de ce service où se déroule notre stage, il permet :

- L'exploitation des carrières et l'approvisionnement de l'usine en matière première.
- Le contrôle de concassage.
- L'optimisation des réserves.
- Le suivi de la qualité des matières premières avec le laboratoire.
- Le fonctionnement et le suivi de l'atelier.

II. Le ciment

1. Définition

Le ciment est un liant hydraulique constitué d'une poudre minérale, d'aspect grisâtre, obtenue par broyage et cuisson jusqu'à 1450°C d'un mélange de calcaire et d'argile. Le produit de la cuisson appelé Clinker, forme une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde ferrique (L. PLISKIN 1993).

2. Composition minéralogique et chimique du ciment

Le calcaire : Le calcaire est une roche sédimentaire carbonatée contenant au moins 50% de calcite (CaCO_3), pouvant être accompagnée d'un peu de dolomite, d'aragonite (carbonate de calcium cristallisé), de sidérite (carbonate de fer naturel). Les calcaires sont de faible dureté et font effervescence. Les roches de calcaire ont une composition chimique et des propriétés particulières pouvant influencer leur érosion.

Schiste : Les schistes sont issus des sédiments (argiles, boues...), et qui ont subi lors des différentes transformations géologiques, de fortes températures et de très grandes pressions. C'est une roche métamorphique.

Bauxite : La Bauxite est une roche sédimentaire principalement composée d'hydroxydes d'aluminium [$\text{Al}(\text{OH})_3$], associée à des oxydes de fer et des impuretés (Silice, Calcite).

Minerai de fer : Le minerai de fer (Ferrite) est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes (Fe_2O_3).

Gypse : C'est des sulfate de calcium hydraté ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), sa dureté est faible, il est soluble dans l'eau.

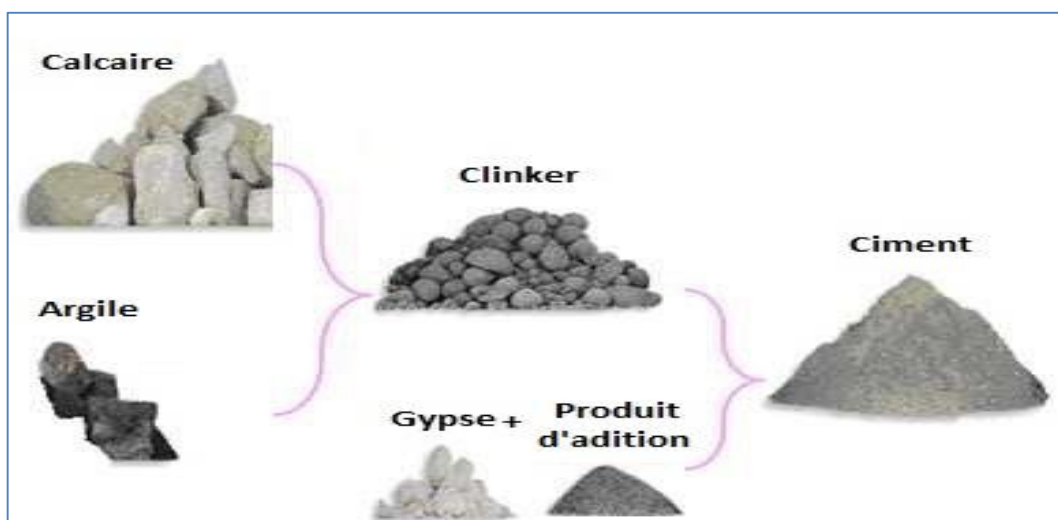


Figure 2 : Composition chimique du ciment

Proportions des constituants du bon ciment : Le bon ciment se compose principalement de carbonate de calcium (plus que 77 %), et en moindre degré de la silice, de l'alumine et du fer.

| Eléments chimiques | Noms communs | Pourcentage dans la Farine |
|---|--------------|----------------------------|
| Carbonate de calcium (CaCO ₃) | Chaux | 77 à 83% |
| Oxyde de silicium (SiO ₂) | Silice | 13 à 14% |
| Oxyde d'aluminium (Al ₂ O ₃) | Alumine | 2 à 4% |
| Oxyde Ferrique(Fe ₂ O ₃) | Fer | 1,5 à 3% |

Tableau 1 : Pourcentage des principaux constituants du ciment

3. Etapes de fabrication

Le procédé le plus utilisé par les cimenteries LAFARGE s'appelle « procédé à voie sèche », il passe par les étapes principales suivantes :

- **L'Extraction des matières premières**

Cette étape consiste à l'extraction de la matière première vierge (calcaire 75% à 80% et l'argile 20% à 25%) à partir de la carrière (6 km de l'usine).

- **Le Concassage**

En vue d'optimiser et de faciliter le stockage et la manutention des matières premières, les blocs extraits au niveau de la carrière sont introduits au niveau du concasseur afin de réduire leurs dimensions.

- **La Pré homogénéisation**

Le pré homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulière du mélange des matières premières.

- **La Préparation du cru**

Le cru est la matière brute avant la cuisson, sa préparation consiste à réaliser un dosage approprié des 4 constituants de base : Chaux, Silice, Alumine et Fer.

- **Le Broyage du cru**

Le broyage du cru est une opération qui consiste à préparer un mélange homogène avec une bonne répartition granulométrique pour assurer les meilleures conditions de cuisson de la farine.

- **L'homogénéisation**

La farine produite par les broyeurs est transportée par élévateurs aéroglisteurs et des vis au silo d'homogénéisation.

- **La cuisson**

Les étapes de la préparation de la cuisson :

- **Préchauffage :**

Le préchauffage permet essentiellement de préparer la farine du point de vue chimique et thermique.

- **Pré-calcination :**

Cette opération, qui s'effectue à des températures entre 650°C et 900°C, permet de libérer le gaz carbonique pour obtenir la chaux nécessaire à la fabrication de clinker.

- **Clinkerisation :**

Cette opération a lieu dans le four caractérisé par une consommation calorifique importante, portés à haute température, entre 900°C et 1450°C, la chaux, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer, (CaO, Al₂O₃, SiO₂ et Fe₂O₃) apportés par les matières premières, se combinent entre eux pour former les nouveaux composés chimiques qui entrent dans la composition minéralogique du clinker.

- **Refroidissement :**

Cette opération consiste à garantir la trempe du clinker pour avoir une structure minéralogique et des dimensions de cristaux favorables.

- **Le Broyage et l'expédition du ciment**

Comme pour le cru, le broyage procède par fragmentation successive des grains, à l'aide d'un broyeur à boulets, pour augmenter la réactivité du clinker en augmentant la surface de contact. Ce traitement développe les propriétés hydrauliques du ciment.

- **L'expédition :**

Acheminés vers les silos de stockage par transport pneumatique ou mécanique, les ciments quittent l'usine en sacs ou en vrac. (CADEM 1988).

CHAPITRE 2

Description de la zone d'étude

I. Situation régionale

1. Localisation de la carrière

La carrière de LAFARGE de Meknès se trouve entre les altitudes 368.0 mètres au sud et 369.0 mètres au Nord et les longitudes, 489.6 ° à l'ouest et 490.0 ° à l'Est. Ce site est d'une superficie de 100 ha, et situé sur le terrain appartenant à LAFARGE au Nord d l'usine. Il se situe à environ 6 km de l'usine.

Ce site fait partie de la commune d'Ouisslane faisant partie elle-même de la Préfecture de Meknès-ElMenzeh Wilaya de Meknès-Tafilalet. Cette dernière assurant la planification de l'occupation des sols de l'ensemble de son territoire (Fouad AMRAOUI, 2005).



Figure 3 : Localisation de la carrière LAFARGE Meknès (Google earth, 2015)

2. Morphologie

Le terrain environnant l'usine est plutôt vallonné. L'altitude variant entre 300 et 500 mètres. Les sommets les plus élevés dépassent 900 mètres et sont situés dans le Jbel Kannoufa à 6 km au Nord-Est de la carrière. La valle d'Oued Ouislane sépare le site de la carrière de la ville de Meknès. L'Oued Jifer la borde à l'est et au Nord .de nombreux tributaires de ces deux affluents entaillent le plateau calcaire. À signaler, la falaise Elkhaloua à l'extrémité NE de le Zone 4 et qui présente une paroi calcaire d'une vingtaine de mètres (Green Hand Sarl 2007).

3. Climat/Végétation

La région se caractérise par un climat tempère chaud, avec des hivers relativement doux et des étés chauds.

La température moyenne des mois d’hiver est de 10°C, celle des mois d’été est de 27°C.

La région de Meknès est relativement bien arrosée avec des hauteurs de précipitation annuelles de 574 mm. Les précipitations les plus importantes ont lieu entre novembre et mars.

Les sols rouges « Hamri » qui recouvrent le calcaire lacustre se prêtent bien aux cultures céréalières avec jachère (blé, orge ...), à l’arboriculture (olivier, figuier ...) et à la culture des légumineux. (Green Hand Sarl 2007).

II. La géologie

La carrière de l’usine LAFARGE de Meknès et ses gisements sont situés dans le bassin lacustre de Sais d’âge tertiaire (pliocène - 3 Ma environ). Ce bassin couvre toute la région de Fès à Meknès. Il est limité au Nord par les collines marquant l’extension des rides pré rifaines et au Sud par les roches liasiques du moyen atlas (Fouad AMRAOUI 2005).

1. Stratigraphie

La zone est formée par les calcaires est entaille dans la région immédiate du gisement par des vallées qui exposent les unités sous-jacentes. On trouve donc au niveau inférieur de l’exploitation les marnes bleues et vertes du Tortonien surmontées parfois par des dépôts sableux eux-mêmes recouverts par des roches carbonatées.

