

UNIVERSITE CADY AYYAD

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES GUELIZ

Département des sciences de la Terre

**Licence science et techniques : Géologie Appliquée Aux Ressources Minières
(GARM)**

RAPPORT DE STAGE DE FIN D'ETUDES

Mise en valeur et exploitation d'un gisement de calcaire
destiné à la fabrication du ciment : Cas de la Carrière
d'ELMASHAR Tétouan

Réalisé Par :

- AOUGHANE OUMAIMA
- BELRHAZI SARA

Soutenu le : 28/06/2017

Devant le Jury Composé de :

- A. RIZKI : (FST-Marrakech), Encadrant
- N. BOUAZZA : (LAFARGEHOLCIM), Encadrant
- A. HAFID : (FST-Marrakech), Examineur

Remerciement

Durant ce court moment passé au sein de LAFARGEHOLCIM Tétouan, nous avons eu la chance de côtoyer des personnes qui ont su nous faire saisir la profondeur et l'importance du travail du groupe et rendre plus palpable la responsabilité de chacun dans le processus de production.

Cette expérience dans l'entreprise de LAFARGE Tétouan Maroc est sans nul doute l'évènement qui marquera notre carrière professionnelle pour toujours. Et c'est avec un grand sentiment de reconnaissance que nous tenons à remercier distinctement toutes personnes qui a pris soin de nous initier et répondre proprement à nos interrogations et aussi de nous prendre en main tant bien que mal malgré leurs manques de disponibilité et leurs responsabilités.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant pédagogique Mr REZKI ABDELJABAR, pour son encouragement, ses directives et ses précieux conseils tout au long de notre projet de fin d'études.

Nous tenons à remercier vivement notre encadrant de stage Mr BOUAZZA NORDINE, responsable de la carrière au sein de Lafargeholcim pour son accueil et le partage de son expertise au quotidien malgré ses multiples occupations.

Nous remercions Mr ABDELKARIM BAKKAS et Mr MUSTAPHA, qui nous ont pilotés et informé avec beaucoup de gentillesse et de patience.

Nous tenons également à adresser nos sincères remerciements à l'ensemble du corps enseignant de la Faculté des sciences techniques Marrakech , pour avoir porté un vif intérêt à notre formation, et pour avoir accordé le plus clair de leur temps, leur attention et leur énergie et ce dans un cadre agréable de complicité et de respect.

Nos remerciements vont aussi au membre de jury de notre soutenance M.AHMID HAFID pour sa participation à l'évaluation de notre travail.

Table de matières

INTRODUCTION :	7
CHAPITRE I : PRESENTATION SUR L'ENTREPRISE ET GENERALITES SUR LE CIMENT :	9
I- Présentation de LAFARGEHOLCIM ciment.....	10
I.1- Groupe Lafarge.....	10
I.2- Groupe Holcim	11
I.3- LafargeHolcim Maroc	11
I.4- Présentation de la Lafargeholcim Tetouan.....	13
I.5- Hiérarchisation de l'entreprise	13
I.6- Département de l'entreprise :	14
I.6.1- Département Fabrication \Procédé :	15
I.6.2- Département Maintenance :	16
I.6.3- Département Ressources humaines :	16
I.6.4- Département Achats\finance :	17
I.6.5- Département QEC(Qualité,Environnement,Carrière) :	18
I.7- Bref historique sur l'invention du ciment :	19
II- Généralités sur le ciment :	20
II.1- Définition :	20
II.1.1- Composition	20
II.1.2- Gamme de fabrication :	21
II.2- Processus de production du ciment :	22
II.2.1- Extraction et Transport :	23
II.2.2- Concassage :	23
II.2.3- Préparation du cru :	24
a) Préhomogénéisation :	25
b) Broyage du cru :	25
c) Homogénéisation.....	26
II.2.4- Cuisson de la farine :	26
a) Préchauffage :	27
b) Décarbonatation et pré-calcination :	28
c) clinkérisation :	29
d) Refroidissement du clinker :	30

II.2.5- Broyage du clinker :	30
II.2.6- Stockage et expédition :	31
II.3- Méthodes d'exploitation :	32
II.3.1- Décapage :	33
II.3.2- Foration :	33
II.3.3- Tir de mines.....	34
a) Stratégie du tir :	34
b) Qualité du tir :	35
II.3.4- Chargement et transportation :	36
II.3.5- Difficultés d'exploitation :	37
II.4- Choix de la carrière :	39
Chapitre II : ETUDE GEOLOGIQUE, PETROGRAPHIQUE ET GEOCHIMIQUE DE LA CARRIERE D'EL MASHAR	40
I- Stratigraphique et lithologique de la carrière :	41
I.1- Situation géographique :	41
I.2- Cadre géologique local :	42
I.3- Stratigraphie :	44
I.4- Contexte tectonique :	46
II- Etudes macroscopiques et microscopiques de la carrière :	47
II.1-Etudes macroscopiques :	47
II.2 -Etudes microscopiques :	50
II.2.1- description des lames :	50
III. Études géochimiques de la carrière :	53
CONCLUSION :	56
Perspectives :	57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	58
Annexes :	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation et rattachement administratif de la commune rurale Saddina (Rapport de projet de ADS Maroc/Lafarge ; Janvier 2010)	8
Figure 2 : Implantations industrielles de Lafarge dans le monde (documents internes de la société).....	10
Figure 3 : La distribution des deux leader du ciment au monde.....	11
Figure 4 : Les sites cimentiers de LafargeHolcim Maroc (documents internes de la société)	12
Figure 5 : hiérarchisation de l'entreprise.....	14
Figure 6 : Différents départements de l'entreprise.....	15
Figure 7 : Les différents composants du ciment.....	20
Figure 8 : Processus de fabrication.....	23
Figure 9 : Photo de la carrière d'EL MASHAR.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 10 : Etapes de préparation du cru	25
Figure 11 : La cuisson de la farine.....	27
Figure 12 : Différentes étapes du cuisson d'un clinker	29
Figure 13 : Photo d'un four rotatif.....	29
Figure 14 : Broyeur à boulets	31
Figure 15 : Chargement du ciment	31
Figure 16 : (a) Vrac , (b) Sac.....	32
Figure 17 : (a) Photo d'une sondeuse, (b) photo d'un trou foré par la sondeuse	33
Figure 18 : Plan de tir.....	34
Figure 19 : Méthodes de forage.....	35
Figure 20 : Photo de machines qui transportent le calcaire	36
Figure 21: Chargement et transportation du calcaire vers le concasseur.....	37
Figure 22 : Photo d'un karst rempli par des argiles.....	38
Figure 23 : Photo montrant un Karst.....	38
Figure 24 : Carte de localisation géographique du site d'El Mashar d'après la carte topographique 1/50 000 de Tétouan	41
Figure 25 : Carte de localisation géologique du site d'El Mashar d'après la carte géologique 1/50 000 de Tétouan	43