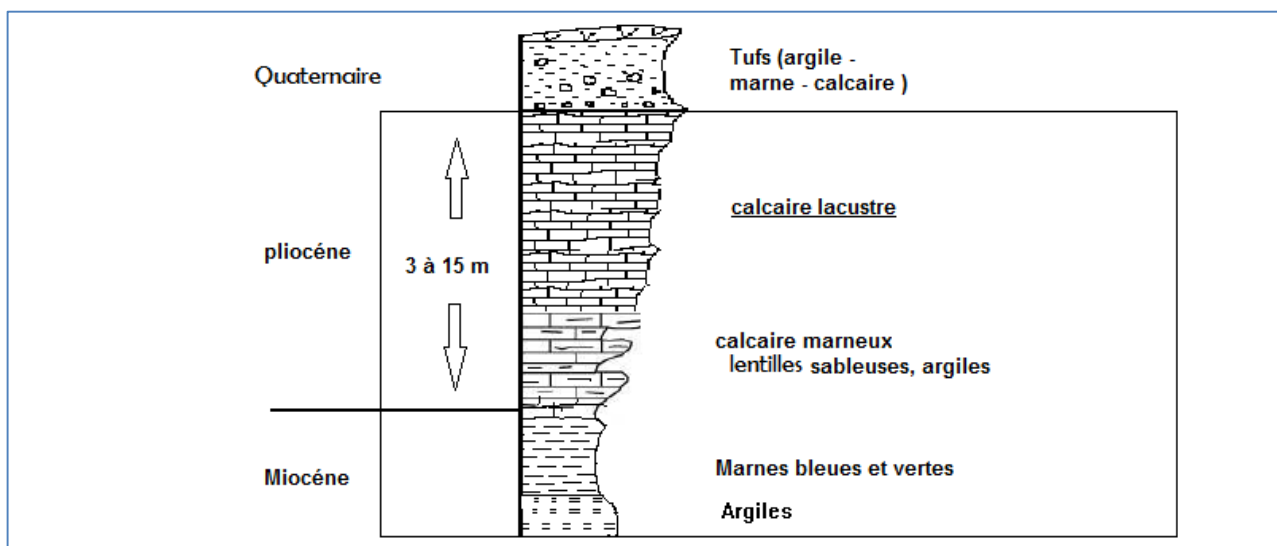


Figure 4 : Stratigraphie générale de la carrière

Ce schéma est général car l’épaisseur de ces unités est variable et les variations latérales des faciès sont fréquentes. (Fouad AMRAOUI 2005)

2. Structure et Genèse

Les phases tectoniques de la fin de la formation de la chaîne pré-rifaine ont influencé la formation du bassin lacustre. Elles ont ainsi provoqué le soulèvement et le plissement des calcaires dans la partie Nord. Sur le reste du bassin. On observe que de grandes ondulations à faibles amplitudes. La région de Meknès montre ainsi, de façon générale, un faible pendage de 3° vers le Nord.

3. Carte géologique régionale

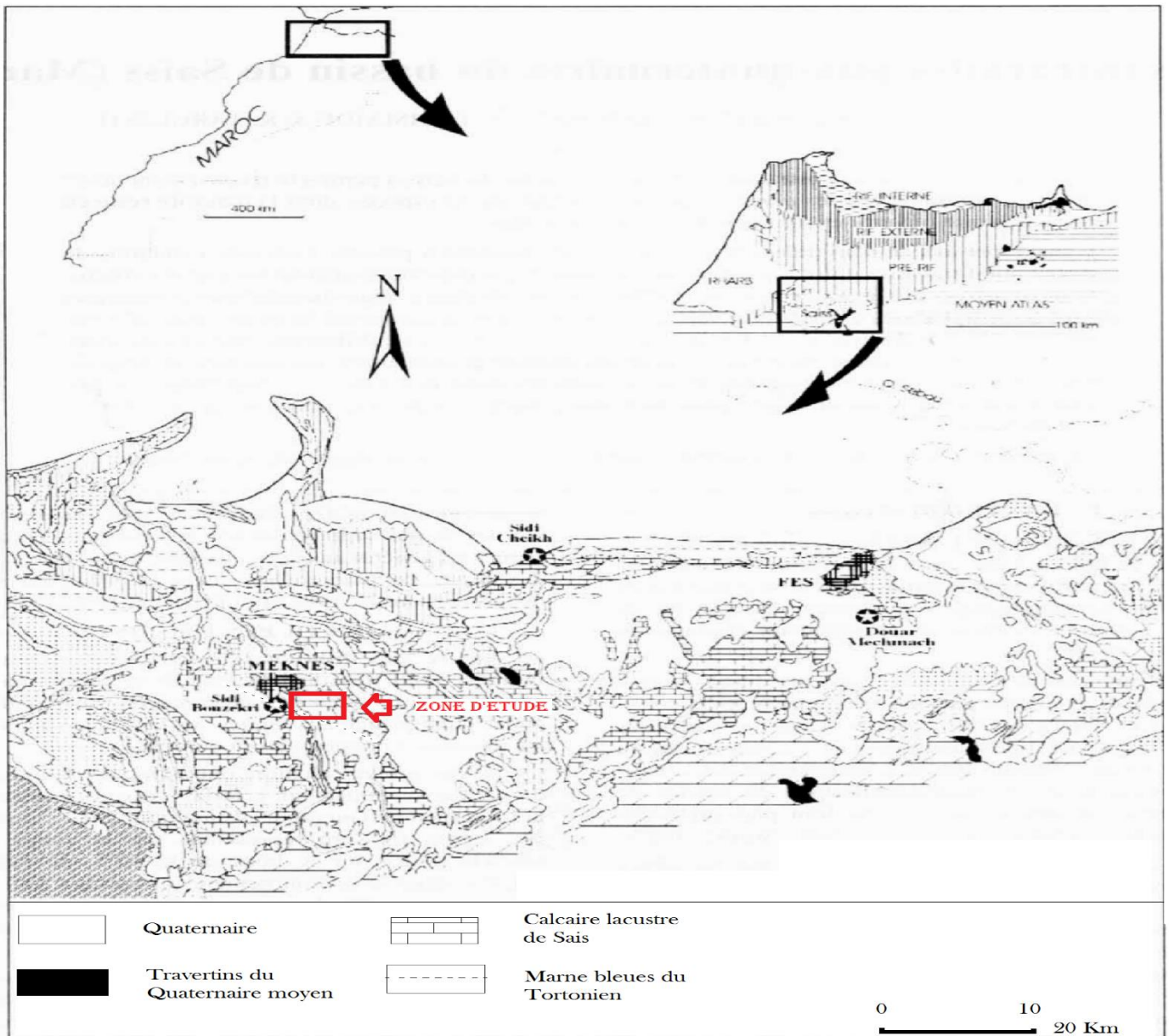


Figure 5 : Carte géologique carte de localisation de la zone étudiée et contexte géologique (d'après la carte géologique de la chaîne rifaine 1980)

CHAPITRE 3

Matériel et Méthodes

I. Etudes au terrain

1. Visite et études des fronts de la carrière

C'est la première étape que doit faire chaque géologue. Elle consiste à visiter le terrain étudié pour :

- Faire des études préliminaires sur la zone étudiée.
- Accumuler le maximum des informations en relation avec le sujet traité.
- Avoir une vue général sur la zone et les formations géologiques présentent sur le terrain.

Pour évaluer la qualité des matériaux carbonatés utilisés dans la fabrication du ciment, on s'est intéressé à la litho-stratigraphie et à la composition minéralogique et chimique des fronts de la carrière LAFARGE-Meknès, pour cela on avait besoin de :

- Reconnaître les différentes couches géologiques présentes dans la carrière ;
- Faire des levés de coupes (représentation graphique schématique de la succession des couches lithologiques d'un affleurement) et estimation des épaisseurs des couches ;
- Faire des échantillonnages et récolter des échantillons afin de les analyser au laboratoire.

2. Echantillonnage et préparation des « Cuttings »

La matière première extraite au niveau de la carrière doit être échantillonnée, dosée et mélangée de façon à obtenir une composition régulière dans le temps. La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaire (Oxyde de Fer, Alumine et Silice).

Après avoir éliminé la couche supérieure formée du sol et des végétations (le décapage), on effectue des trous de mines (foration) à l'aide des machines hydrauliques « sondeuses ».

La Foration est définie par son diamètre, sa profondeur et son inclinaison par rapport à la verticale.

- Diamètre : c'est le diamètre du taillant (10 à 15 cm)
- Maille : c'est le quadrilatère formée par la succession de deux trous de mines et leurs projections sur le front, c'est la grandeur caractéristique du plan de tir, elle s'exprime en mètre (2.5 x 3 ou 2.8 x 3.2).
- Banquette : c'est la distance entre le front et le trou de mine.
- Espacement : c'est la distance qui sépare deux trous de mines successifs d'une même rangé.

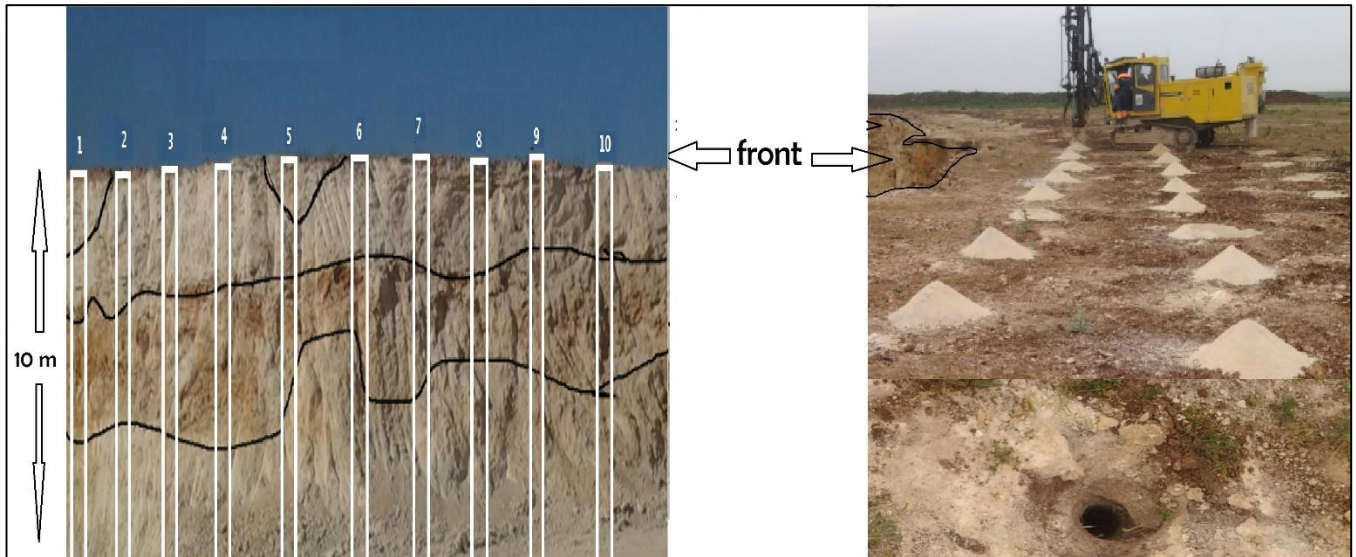


Figure 6 : Foration et trou de mine « 22-04-2015 »

Cuttings

Après la foration d'un trou de mine, la matière est aspirée dans deux sacs : un pour la matière poudre et l'autre pour la matière grosse, que seront mélangées par la suite.

Le lieu où on mélange les deux sacs doit être bien nettoyé pour éviter toutes contaminations par une autre matière et pour avoir des résultats corrects.

La matière est bien mélangée, ensuite à l'aide d'un diviseur mécanique on effectue un quartage de la manière suivante :

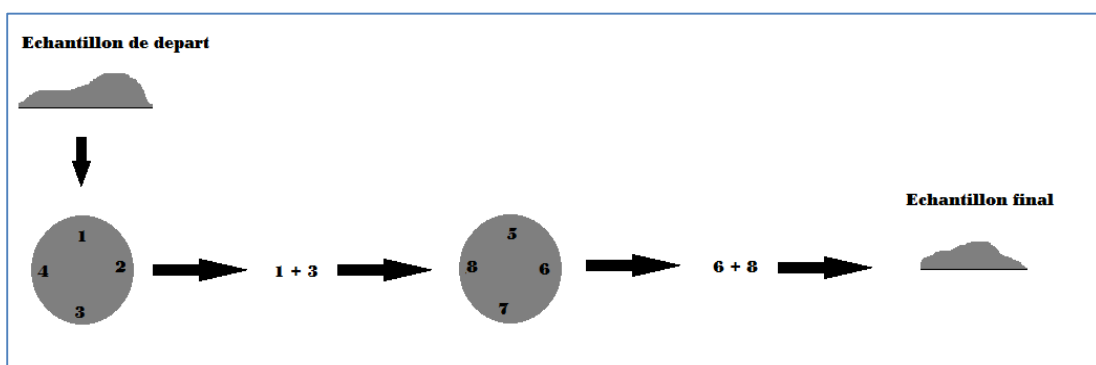


Figure 7 : Quartage d'échantillon

L'échantillon, mit dans un sac accompagné de toutes les références (date, zone, panneau et numéro d'échantillon) et envoyé au laboratoire.

II. Etudes au laboratoire

1. La Calcimétrie

1.1 Principe et But de la Manipulation

La calcimétrie est la mesure du pourcentage de CaCO_3 dans une roche, un sédiment ou un sol carbonatée. L'appareil de mesure la plus utilisé est la calcimétrie de Bernard. La calcimétrie a pour but de Déterminer le pourcentage de CaCO_3 dans l'échantillon étudié.

1.2 Matériel

- Calcimètre de Bernard.
- Tube d'essai.
- Flacon.
- Balance.
- Broyeur.
- Spatule.
- Pipette.
- Tamis.



Figure 8 : Calcimétrie de Bernard

Le dosage du carbonate de calcium est basé sur l'attaque par l'acide Chlorhydrique (HCl) dilué d'un échantillon d'une masse donnée à pression et température constantes.

On mesure le volume de dioxyde de carbone (CO_2) dégagé dans un tube manométrique après attaque de la roche à l'acide chlorhydrique (HCl) selon la réaction suivante :



On utilise l'eau saturée en sel pour éviter la perte de CO_2 à partir de leur réaction avec H_2O selon la réaction suivante :



Il faut souligner que le volume de dioxyde de Carbone dégagé est obtenu par la différence entre le niveau final et celui d'initial/de manière suivante :

$$\text{Volume de CO}_2 \text{ dégagé} = \text{Niveau Final} - \text{Niveau Initial.}$$

1.3 Mode opératoire

- On prépare une solution saturée de NaCl.
- Régler la balance puis peser 1g de l'échantillon broyé.
- On remplit au même niveau de la solution saturée en NaCl du tube gradué et de l'ampoule du calcimètre et on note la division correspondante au V1 sur le tube gradué.
- On introduit 1g de carbonate pur ou 1g de l'échantillon à étudier dans l'erlenmeyer.
- On remplit 10ml de HCl à 50% dans le tube d'essai, et on l'introduit dans l'erlenmeyer avec une pince et avec précaution pour ne pas le verser.
- On bouche l'erlenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué de Calcimètre de Bernard.
- On passe à l'agitation de flacon afin de déclencher l'attaque de la matière par l'HCl.
- A la fin de l'effervescence on note la division correspondante au V2 sur le tube gradué.
- A la fin on obtient la réaction suivante :



Le volume de CO2 dégagé est la différence des V2-V1.

1.4 Calculs

Le calcul du pourcentage de CaCO3 dans l'échantillon étudié se fait en comparaison avec un échantillon témoin de carbonate pur suivant la procédure ci-dessous, cet échantillon doit contenir 100% de CaCO3, d'où vient le nom d'échantillon témoin:

Pour l'échantillon témoin (carbonate pur) le volume de CO2 dégagé est :

$$V_{\text{témoin}} = V_2 - V_1 \text{ de CO}_2 \text{ dégagé.}$$

- Pour l'échantillon étudié le taux de carbonate est:

$$V_{\text{ech}} = V_2 - V_1 \text{ de CO}_2 \text{ dégagé.}$$

Comme on sait que le carbonate pur contient 100% de CaCO3 ;

Donc on aura : $V_{\text{témoin}}$ de CO2 dégagé \rightarrow 100% de CaCO3

$$V_{\text{ech}} \text{ de CO}_2 \text{ dégagé} \rightarrow X\% \text{ de CaCO}_3$$

Ou tout simplement on peut déterminer le % de CaCO3 de l'échantillon étudié de manière suivante :

0,25g de carbonate pur (100% de CaCO3) ---- Volume 1 de CO2 dégagé

0,25g d'échantillon carbonaté (X% de CaCO3) ----Volume 2 de CO2 dégagé.

Le % de CaCO3 dans l'échantillon carbonaté X est = $(V_2/V_1) * 100\%$.

2. La Fluorescence X

2.1 Principe et but de la Manipulation

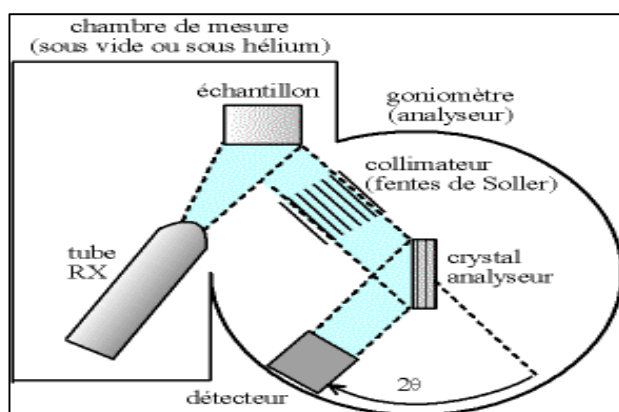
La fluorescence X peut être définie comme étant une méthode de détermination de la concentration d'un élément dans un échantillon, celle-ci se faisant par la mesure de l'intensité du rayonnement dit fluorescence de cet élément.

Lorsqu'un faisceau d'électrons traverse un échantillon il interagit avec celui-ci de deux manières :

- Soit l'interaction est élastique, c'est-à-dire sans perte d'énergie.
- Soit elle est inélastique, c'est-à-dire avec perte d'énergie pour les électrons incidents.

La fluorescence X fait partie de la seconde catégorie.

Figure 9 : Principe de la fluorescence X



2.2 Matériels

- Pastilles.
- Machine de fluorescence X (FX).
- Système de détection relié à la machine FX (ordinateur).

2.3 Mode opératoire

Préparation des pastilles

- Après homogénéisation et quartage de l'échantillon (échantillon issu du Cutting) à l'aide d'un diviseur à rifle ou par le quartage manuel :
- On pèse 15g d'échantillon.
- On broie pendant 3 min après avoir ajouté deux comprimés HERZOG.
- On pèse 6g de matière broyée pour la confection de la pastille.
- On remplit l'anneau et on étale la matière sur la totalité de sa surface. et on le met dans le compresseur (200 tonnes).

La pastille ensuite est mise dans la FX, les résultats seront affichés sur le système de détection.

Comme les études précédentes nous donnerons 2 exemples des analyses de FX faites pour chacune des trois zones étudiées.

PARTIE II

Etude des variations géochimiques de la carrière de LAFARGE-Meknès

CHAPITRE 1

La lithologie de la carrière

I. Généralités

LAFARGE a une carrière située à 5 km de l'usine et d'une superficie de 100 ha, possédant des réserves importantes des calcaires (environ 13.500.000 tonnes) et d'argiles.

Cette carrière est divisée en deux zones :

La première zone nommée Zone-4, à une profondeur d'exploitation de 18m environ.

La seconde zone nommée Zone-D, avec une profondeur d'exploitation de 10m maximum, cette zone est encore divisée en Zone-D-est (8 mètres) et Zone-D-ouest (10 mètres).

L'étude du terrain et la récolte des échantillons constituent notre premier intérêt dans la zone D, puisque cette dernière représente 80% du plan d'exploitation 2015. Par contre la zone 4 ne présente que 20% (phase d'épuisement).

1. Fronts de taille de la carrière

La prise des échantillons des fronts de taille des différents panneaux de la carrière a été précédée par des observations minutieuses notamment de point de vue lithologique, granulométrique et consistance des couches afin de délimiter des niveaux plus ou moins homogènes.

Vu l'hétérogénéité des matières premières, l'usine prend des dispositions particulier pour l'exploitation de la carrière telle que la division du gisement en panneaux de 60 m.

Les formations géologique rencontrées dans ces deux zones de bas vers haut, sont les argiles, les marnes, les calcaire (et enfin de tuf).

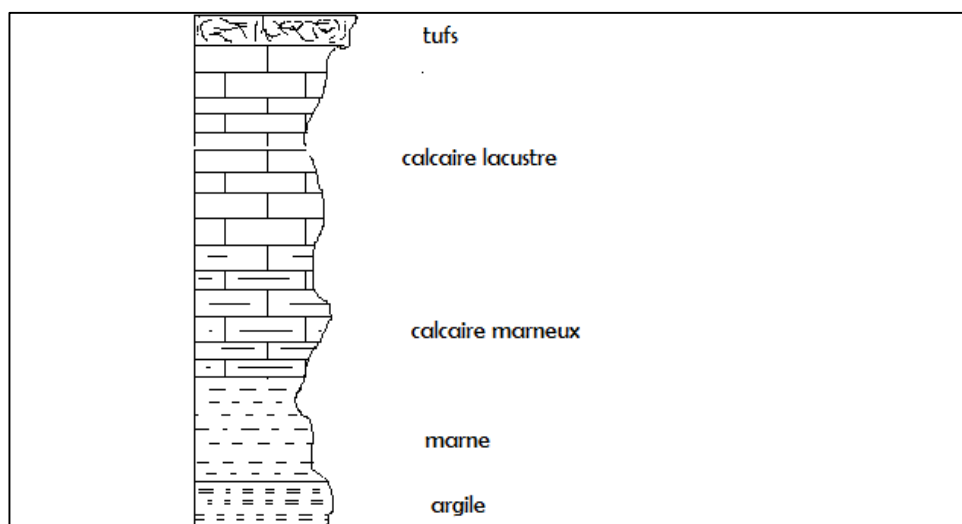


Figure 10 : Litho-stratigraphie générale des fronts de la carrière

Cette étude montre donc que les formations dominantes sont celles de calcaires, des marnes, souvent des marnes-calcaires.

On note que la couche calcaire est divisée en deux parties : des calcaires durs qui se trouvent juste au-dessus de la couches marne-calcaire, et des calcaires tendres qu'on se rencontre au-dessus des calcaire dure, et c'est la même couche qu'on trouve au sommet des fronts.