Figure 26 : Colonne stratigraphique synthétique du site d'El Mashar (Rapport du projet Tétouan II-Lafarge Maroc (2007).....	45
Figure 27 : (a) Microsparite (b) Veine de gros cristaux de sparite (en lumière polarisée, grossissement *100)	50
Figure 28 : Contact entre la dolomie et la microsparite .(Lumière naturelle ,Grossissement *100).....	51
Figure 29 :Remplissage de la fracturation (Grossissement *100)	51
Figure 30 : Calcaire à oxyde de fer	52
Figure 31 :Gros cristaux de calcite.....	52
Figure 32 : Déformation intense de la lame (Grossissement*100)	53
Figure 33 : Bloc diagramme montrant les différentes zones de la carrière.....	47
Figure 34 : Variation de MgO et SiO ₂ dans les deux unités stratigraphiques : Héttangien et Sinemurien	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différents types de gammes du ciment et leurs utilisations (Documents interne de société)	22
Tableau 2 : La variation de la granulométrie dans les deux concasseurs.	24
Tableau 3 : Etudes macroscopique des échantillons.....	49
Tableau 4 : Tableau des intervalles des différents composants des deux unités stratigraphiques.(Documents interne de la société).	55

INTRODUCTION :

Depuis la nuit des temps le ciment est le produit qui a accompagné l'homme. Le besoin de s'abriter, du soleil comme de la pluie, l'homme a toujours voulu construire son logement, après les cavernes, les pierres et l'argile ont devenu des matériaux de construction par excellence.

De nos jours la population est en perpétuelle expansion, ainsi les constructions en béton sont devenues de plus en plus envahissantes, mais sans ciment, plus d'aéroports, plus de ponts, plus de routes...plus rien !

Nous avons choisis d'effectuer notre stage de fin d'études à l'usine LAFARGEHOLCIM Ciments de Tétouan car il est le leader dans son domaine. Et cela dont le but de s'accoutumer au rythme de l'entreprise, s'initier dans le monde industriel, et développer nos connaissances.

Le présent rapport qui est le fruit d'un mois de stage comporte deux grands chapitres : Le premier grand chapitre est réservé à la présentation du secteur cimentier marocain ; une brève description des services et aux étapes de fabrication du ciment ; tant que le deuxième est réservé à l'étude géologique, pétrographique et géochimique de la carrière d'EL MASHAR : caractériser les matières premières de la carrière .

La cimenterie de Tétouan « Lafarge » est implantée au sein de la commune rurale de Saddina dans la province de Tétouan .Cette dernière fait partie de la région Tanger-Tétouan, elle est limitée au Nord par la province de Fahs-Anjra, à l'ouest par la province Tanger-Assilah et la province de Larache, à l'Est par la mer méditerranée et au Sud par la province de Chefchaouen (Rapport de projet de ADS Maroc/Lafarge ; Janvier 2010)

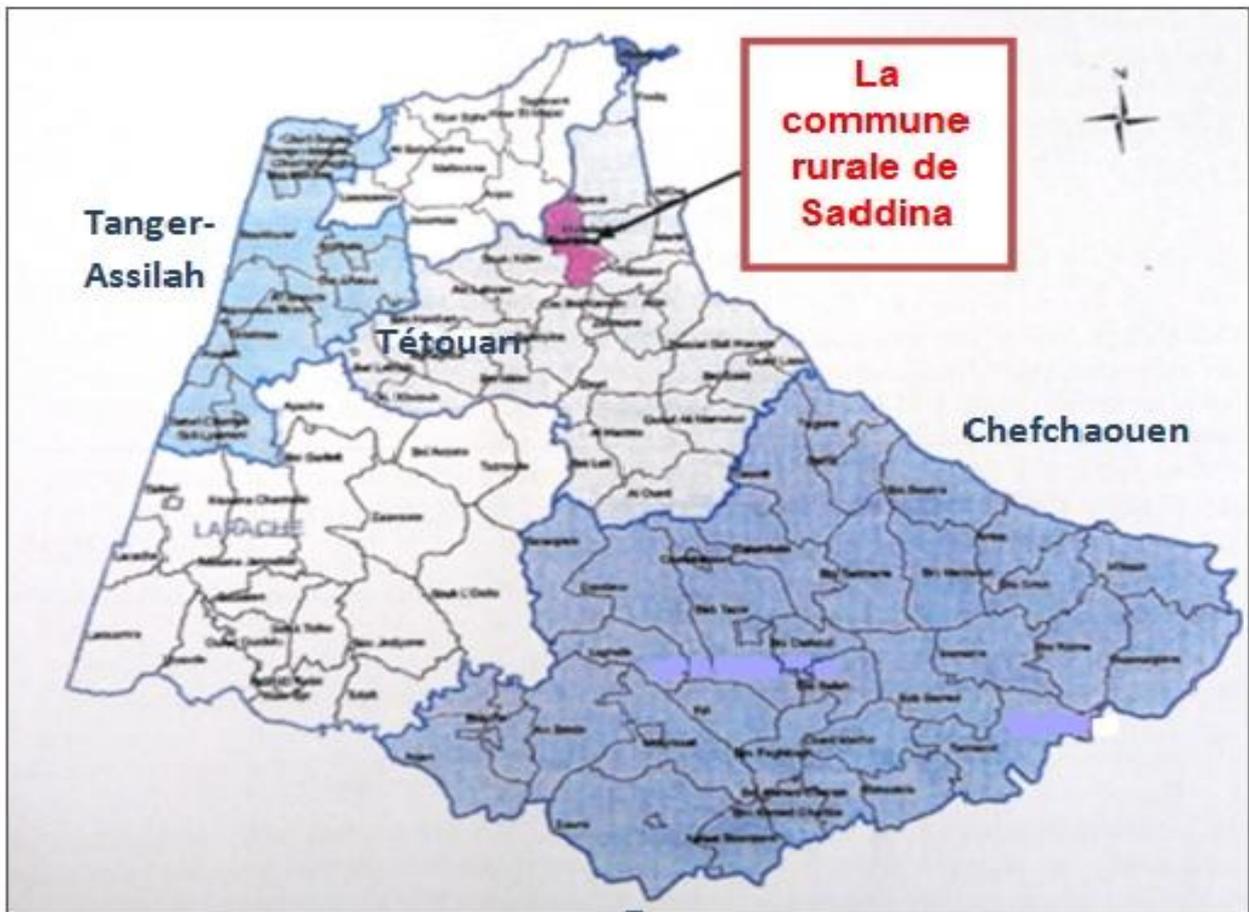


Figure 1 : Localisation et rattachement administratif de la commune rurale Saddina (Rapport de projet de ADS Maroc/Lafarge ; Janvier 2010)