2. Lithologie

Les logs stratigraphiques réalisées de la zone D Ouest qui est exploitée sur une puissance de 10 m et la zone D Est exploitée sur 8 m, montrent une variation très visible de des épaisseurs des couches et parfois l'absence de certaines couches notamment celle calcaires dur riche en CaCO_3 .

2.4 Zone D Ouest

Notre zone d'étude est subdivisée en panneaux numérotés de 1 à 7, prenons les panneaux 1 et 5 comme exemples :

- Exemple 1 : Panneau 1

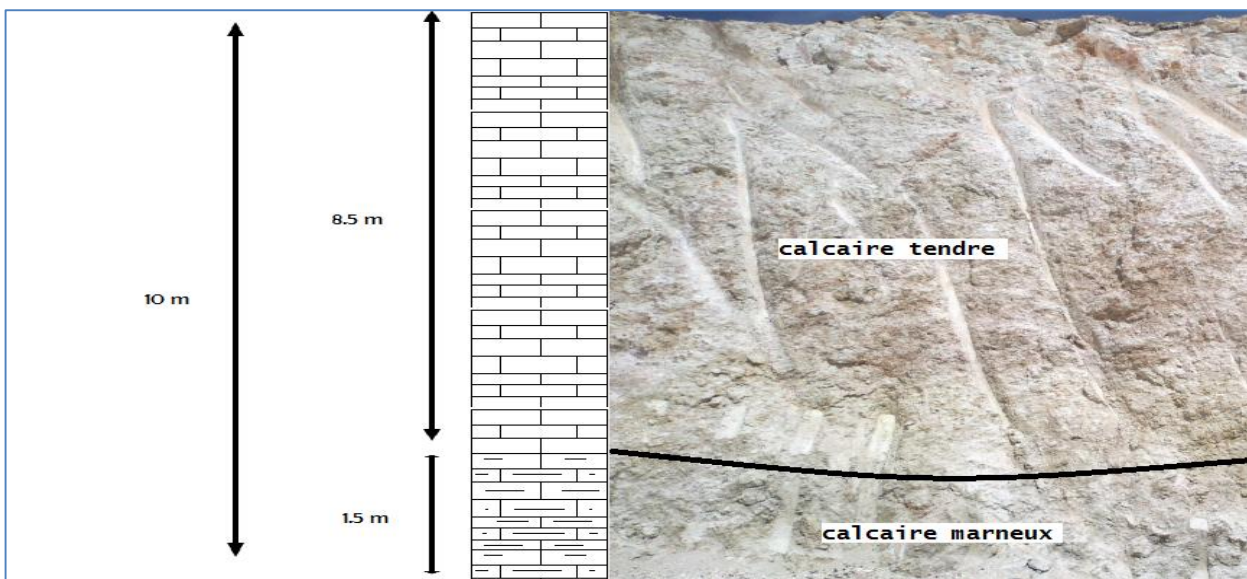


Figure 11 : Panneau 1 zone D'Ouest « 14-05-2015 »

Pour ce panneau, de la base au sommet on a :

- Une couche de calcaire tendre (épaisseur = 8 mètres environ)
- Une couche de calcaire marneux (épaisseur = 1 mètre environ) de couleur grisâtre.

▪ Exemple 2 : Panneau 5

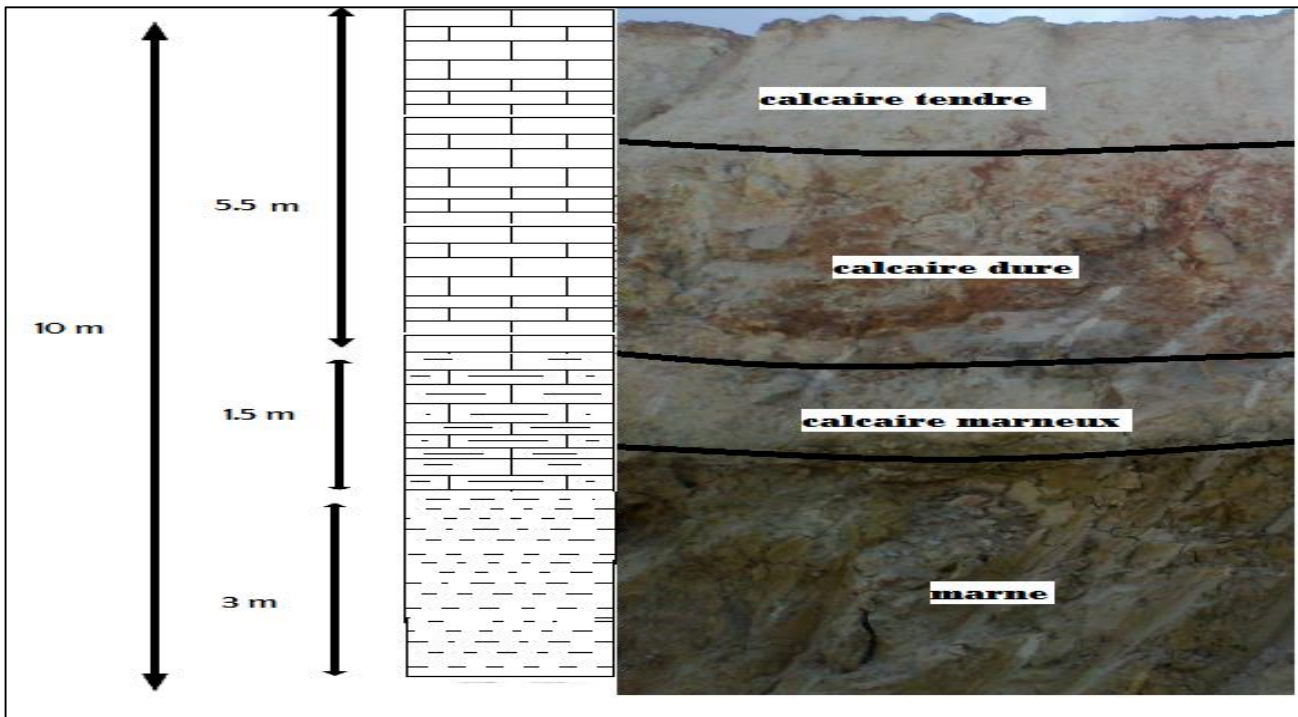


Figure 12 : Panneau 5 zone D'Ouest « 14-05-2015 »

Pour ce panneau, de la base au sommet on a :

- Une couche de marne (épaisseur = 3 mètres environ) de couleur verdâtre.
- Une couche de calcaires marneux (épaisseur = 1 mètre environ) de couleur grisâtre.
- Une couche de calcaire dure (calcaire altéré riche en CaCO_3 , épaisseur = 3 mètres environ) de couleur rougeâtre.
- Une couche de calcaire tendre (friable, épaisseur = 2 mètres environ) de couleur blanchâtre.

Sur une puissance d'exploitation de 10 mètres est sur une distance de 240 mètres (distance entre les panneaux 1 et 5), de point de vue lithologique, on voit une hétérogénéité très visible et une variation d'épaisseurs ainsi que l'absence de certaines couches au niveau du panneau 1 (absence du calcaire dure et des marnes).

Cela peut agir sur la matière première exploitée, puisque l'absence des calcaires dure riche en calcite signifie une diminution de pourcentage de CaCO_3 dans la matière première.

2.5 Zone D Est

Prenons les panneaux 2 et 5 comme exemples

- **Exemple 1 : Panneau 2**

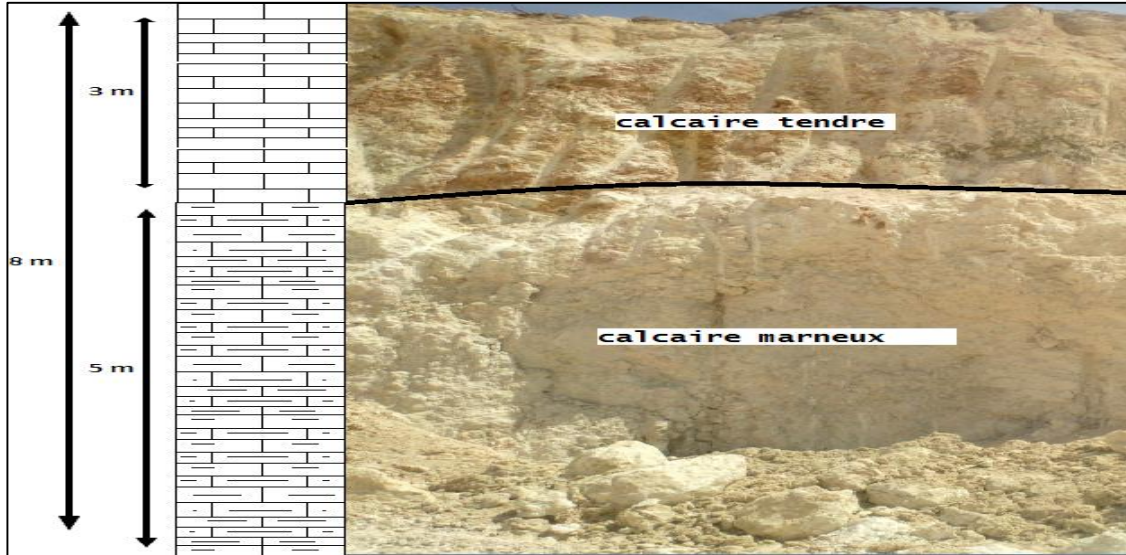


Figure 13 : Panneau 2 zone D Est « 20-05-2015 »