CHAPITRE I : PRESENTATION SUR
L'ENTREPRISE ET GENERALITES
SUR LE CIMENT :

I- Présentation de LAFARGEHOLCIM ciment

I.1- Groupe Lafarge

LAFARGE est un groupe français de matériaux de construction fondé en 1833, par Joseph-Auguste Pavin, leader mondial dans son secteur, suivi par Holcim. Il est présent dans quatre activités principales : béton et granulats, ciment, plâtre, toiture, et dans 78 pays. Son chiffre d'affaires, en 2006, s'est élevé à 16,9 milliards d'euros, dont 47 % dans le ciment, 33 % dans le béton et les granulats, 11 % dans le plâtre et 9 % dans les toitures. Le groupe emploie environ 90 000 personnes dans le monde .Lafarge a développé des ciments spéciaux et des bétons innovants de renommée internationale. Elle représente le leader mondial du ciment, numéro 2 et 3 mondial des Granulats et Béton et numéro 3 mondial du Plâtre. Le développement de ses activités sur les marchés en forte croissance, Asie et Moyen-Orient notamment.



Figure 2 : Implantations industrielles de Lafarge dans le monde (documents internes de la société)

1.2- Groupe Holcim

Le groupe Holcim Ltd, leader dans l'industrie cimentière, est présent dans plus de 70 pays et emploie près de 68.000 personnes. Ses activités couvrent la production du ciment, de granulats, des bétons prêts à l'emploi, des liants routiers.

Le groupe voit le jour en 1912 à la création d'une première fabrique de ciment dans le craton Suisse. Il connaît une expansion rapide et entreprend une présence à l'échelle mondiale. Il développe ses activités en Europe, aux États-Unis, dans les pays d'Asie et du Pacifique, en Afrique et au Moyen-Orient.

1.3- LafargeHolcim Maroc

Le 10 juillet 2015, Lafarge fusionne avec le n° 2 mondial du secteur, le groupe suisse Holcim. Le nouveau groupe est officiellement lancé le 15 juillet 2015 sous le nom de LafargeHolcim. Avec un chiffre d'affaires net combiné de 33 milliards de francs suisses (27 milliards d'euros) en 2014, le groupe LafargeHolcim, qui emploie 115 000 personnes, est présent dans 90 pays (voir figure 3). LafargeHolcim Maroc est une joint-venture entre le Groupe LafargeHolcim, leader mondial des matériaux de construction, et la société Nationale d'investissement (SNI), fond d'investissement privé panafricain à capitaux marocains.

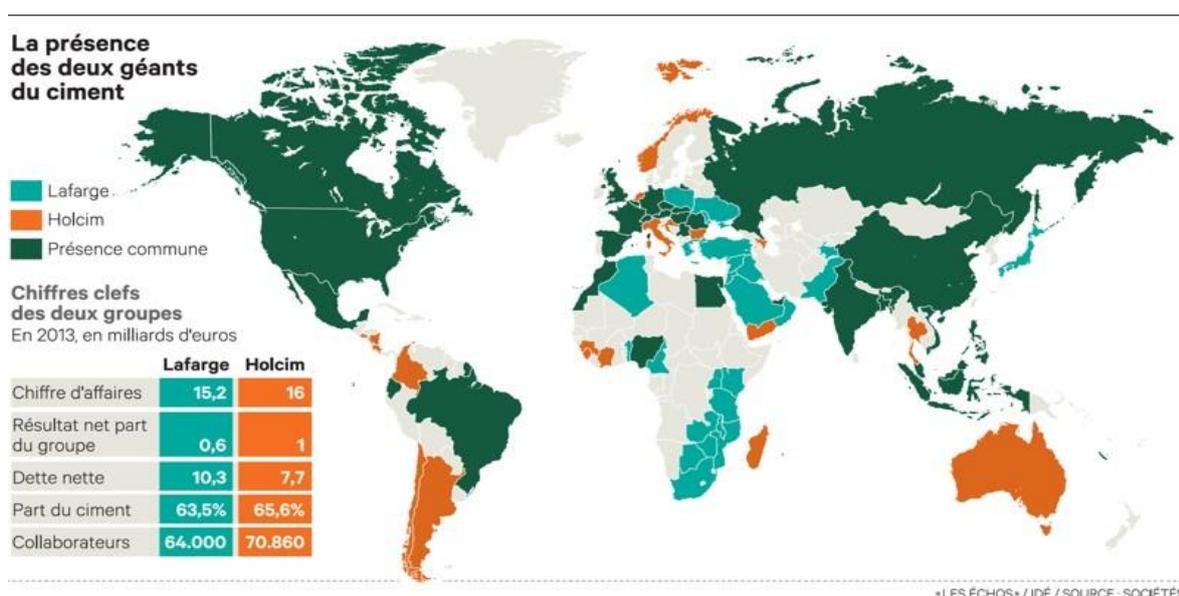


Figure 3 : La distribution des deux leaders du ciment au monde

Présent dans le Royaume depuis 1928, LafargeHolcim Maroc a participé à la modernisation du secteur de la construction et à l'essor économique du Maroc. Son ambition est d'être le partenaire de référence contribuant de façon significative au développement du pays, par sa capacité d'innovation et le déploiement des meilleures pratiques industrielles. Sa stratégie repose sur les principes fondamentaux d'une croissance durable, à l'écoute des évolutions de la Société, et respectueuse de l'environnement et de toutes les parties prenantes.

LAFARGEHOLCIM Maroc est le premier cimentier national. L'entreprise compte 6 cimenteries (Bouskoura, Tétouan, Meknès, Fès, Settât, Oujda) et deux stations de broyage à Tanger et Nador. Un projet de cimenterie dans le Souss est en cours de développement.