- **Exemple 2 : Panneau 6**

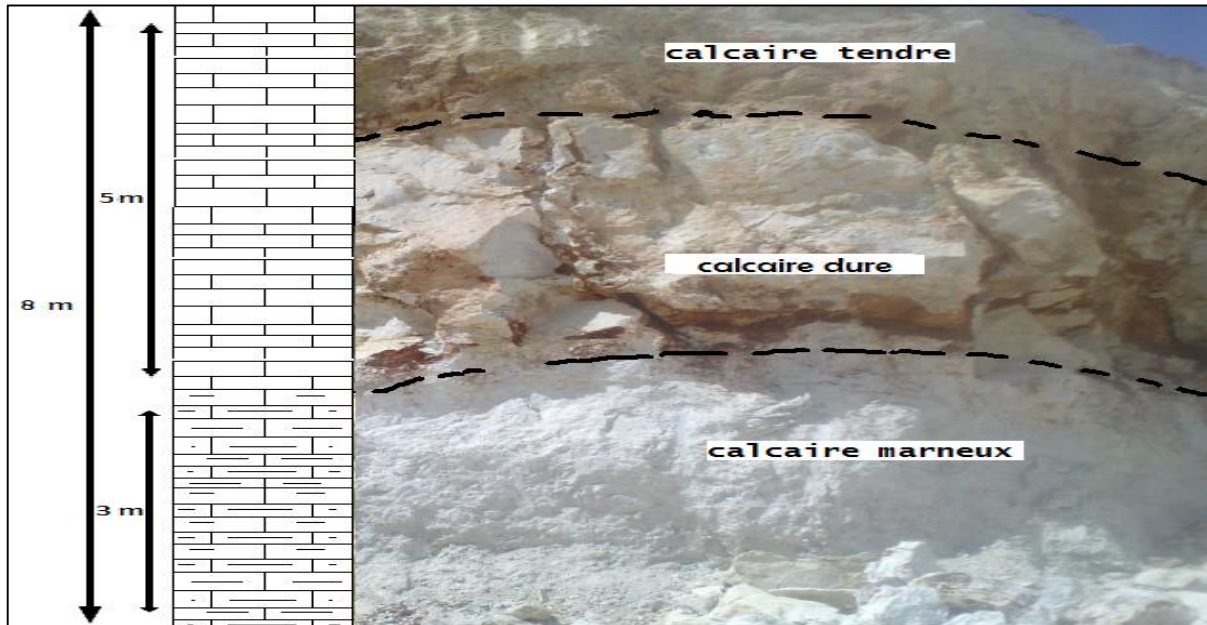


Figure 14 : Panneau 6 zone D Est « 20-05-2015 »

Sur une puissance de 8 m, pour les deux exemples on trouve de la base vers le sommet :

- **Panneau 2**

- Une couche de calcaire marneux de couleur blanchâtre (5 mètres environ).
- Une couche de calcaire tendre de couleur rougeâtre (3 mètres environ).

- **Panneau 6**

- Une couche de calcaire marneux blanchâtre (3 mètres environ).
- Une couche de calcaire dure rougeâtre (2.5 mètres environ).
- Une couche de calcaire tendre la zone supérieure du front (2.5 mètres environ).

Cette zone se caractérise par les mêmes formations géologiques que la zone D Ouest, avec les mêmes variations, soit l'absence de certaines couches, soit la variation en épaisseur.

Il faut signaler que sur une puissance de 8 mètres on n'atteint jamais la couche des marnes tout le long des fronts de la carrière.

2.6 ZONE 4

- **Exemple : Panneaux 19 et 20**

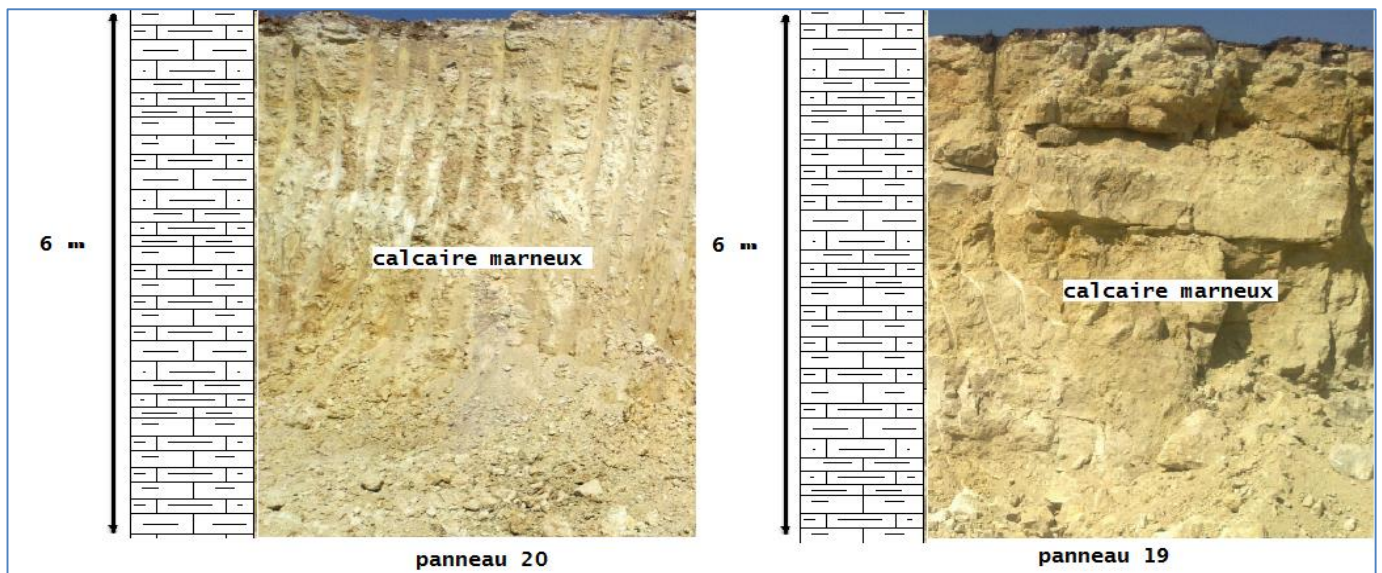


Figure 15 : Panneaux 19 et 20 zone 4 « 22-05-2015 »

Comme il est remarquable dans les figures cette zone ne contient que des calcaires marneux faibles en CaCO_3 , car elle est en phase d'épuisement.

CHAPITRE 2

Analyses et interprétations des résultats de laboratoire

I. Minéraux de la carrière

Les minéraux de la carrière de Lafarge-Meknès sont la calcite et le quartz.

L'étude pour déterminer ces minéraux a été réalisée grâce aux méthodes des analyses chimiques utilisées au niveau du laboratoire de l'entreprise.

Les résultats des analyses chimiques obtenus par la méthode de DRX diffraction de Rayons X, nous donnent les principaux minéraux de la carrière; et avec la méthode de Fluorescence X on obtient les composées chimiques sous forme d'oxyde.

Le principal minéral est le carbonate de calcium (Calcite- CaCO_3) qui constitue souvent plus de 80% de matière première exploitée de la carrière. La calcite forme plus de 70% de la composition chimique du ciment. D'ailleurs l'exploitation de calcite constitue le but principal d'une carrière de cimenterie. Après la calcite vient l'oxyde de silicium comme minéral (quartz- SiO_2).

II. Résultats des études géochimiques

1. Calcimétrie

Présentation du résultat de la Calcimétrie.

Nous avons utilisé la méthode de calcimétrie pour déterminer le pourcentage de CaCO_3 pour les deux zones de la carrière.

Pour cette méthode on a échantillonné couche par couche, afin de déterminer la couche plus riche en CaCO_3 . Ensuite on a pris des échantillons de Cutting, puis on les a analysés pour classer les zones plus riches en CaCO_3 .

| Couches échantillonnées | % Moyen de CaCO_3 de trois échantillons analysés |
|-------------------------|---|
| Calcaire tendre | 86,23% |
| Marne-Calcaire | 75,47% |

Tableau 2 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 1 zone D Ouest

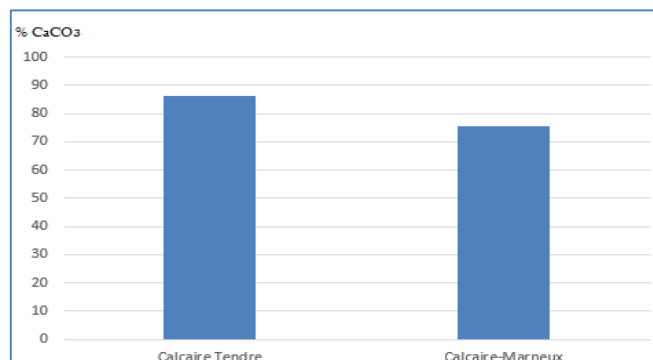


Figure 16 : Variation du % de CaCO_3 au niveau du panneau 1 zone D Ouest

On constate qu'il y a l'absence de certaines couches, et que le pourcentage de CaCO_3 est plus important au niveau de la couche supérieure, calcaire tendre par rapport à celle de calcaires marneux.

| Couches échantillonnées | % Moyen de CaCO_3 de trois échantillons Analysés |
|-------------------------|---|
| Calcaire Tendre | 87,56 |
| Calcaire Dur | 84,68 |
| Calcaire-Marneux | 80,98 |
| Marne | 56,78 |

Tableau 3 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 5 zone D ouest

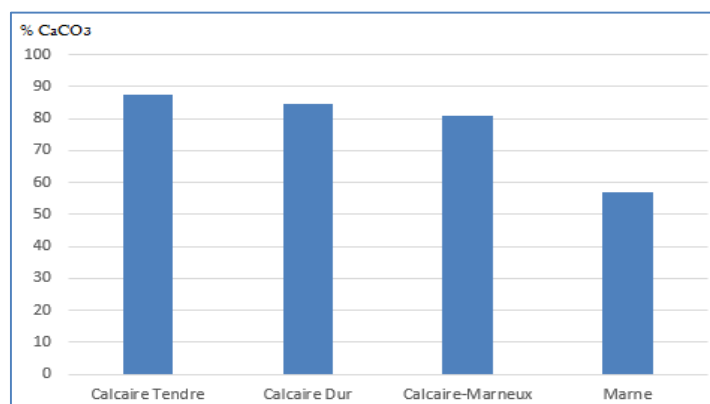


Figure 17 : Variation du % de CaCO_3 au niveau du panneau 5 zone D ouest

Au niveau de ce panneau on a obtenu de résultats importants de % de CaCO_3 dans les trois premières couches, et on note un phénomène contraire de ce qui est habitué, le calcaire dur présente un taux de CaCO_3 inférieur à celui de calcaire tendre, car la couche de calcaire dur contient des impuretés qui l'ont rendu rougeâtre. La couche marneuse a une valeur supérieure à 50 % de CaCO_3 , ceci est normal.

| Couches échantillonnées | % moyen de CaCO_3 de trois échantillons analysés |
|-------------------------|---|
| Calcaire tendre | 87,17 |
| Calcaire-marneux | 75,42 |

Tableau 4 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 2 zone D Est

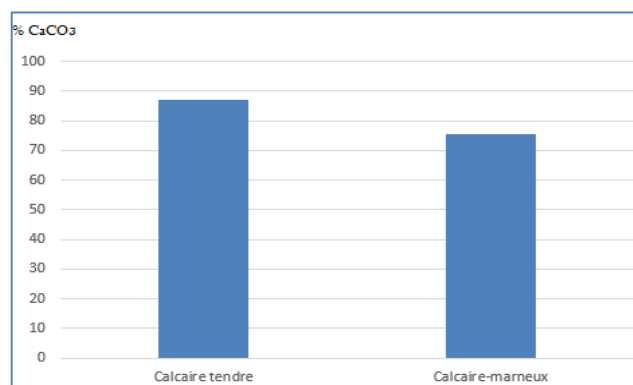


Figure 18 : Variation du % de CaCO_3 au niveau du panneau 2 zone D Est

Le % de CaCO_3 a une teneur plus importante au niveau de la couche calcaire tendre par rapport à celle de calcaire inférieur. On remarque aussi l'absence de la couche de calcaire dur.

| Couches échantillonnées | % moyen de CaCO ₃ de trois échantillons analysés |
|-------------------------|---|
| Calcaire tendre | 89,69 |
| Calcaire dur | 94,87 |
| Calcaire-marneux | 85,51 |

Tableau 5 : Résultats de la Calcimétrie du panneau 6 zone D Est

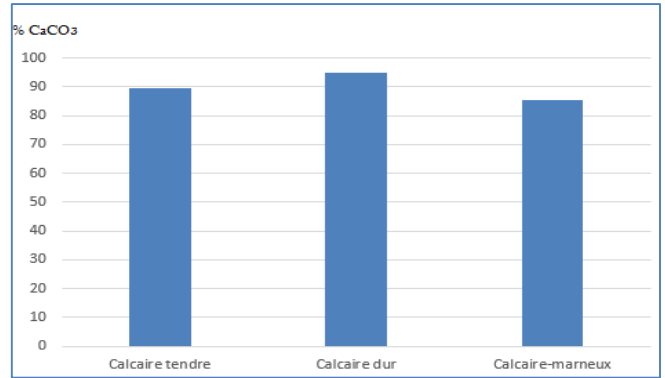


Figure 19 : Variation du % de CaCO₃ au niveau du panneau 6 zone D Est

La couche de calcaire dur présente de pourcentage de CaCO₃ élevé voir même un taux supérieur à 90%, c'est le cas souvent observé dans la carrière. Malgré l'apparence visuelle de la couche inférieure, sa teneur en CaCO₃ reste toujours inférieure en comparant avec les deux premières couches

| Couches échantillonnées | % moyen de CaCO ₃ de trois échantillons analysés |
|-------------------------|---|
| Calcaire-marneux P20 | 50,41 |
| Calcaire-marneux P19 | 45,17 |

Tableau 6 : Résultats de la Calcimétrie des panneaux 19 et 20 zone 4

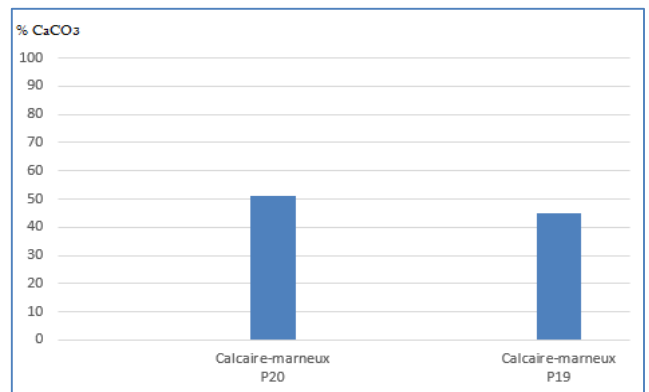


Figure 20 : Variation du % de CaCO₃ au niveau des panneaux 19 et 20 zone 4

Au niveau de panneau 20 on a une dominance des calcaires sur les marnes, c'est une dominance faible confirmée par l'analyse effectuée au laboratoire qui montre la valeur de CaCO₃ légèrement supérieure 50%, par contre au niveau de panneau 19 c'est les marnes qui dominent avec une teneur de CaCO₃ inférieure à 50%. Ces résultats justifient la faiblesse en CaCO₃ que la zone 4 présente actuellement.

1.1. Discussion

Après avoir effectué des différentes analyses géochimiques notamment la Calcimétrie on a pu observer des teneurs variées en CaCO_3 , ce qui explique la présence des formations lithologiques différentes.

Ces résultats sont aussi conformément aux levés de coupes faits qui ont montré une litho-stratigraphie de bas en haut : Argile, Marne, Marne-calcaire, Calcaire.

On peut également souligner que d'après les résultats obtenus, les deux couches supérieures, calcaire tendre et calcaire dure contient plus de calcite (CaCO_3), des valeurs atteignant 94% de CaCO_3 .

Une autre remarque qu'on peut voir, c'est l'écart en CaCO_3 dans les deux zones exploitées :

- Zone 4 présentant des faibles teneurs qui varient de 45 à 56% de CaCO_3 ;
- Zone D avec des teneurs importantes qui peuvent aller jusqu'à 95% de CaCO_3 .

1.2. Conclusion

Selon les résultats des analyses géochimiques et ainsi les levés gde coupes, la zone D contient des formations géologiques carbonatées très importantes, par contre la zone 4 ne contient que quelques réserves de carbonates, on peut conclure aussi c'est la raison pour laquelle la zone D représente 80% d'exploitation de la carrière en 2015 et le 20% restant pour la zone 4.

2. La Fluorescence X

Dans l'ensemble, les composées chimiques sous forme d'oxyde, sont représentées par l'oxyde de Calcium (CaO) avec une forte concentration au niveau des couches supérieures de la carrière, et quelques oxydes qui sont souvent dispersées, à savoir : Oxyde de Silicium (SiO₂), oxyde d'Aluminium (Al₂O₃), oxyde ferrique (Fe₂O₃), oxyde de Magnésium (MgO), oxyde de Potassium (K₂O) et oxyde de Sodium (Na₂O), ces trois derniers sont des composées de très faible quantité dans la carrière.

Zone D Ouest : Panneau 1

| P N° 1 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | P.F |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|-------|
| Ech 1 | 7,118 | 1,67 | 0,713 | 49,6 | 0,72 | 0,022 | 0,046 | 41,51 |
| Ech 2 | 7,836 | 2,132 | 0,808 | 48,89 | 0,73 | 0,022 | 0,066 | 40,94 |
| Ech 3 | 8,327 | 2,173 | 0,815 | 48,48 | 0,78 | 0,022 | 0,046 | 40,66 |
| Ech 4 | 10,95 | 2,784 | 1,12 | 45,83 | 0,86 | 0,023 | 0,054 | 38,58 |

Tableau 7 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P1 zone D Ouest

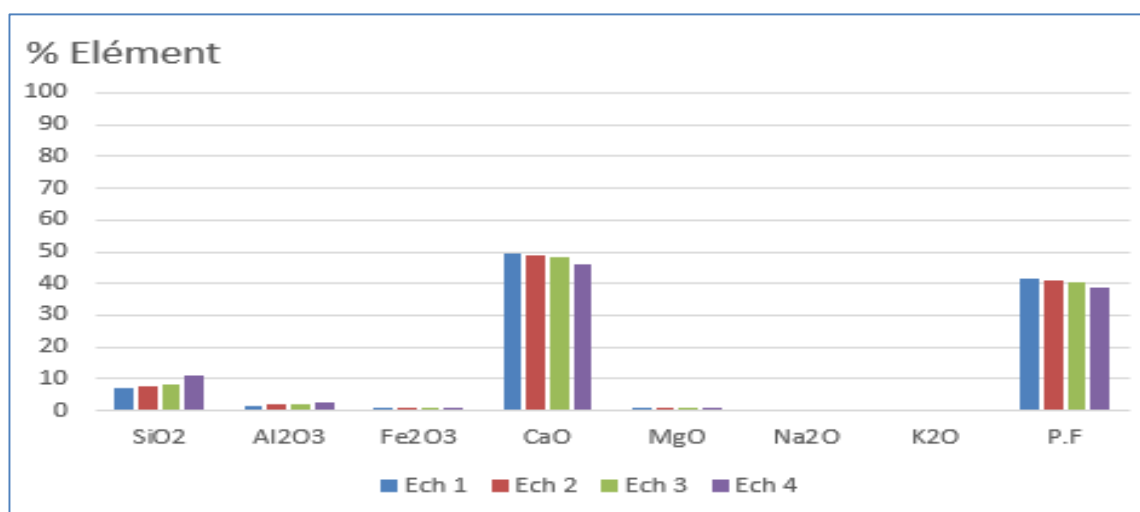


Figure 21 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p1 zone D Ouest »

Pour les 4 échantillons :

- SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃ présentent des faibles pourcentages et varient de la même manière et inversement pour le CaO.
- Le CaO est l'élément le plus abondant dans ce front (valeur maximale = 49.60%).
- Le MgO, Na₂O et le K₂O se présentent en très faibles pourcentage.

Zone D Ouest : Panneau 5

| P N° 5 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | P.F |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|-------|
| Ech 1 | 7,29 | 1,56 | 0,79 | 49,32 | 0,75 | 0,026 | 0,053 | 41,32 |
| Ech 2 | 7,41 | 1,62 | 0,78 | 49,22 | 0,73 | 0,032 | 0,056 | 41,21 |
| Ech 3 | 7,88 | 1,76 | 0,87 | 48,69 | 0,73 | 0,03 | 0,074 | 40,78 |
| Ech 4 | 6,46 | 1,58 | 0,73 | 49,95 | 0,7 | 0,027 | 0,048 | 41,78 |

Tableau 8 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P5 zone D Ouest

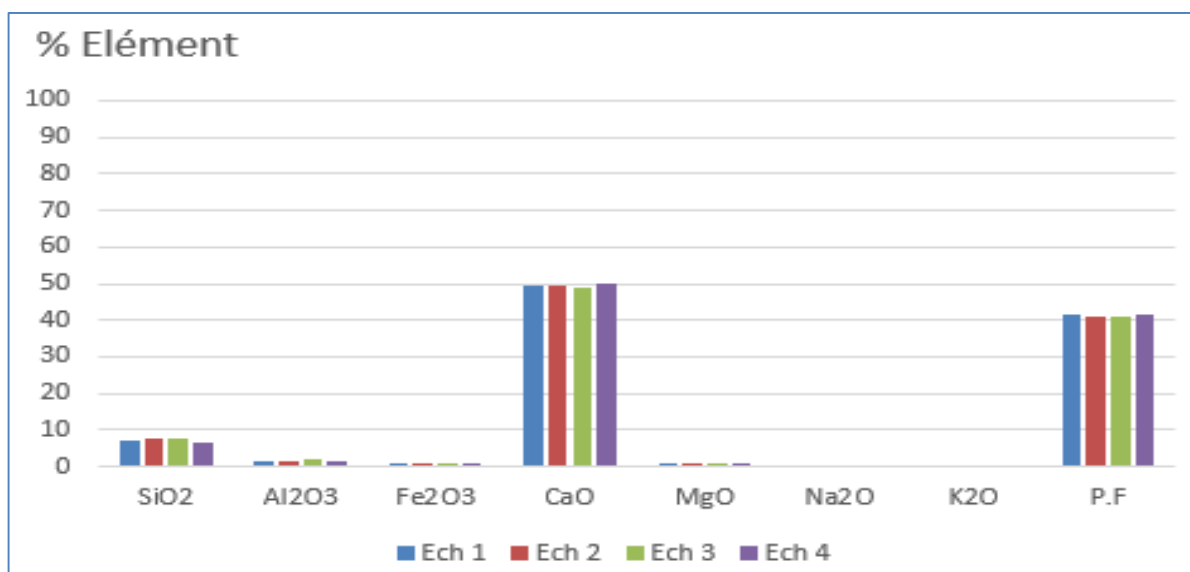


Figure 22 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p5 zone D Ouest »

Les résultats de ce panneau sont presque identiques à ceux du panneau 1, avec des faibles variations pour tous les éléments pour chaque échantillon.