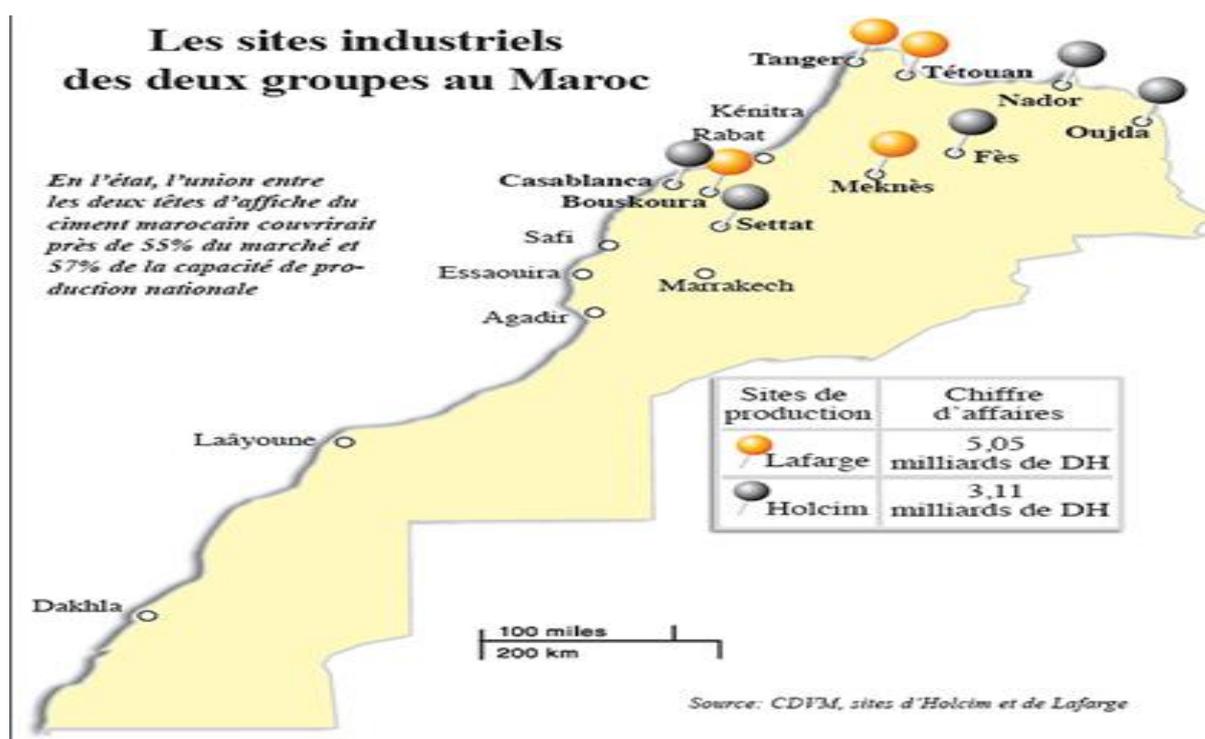


Figure 4 : Les sites cimentiers de LafargeHolcim Maroc (documents internes de la société)

1.4- Présentation de la Lafargeholcim Tetouan

L'usine de Tétouan est un fleuron technologique du Groupe qui dessert principalement le nord du Maroc. Cette unité est dotée d'une capacité de production d'environ 2 millions de tonnes de ciment.

Première cimenterie au monde alimentée en énergie éolienne par son propre parc ; permet de couvrir de 60% à 70% des besoins en énergies électriques de l'usine ; et référence mondiale en matière de respect de l'environnement. Dotée d'équipements techniques exceptionnels, cette unité peut soutenir la comparaison avec les meilleures cimenteries sur le plan international, en particulier en termes de consommation énergétique et de qualité des produits.

Le procédé et les équipements permettent la maîtrise de la qualité de la matière première comme par celle de la cuisson et une régularité du produit fini. Le double concassage, l'alimentation séparée du broyeur cru assurent une meilleure préparation de la matière première tandis que la ligne de cuisson permet d'obtenir un clinker très réactif.

1.5- Hiérarchisation de l'entreprise

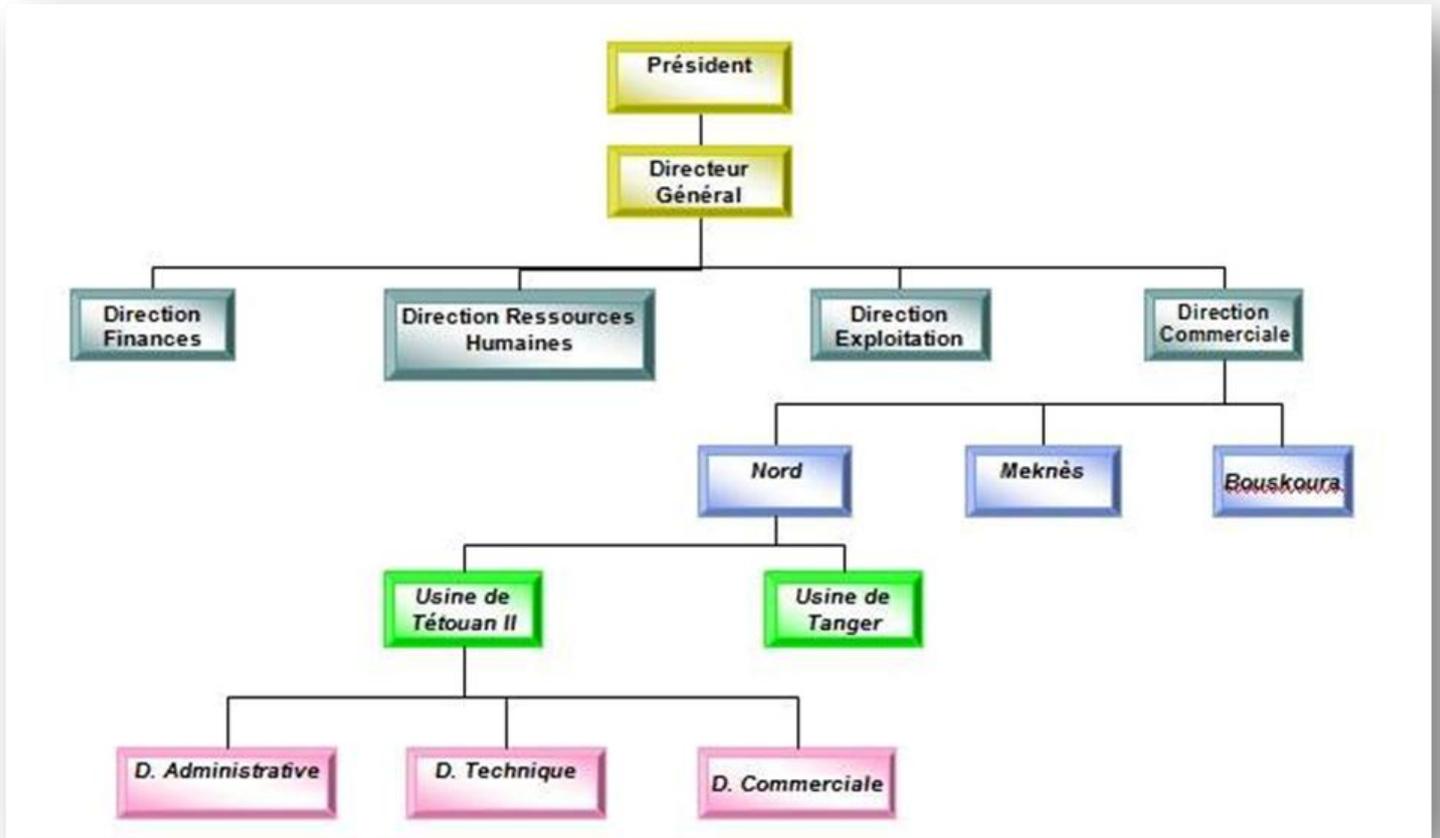


Figure 5 : hiérarchisation de l'entreprise

I.6- Département de l'entreprise :