Il faut noter que le CaO a connu un accroissement.

Zone D Est : Panneau 2

| P N° 2 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | P.F |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|-------|
| Ech 1 | 5,994 | 1,417 | 0,704 | 50,44 | 0,78 | 0,027 | 0,037 | 42,27 |
| Ech 2 | 9,11 | 1,969 | 0,837 | 48,02 | 0,81 | 0,029 | 0,055 | 40,32 |
| Ech 3 | 8,023 | 1,783 | 0,761 | 48,97 | 0,8 | 0,027 | 0,047 | 41,09 |
| Ech 4 | 7,67 | 1,666 | 0,68 | 49,41 | 0,72 | 0,025 | 0,045 | 41,36 |

Tableau 9 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P2 zone D Est

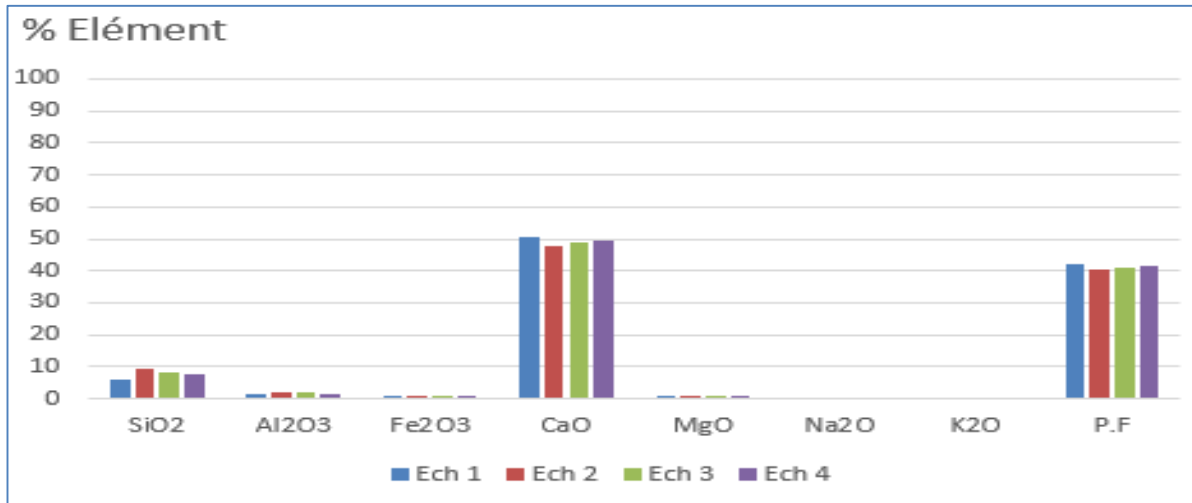


Figure 23 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p2 zone D Est »

- Ce panneau est marqué par un accroissement du pourcentage de SiO₂.
- La variation du pourcentage de CaO est la même pour les panneaux de la zone D Ouest.
- Pour Al₂O₃ et Fe₂O₃ les concentrations restent toujours faibles dans cette zone.

Zone D Est : Panneau 6

| P N° 6 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | P.F |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|-------|
| Ech 1 | 4,875 | 1,405 | 0,805 | 50,9 | 0,68 | 0,04 | 0,021 | 40,11 |
| Ech 2 | 5,949 | 1,557 | 0,758 | 50,28 | 0,71 | 0,042 | 0,023 | 40,07 |
| Ech 3 | 4,088 | 1,199 | 1,038 | 51,5 | 0,66 | 0,044 | 0,023 | 40,00 |
| Ech 4 | 4,651 | 1,389 | 0,7 | 51,45 | 0,68 | 0,037 | 0,02 | 40,98 |

Tableau 10 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P6 zone D Est

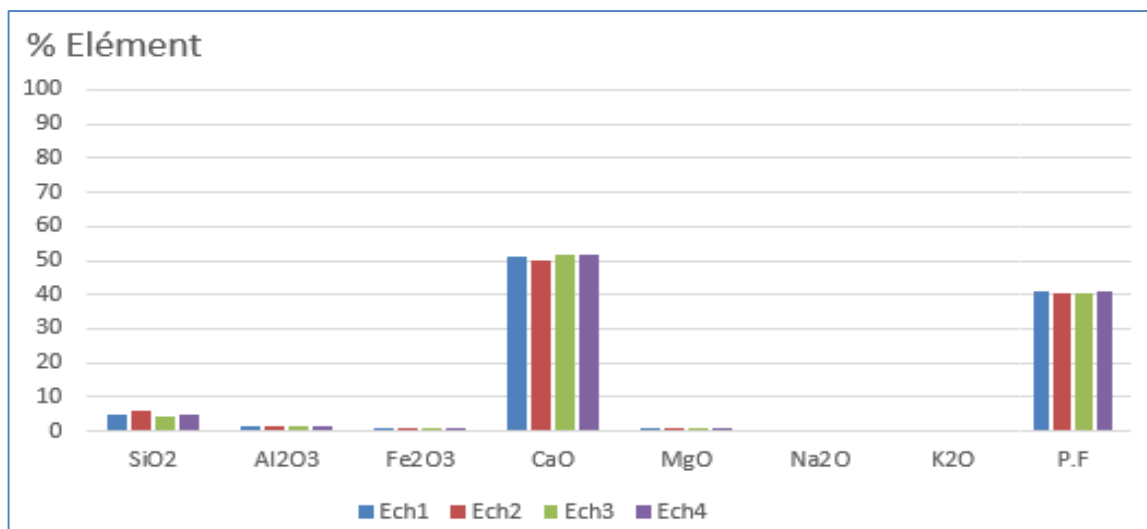


Figure 24 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p6 zone D Est »

Ce panneau est marqué par

- Une faible diminution des proportions de SiO₂. Les Al₂O₃ et Fe₂O₃ varient de la même manière qu'avant.
- Des fortes teneurs de CaO.
- Les oxydes de magnésium, de potassium et aussi de sodium restent toujours de faibles proportions.

Zone 4 : Panneau 19

| P N° 19 | SiO₂ | Al₂O₃ | Fe₂O₃ | CaO | MgO | Na₂O | K₂O | P.F |
|----------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-----------------------|--------------|
| Ech1 | 19,72 | 2,334 | 1,769 | 41,15 | 0,667 | 0,054 | 0,228 | 34,52 |
| Ech 2 | 13,78 | 2,001 | 1,267 | 45,02 | 0,651 | 0,05 | 0,206 | 37,68 |
| Ech 3 | 16,82 | 2,414 | 1,746 | 42,48 | 0,71 | 0,056 | 0,241 | 35,66 |
| Ech 4 | 19,97 | 2,351 | 1,777 | 41,29 | 0,668 | 0,054 | 0,227 | 34,64 |

Tableau 11 : Résultats de l'analyse par la FX des échantillons du P19 zone D Est

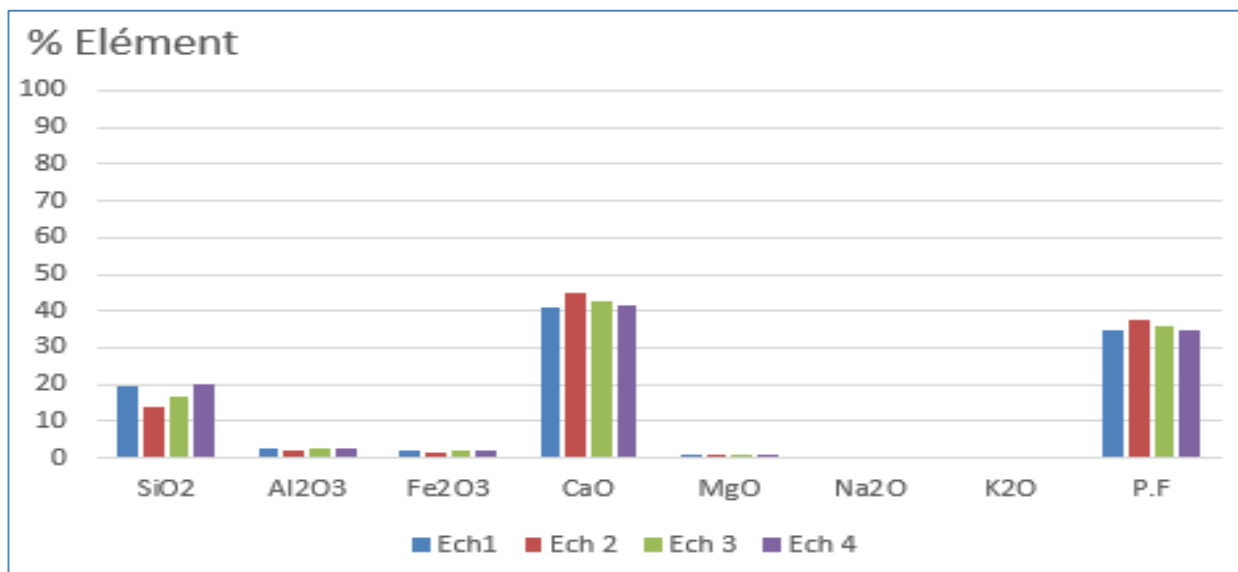


Figure 25 : Evolution des éléments chimiques par échantillon « p19 zone 4 »

Ce panneau de la zone 4 présente :

- Une augmentation du pourcentage de SiO₂ qui atteint des valeurs maximales (19,965%, 19,721%)
- Une forte diminution du pourcentage de CaO (41,29%, 42.48%).
- Le Al₂O₃ et Fe₂O₃ ont connu une augmentation visible dans ce panneau
- Le MgO, K₂O, Na₂O restent de même proportions que les panneaux précédents.

1.1 Discussion

Les résultats des analyses faites par la méthode de FX montrent encore une fois la réalité observée au niveau de la litho-stratigraphie de la carrière.

La nature lithologique des échantillons 1, 2, 3, 4 :

Pour les échantillons analysés par la fluorescence X, ce sont des mélanges de toutes les couches (calcaire tendre, calcaire dur, calcaire-marneux et des marnes), selon la méthode d'échantillonnage suivi par la société, nommé le Cutting.

Perte au feu :

Elimination d'humidité, de la matière organique et ainsi que la décomposition de carbonate presque 50% ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$).

On note que pour tous les échantillons, il y a un pourcentage très élevé de perte au feu (PF) ce qui explique une formation carbonatée très importante, une forte présence de la molécule d'eau (H_2O) et aussi de la matière organique non négligeable dans cette zone d'étude.

Nous signalons que la machine de fluorescence X utilisée au niveau du laboratoire de Lafarge-Meknès est capable de faire tout ce travail au même temps sans passer par une étape préliminaire, par exemple la calcination.

Pour la zone D Ouest panneau 1 :

L'absence de couche de calcaire dur explique la baisse de teneur d'oxyde de calcium (CaO).

Pour le panneau 5 :

Les résultats de ce panneau sont presque identiques à ceux du panneau 1, malgré la présence des calcaires tendres et des calcaires durs dans ce front, l'épaisseur de ces derniers est faible et c'est les marnes qui dominent ce qui influence les résultats.

Pour la zone D Est panneau 2 :

L'accroissement du pourcentage de SiO_2 , Al_2O_3 s'explique par la présence d'une épaisse couche de calcaire marneux et surtout la présence de couche marne-argileuse.

La faible variation du pourcentage de CaO est due à l'absence des calcaires durs et d'une couche de calcaires tendre de faible épaisseur.

Pour le panneau 6 :

Ce panneau se caractérise par la présence des calcaires tendres et calcaires durs d'où les résultats obtenus par la FX, illustrent une forte proportion de CaO.

Pour la zone 4

Le panneau 19 présente des faibles teneurs en CaO, ceci est dû à la dominance de couche marneuse sur la couche calcaire. Aussi on remarque un croissant de pourcentage de SiO₂, l'interprétation des résultats DRX montre la présence du minerai bentonite au niveau de ce panneau.

1.2 Conclusion

Les analyses de la fluorescence X ont montré que la carrière de LAFARGE-Meknès se caractérise par la présence des différents éléments chimiques sous forme d'oxydes (CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, etc.) avec de différentes proportions.

La zone D (Est et Ouest) présente des teneurs plus importantes en CaO que la zone 4.

3. Comparaison entre la teneur en CaCO₃ et le pourcentage de CaO pour les zones étudiées

| Zone D Est | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| Panneau 2 | | | Panneau 6 | | | |
| | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
| Teneur en CaCO₃ | 85,92 | 84,49 | 87,89 | 84,85 | 87,45 | 89,44 |
| Pourcentage de CaO | 48,12 | 47,32 | 49,22 | 50,9 | 50,28 | 51,5 |

Tableau 12 : Résultats du Cutting pour la zone D Ouest

| Zone D Ouest | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| Panneau 1 | | | Panneau 5 | | | |
| | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
| Teneur en CaCO₃ | 88,58 | 87,3 | 86,3 | 88,07 | 87,89 | 86,95 |
| Pourcentage de CaO | 49,6 | 48,89 | 48,48 | 49,32 | 49,22 | 48,69 |

Tableau 13 : Résultats du Cutting pour la zone D Est

| Zone 4 | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| Panneau 19 | | | Panneau 20 | | | |
| | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
| Teneur en CaCO₃ | 55,85 | 60,45 | 46,87 | 50,41 | 52,44 | 51,45 |
| Pourcentage de CaO | 35,15 | 38,02 | 28,48 | 30,54 | 33,97 | 31,38 |

Tableau 14 : Résultats du Cutting pour la zone 4

Les deux parties de la zone D (Ouest et Est) présentent des teneurs très importantes en CaCO₃ et des fortes proportions de CaO et cela est dû à la litho-stratigraphie de cette zone qui se caractérise par la présence de la séquence générale (marne, marne-calcaire, calcaire dur et calcaire tendre) sur la majorité de ces fronts, avec une forte dominance des formations calcaires.

Pour la zone 4, la dominance des marneux calcaires est très remarquable ce qui explique les faibles teneurs en CaCO₃ et CaO.

Le graphe (figure 26) représente la variation des teneurs en CaCO₃ et le pourcentage de CaO dans les trois zones pour chaque échantillon et chaque panneau étudiée.

Comme on a signalé précédemment la différence des teneurs de CaCO₃ et de CaO entre les trois parties de la carrière est très visible, ceci est également confirmé par les résultats obtenus lors de des analyses par méthode de Calcimétrie.

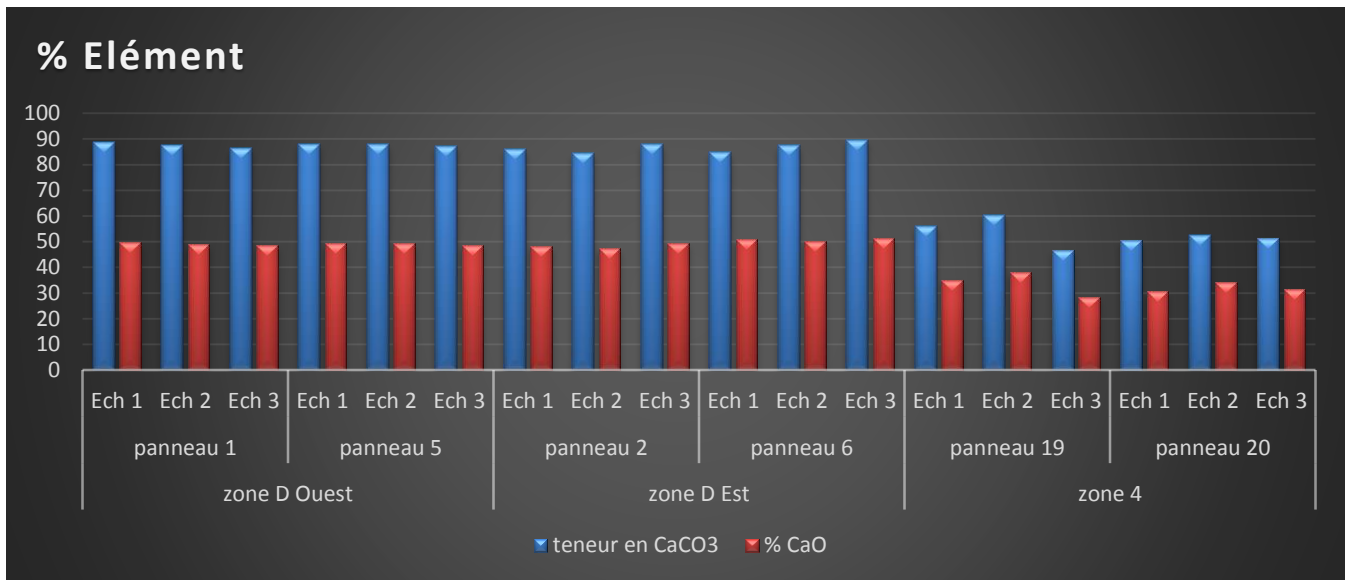


Figure 26 : Variation des teneurs de CaCO₃ et de CaO dans les deux zones d'étude

Remarque :

La diminution ou l'augmentation de teneur en oxyde des composés chimiques et de minéraux de la carrière est influencée par :

- L'absence ou la présence d'une couche à l'autre au moment de dépôt de sédiment;
Exemple : L'absence de la couche de calcaire dur entraîne une diminution de % de CaO donné par la FX et encore on a vérifié le même phénomène pour la teneur de CaCO₃ par la méthode de calcimétrie.
- Une forte concentration d'un minéral dans un niveau lithologique.
Exemple : Dans les couches supérieure (calcaires) contiennent une forte concentration de CaO ; et par contre au niveau inférieur de la carrière (couches marne-argileuses) sont riche en SiO₂.

Conclusion

Ce travail a comme objectif principal, l'étude de variations géochimiques et détermination des couches riches en calcite (CaCO_3), en supposant que cette dernière est à l'origine des variations constatées dans le processus de la fabrication du ciment.

Les résultats obtenus par l'étude et les analyses faites soit au terrain soit au laboratoire montrent globalement que :

- Une hétérogénéité très visible notamment pour les couches litho-stratigraphique présentes au niveau de la zone D.
- La teneur en calcite (CaCO_3) pour les couches supérieures est plus importante par rapport aux couches inférieures.
- La variation de la CaCO_3 pour la même couche est très faible.

Par ailleurs, la litho-stratigraphie de la carrière change au long des fronts de tailles voir même chaque 20 mètres a été constaté, ce qui confirme que l'intervalle de Cuttings ne doit pas être plus grand. Autrement dit un échantillonnage par panneau s'avère insuffisant, dans la mesure où la distance séparant deux panneaux est de 60m, ce qui implique qu'il peut exister des variations importantes de teneur en CaCO_3 , et donc des fausses commandes. Ces variations sont à lier aux variations des apports sédimentaires au moment du dépôt de ces calcaires lacustres.

L'interprétation des résultats obtenus par la diffraction des rayons X, les analyses faites au laboratoire par les méthodes de fluorescence X et calcimétrie ont montré que certains niveaux contiennent majoritairement des couches à une teneur importante de calcite, d'oxyde de calcium et d'autres niveaux plus marneux, sont moins riche en carbonate.

Les couches carbonatées présentes dans toute la série exploitée, ont une teneur en CaCO_3 très élevé. Les calcaires durs sont les plus riches en CaCO_3 suivi par les calcaires tendres et ensuite les calcaires marneux. Pour mieux contrôler les variations qui ont été remarquées durant la fabrication de ciment, et d'améliorer ainsi la qualité de ce dernier, certaines recommandations au niveau de l'exploitation des matières premières peuvent être stipulées :

- ➔ Définir un plan d'exploitation de la carrière pour mélanger la matière exploitée dans les zones plus riches en calcaires purs et celles où les calcaires marneux sont dominants ;
- ➔ Suivre l'exploitation de la carrière par des analyses chimiques pour déterminer toujours la teneur de la calcite (CaCO_3), afin de faciliter la recommandation de la matière première par le service de fabrication et contrôle de qualité au sein de l'usine.
- ➔ Réduire la distance des panneaux.

Références bibliographiques

- Ahmamou M. 1987 : Etude sédimentologie des calcaires lacustres saïssiens (plio-Quaternaire) du bassin de Fès-Meknès (Maroc). Thèse 3^e C. Aix Marseille III.
- Amraoui F. 2005 : Contributins à la connaissance des aquifères Karstiques : Cas du lias de la plaine de saïs et du causse Moyen Atlasique tabulaire (Maroc)
- Compte rendu de la mission à la société de ciments Artificiels de Meknès –CADEM –avril 1988
- Green Hand Sarl Eau, Environnement 2007 : Etude hydrogéologique des carrières LAFARGE Meknès. Mission II : synthèse litho stratigraphique, structurale et hydrogéologique de la zone des carrières
- Pliskin L.1993 : « la fabrication du ciment » - Edition Eyrolles paris 1993
- Rapport annuel LAFARGE Maroc 2013
- Rapport annuel LAFARGE Meknès 2014

Abréviations

CADEM : Ciment Artificiel de Meknès

DRX : Diffraction des rayons X

FX : Fluorescence X

ONA : Office National d'Assainissement

PF : Perte au Feu