LafargeHolcim se compose de 5 départements (Figure 6), chaque département est subdivisé en plusieurs services ayant chacun une responsabilité bien définie.

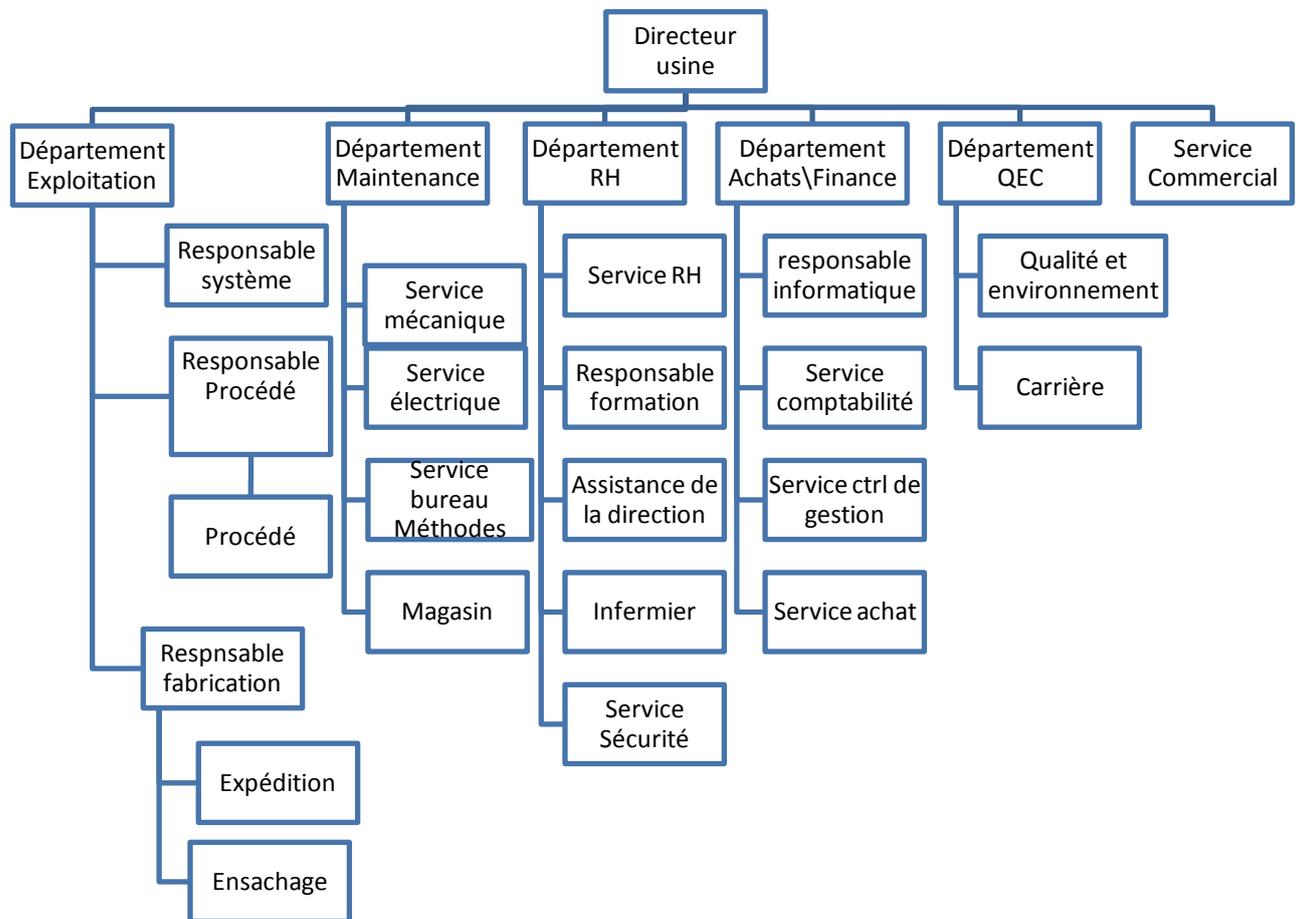


Figure 6 : Différents départements de l'entreprise

I.6.1- Département Fabrication \Procédé :

- **Procédé Système :**

Ce service a pour tâche l'optimisation des procédés\ Performance par l'analyse du dysfonctionnement procès, le suivi des indicateurs de performances, les consignes procès, l'audit et proposition des améliorations ainsi que la gestion par l'informatique industrielle.

I.6.2- Département Maintenance :

- **Bureau des Méthodes :**

Ce service veille à obtenir le plus haut niveau possible de disponibilité des moyens de production, à maintenir et améliorer les caractéristiques techniques des machines pour obtenir le meilleur rendement de chaque installation, à surveiller et analyser de façon permanente le coût de l'entretien de chaque machine afin de le réduire et de réduire le nombre de pannes imprévues et leur durée.

- **Entretien Mécanique :**

Ce service a pour mission principale la réalisation des opérations d'entretien mécanique, il est le garant de la fiabilité mécanique, des procédures de travail, de l'organisation des équipes et de la qualité d'exécution.

- **Entretien Electrique :**

Ce service se charge de la réalisation des opérations d'entretien électrique. Il est le garant de la fiabilité électrique et des instrumentations, des procédures de travail, de l'organisation des équipes et de la qualité d'exécution.

I.6.3- Département Ressources humaines :

- **Service Ressources Humaines :**

Ce service se charge de la gestion des ressources humaines, et plus précisément la gestion administrative du personnel non cadre, l'application de la législation de travail, la gestion des relations avec les représentants du personnel, l'instauration d'un bon climat social, l'établissement des plans de formation et l'assurance d'une parfaite communication interne.

- **Service Formation :**

Ce service a pour mission la formation du personnel de l'usine, allant de simples ouvriers jusqu'aux cadres. Il trace comme objectif la contribution et la réalisation des projets de formation pour le développement des capacités professionnelles. En plus, se charge des accords de stage et le suivi des stagiaires.

- **Service Sécurité:**

Ce service à pour mission de suivre des actions sans relâche en matière de sécurité et cela grâce à un seul homme qui est l'animateur de sécurité qui veille à la sensibilisation et la diffusion auprès de tout le personnel, à l'animation et le bon déroulement des réunions sécurité, à la bonne mise en œuvre et la cohérence des actions et recommandations. C'est en fait le facilitateur de toutes les actions menées.

I.6.4- Département Achats\finance :

Il a pour mission la gestion de la comptabilité générale et analytique dans le but d'assurer une conformité à la réglementation et la législation. Pour se faire, le service assure la gestion des procédures comptables, fiscales et financières, la gestion des procédures budgétaires, l'analyse des coûts ainsi que la gestion du patrimoine foncier avec le siège.

- **Comptabilité :**

Ce service se charge d'établir la comptabilité d'exploitation qui dégage des éléments constitutifs des coûts de revient et déterminer ainsi les prix des ventes. Il se charge aussi du contrôle et traitement des différents mouvements des fonds de l'entreprise.

- **Achat :**

L'objectif principal de la fonction achat est de contribuer fortement à la réduction des coûts en exploitant tous les gisements.

- **Contrôle Gestion :**

Comprend l'ensemble des systèmes de contrôle, financiers et autres, mis en place par la direction afin de pouvoir diriger les affaires de l'entreprise de façon ordonnée et efficace.

- **Service informatique :**

Ce service se charge de la réalisation de toutes les opérations informatiques comme la réalisation des sauvegardes quotidiennes et mensuelles des bandes magnétiques, l'assistance du personnel dans l'utilisation de certains nouveaux logiciels.

I.6.5- Département QEC(Qualité,Environnement,Carrière) :

- **Qualité Carrière :**

Ce service est responsable du contrôle de la qualité du Cru, de Clinker, des matières premières et aussi de communiquer avec le service de fabrication afin de faire la correction en cas d'incident.

- **Environnement :**

Il est responsable de l'environnement et cela à travers le suivi et le respect des normes et procédures d'environnement pour l'instauration d'une démarche de certification ISO.

- **Carrière Géologie :**

Ce service à pour mission l'exploitation des carrières tout en optimisant les réserves et le suivi de la qualité des matières premières avec le laboratoire et le suivi des sous-traitants qui exploitent la carrière.

1.7- Bref historique sur l'invention du ciment :

Historiquement le ciment a été inventé par les romains en mélangeant chaux et pouzzolanes au 18^{ème} siècle. Les savants ont réussi à fabriquer un produit hydraulique par un mélange de calcaire et d'argile chauffé dans un four.

En 1756, l'anglais « smeaton » découvrit que l'obtention d'une chaux hydraulique pouvait être obtenue seulement à partir d'un calcaire particulier contenant une proportion considérable (20 à 25%) de matière argileuse. De la ressemblance du produit qu'il obtient avec la pierre de PORTLAND, universellement adopté aujourd'hui.

En 1812, Procéder de fabrication, Louis Vicat, ingénieur français, remarque l'aptitude de certaines chaux maigres à durcir sous l'eau.

En 1817, Louis Vicat présente à l'Académie des Sciences le premier procédé de fabrication du ciment.

En 1846, Apparition des premiers fours verticaux pour la fabrication du ciment Portland.

En 1860 l'apparition des premiers broyeurs améliorer beaucoup la production du ciment.

En 1887, Henri le Chatelier découvre les mécanismes de formation puis de durcissement du ciment.

En 1898, **Premier four rotatif**, Installation du premier four rotatif au Danemark. Le brevet du four rotatif date de 1885; il est déposé par l'anglais Ransome.

En 1934, Brevet du four à cyclones.

En 1970 Apparition des fours à échangeurs équipés de précalcinateurs.

En 1981, Généralisation de la fabrication du ciment dite "à voie sèche" qui permet d'importantes économies d'énergie.

II- Généralités sur le ciment :

II.1- Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est à dire une matière inorganique finement moulue qui est gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise, et durcit par suite de réaction par un processus d'hydratation. Après durcissement, le ciment conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

II.1.1- Composition

C'est un mélange constitué de quatre éléments principaux tel que : le calcaire, la Pélite, le Phtanite, et le minerai de fer, portés à température très élevée (1450°) , puis brusquement refroidis à l'air et broyés avec des constituants secondaires (calcaire HT et gypse).

Pour des raisons de réduction des coûts de production, l'unité LafargeHolcim ciment est implantée à proximité d'une carrière de calcaire de bonne qualité permettant à l'usine TE-TOUAN II une exploitation estimée à plus de 90 ans, pour les autres matières : Pélite, Phtanite, minerai de fer et le gypse, elles sont livrées à l'usine par des fournisseurs extérieurs.



Figure 7 : les différents composants du ciment :

II.1.2- Gamme de fabrication :

L'usine LafargeHolcim de Tétouan produit 6 types de ciments : CPJ35, CPJ45 et CPJ55 ,CPA55 , Ciment Super Blanc, CPJ Prise Mer . Le tableau présente la composition de chaque type de ciment, ainsi que son utilisation :

Catégories	Composition	Domaine d'utilisation
CPJ35	Ciment portland avec ajouts contenant 61,7% de clinker, 33,8% de calcaire HT et 4,5% des constituants secondaires	Béton courant non armé ou faiblement armé Résistance mécanique moyenne ou peu élevé
CPJ45	Ciment portland avec ajouts contenant au moins 74,196% de clinker, 20,864% de calcaire HT et 4,94% des constituants secondaires	Application de bétons usuels, éléments en béton armé, barrage, construction de bâtiments
CPJ55	Ciment portland avec ajouts contenant au moins 80% de clinker, 15% de calcaire HT et 5% des constituants secondaires	Béton structural, éléments en béton armé et fortement armé

CPA55	Ciment portland composé contenant plus de 95% de clinker	Ouvrages en béton armé fortement sollicité, Béton précontraint, colis d'injection
CPJ Prise mer (PM)	Ciment portland avec ajouts contenant au moins 92% de clinker, 5% de calcaire HT et 3% des constituants secondaires	Villes côtières, ouvrages en bord de mer, pont
Ciment super blanc	Ciment portland composé contenant plus de 65% de clinker blanc et des constituants secondaires tels que le calcaire	Ouvrages esthétiques, aménagement extérieur

Tableau 1 : Différents types de gammes du ciment et leurs utilisations (Documents interne de société)

II.2- Processus de production du ciment :

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité.

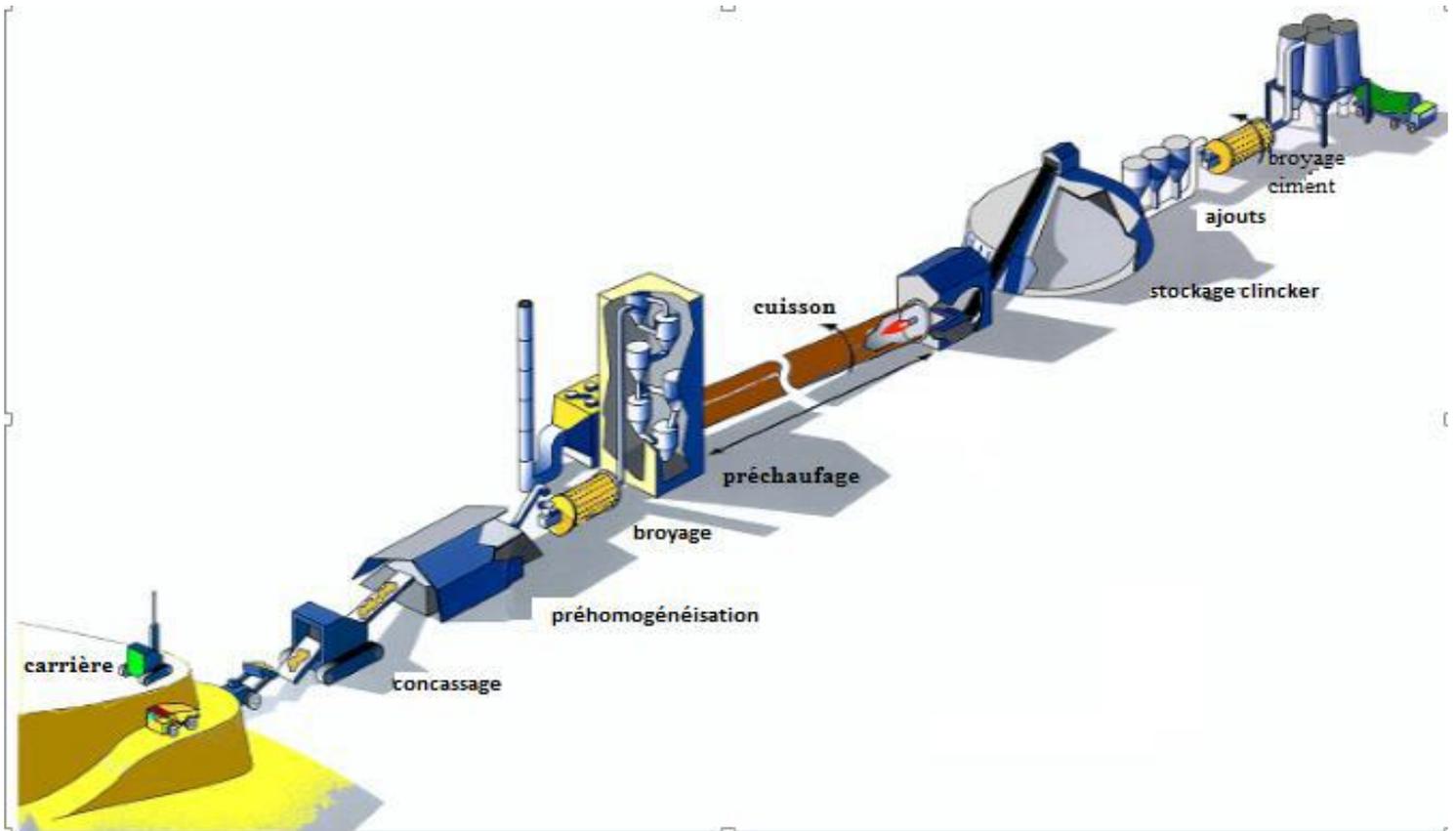


Figure 8 : Processus de fabrication :

II.2.1- Extraction et Transport :

L'extraction consiste à extraire les matières premières vierges à partir de la carrière. Ces matières premières sont extraites des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. Ils sont chargés au niveau de la carrière par des camions (Dumpers) pesés par le pont bascule pour les réduire dans des concasseurs situés sur le lieu même de l'extraction.

II.2.2- Concassage :

Cette opération a pour but réduire la granulométrie des blocs de pierres en fragments de faible dimension (inférieur à 80 mm).

Les camions chargés versent le calcaire dans la trémie réceptrice proche de la carrière pour être acheminé par la suite vers le crible scalpeur. Les matériaux ayant une granulométrie inférieure ou égale à 300 mm vont être acheminés directement vers les cribles de coupure,

tandis que la tranche supérieure à 300 mm sera concassée d'abord à une granulométrie de 300 mm par un concasseur primaire à mâchoire.

Au niveau de crible de coupure, les matériaux ayant une granulométrie inférieure ou égale à 80mm passe directement vers la pré-homogénéisation. La tranche supérieure à cette granulométrie sera concassée par un concasseur secondaire à cône ensuite envoyé vers un deuxième crible de classement.

Les ateliers de concassage sont identiques et se composent chacun de deux concasseurs:

- Concasseur à mâchoires ou Concassage primaire
- Concasseur aléatoire ou Concassage secondaire

	Débit (t/h)	Granulométrie d'entrée (mm)	Granulométrie sortie (mm)
Concassage primaire	600	1130	300-170
Concassage secondaire	600	300-170	0-80

Tableau 2 : la variation de la granulométrie dans les deux concasseurs.

Le concassage est la source d'une grande vague de poussière. Ainsi, pour améliorer les conditions du travail des filtres de dépoussiérage sont placés dans tout l'atelier.

II.2.3- Préparation du cru :

La préparation du cru consiste à réaliser un dosage approprié des roches contenant les quatres constituants de base : Chaux, Silice, Alumine, Fer. Mais pour avoir un cru dosé, il faut ajouter des produits auxiliaires :

- Pélite : Apport de silice et Alumine.
- Phtanite : Apport de silice.
- Minerai de Fer : Roche riche en Oxyde de fer

Cette étape conditionne l'aptitude du cru à la combinaison et la qualité du clinker et du ciment. Les matières premières constituant le cru doivent être finement broyées et parfaitement homogénéisées de manière à faciliter les réactions au cours de la cuisson.

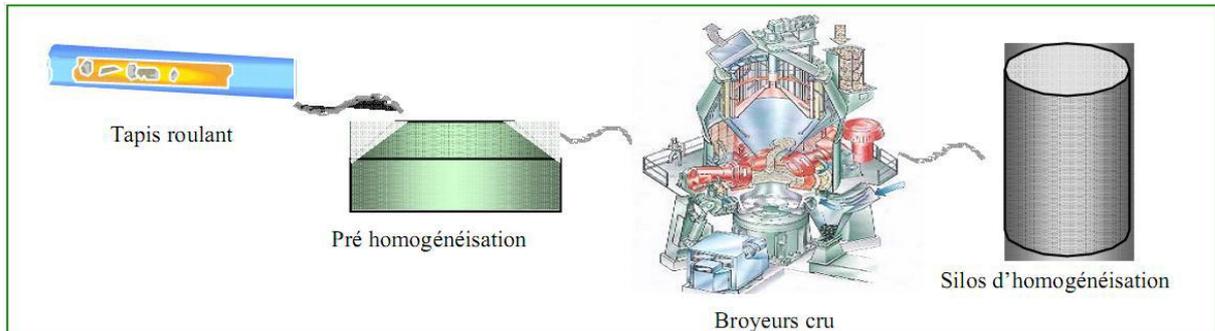


Figure 9 : Etapes de préparation du cru

a) Préhomogénéisation :

La phase d'homogénéisation consiste à créer un mélange homogène entre les différents composants. Cette opération peut être réalisée soit dans le hall où on obtient le mélange homogène en disposant la matière en couches horizontales superposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue-pelle, soit dans un silo vertical par brassage par air comprimé.

Le rôle de la pré-homogénéisation est d'éviter les variations brusques qui ont un impact important sur la cuisson.

b) Broyage du cru :

Cinq doseurs et un extracteur à tablier sont installés sous les trémies. Le Calcaire BT, le calcaire HT, la phanite et le fer sont respectivement extraits par des doseurs, et la pépite est extraite par un extracteur à tablier métallique, puis dosée par un doseur. Les quantités d'extraction de chaque doseur sont contrôlées proportionnellement en rapport avec le contrôle de la quantité d'alimentation du broyeur. Les matières premières extraites sont chargées sur un convoyeur à bande puis transportées au broyeur cru.

Les pourcentages des composants utilisés à l'usine sont :

- 80 % de calcaire composé de :
 - 38/ % de HT (haut titre)
 - 44 % de BT (bas titre) par mélange entre la partie forte en silice et la partie forte en magnésie.
- 10 % de péliste, 7 % de phtanite et 3 % de minerai de fer.

Le broyeur cru est un broyeur vertical à 4 galets ayant une capacité de 160t/h. Les matières premières extraites des trémies alimentent le broyeur via la goulotte à deux voies. La matière première rejetée du broyeur cru est évacuée à l'extérieur, puis transportée par un couloir vibrant et un convoyeur à bande.

Les refus sont recyclés et réintroduits avec les matières premières alimentant le broyeur ou sont évacués à l'extérieur par la goulotte à deux voies. Ce sont les gaz du pré-chauffeur qui sont utilisés pour le séchage des matières premières. La farine crue transportée du broyeur cru par des gaz chauds, au début est collectée par les cyclones, puis, alimente le silo homogénéisation par des aéroglisseurs.

Le but de cette étape est d'obtenir une granulométrie bien déterminée pour améliorer la réactivité de la matière et obtenir ainsi un bon clinker. Le paramètre qui indique la qualité du broyage est le pourcentage des rejets d'un tamis de maille de 100 mm dans le cru, pour dire que le broyage est bon, ce rejet ne doit pas dépasser 10%.

c) Homogénéisation

En sortant du broyeur, le cru sous forme de farine doit être malaxé et homogénéisé une nouvelle fois pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant introduction dans le four. Le cru est homogénéisé et stocké dans des silos.

- Capacité du silo 1 = 7500 tonnes.
- Capacité du silo 2 = 5000 tonnes.

Cette homogénéisation permet d'alimenter les fours avec un cru de composition chimique constante dans le temps.

II.2.4- Cuisson de la farine :

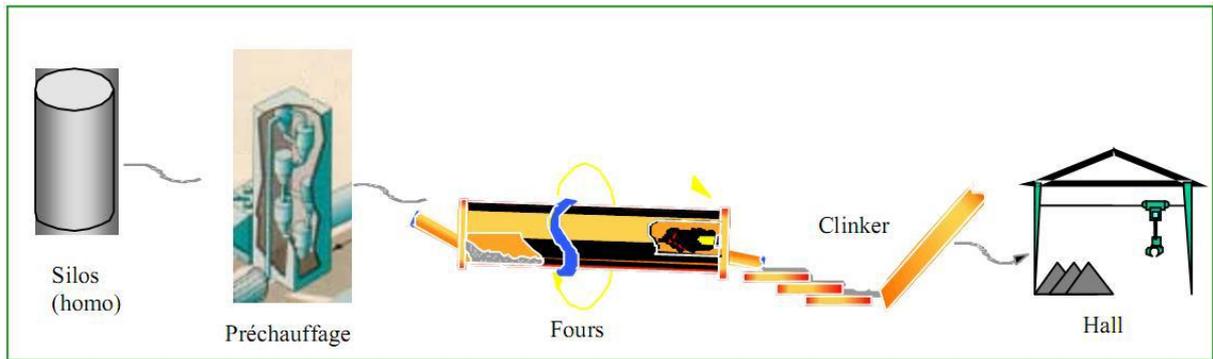


Figure 10 : La cuisson de la farine

Il s'agit de l'opération la plus importante du procédé de fabrication en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût du produit. Le cru est introduit dans le four où il est réchauffé (séché), décarbonaté et clinkérisé pour donner le clinker, qui sera refroidi par de l'air avant d'être stocké. Pendant la cuisson du clinker, la température de la charge du four doit impérativement être maintenue entre 1 400 et 1 500°C et celle des gaz à 2 000°C environ. Le clinker doit également être cuit en milieu oxydant ; c'est pourquoi un excès d'air est requis dans la zone de clinkérisation d'un four à ciment.

La cuisson se passe en 4 étapes principales :

- ✓ Préchauffage entre 100 et 450°C
- ✓ Décarbonatation entre 450 et 900°C
- ✓ Clinkérisation entre 900 et 1450°C
- ✓ Refroidissement de 1450 à 100°C

a) Préchauffage :

La farine (cru dosé) provenant des silos d'homogénéisation subit un réchauffement progressif (de 100 à ~900 °C) par échange de chaleur entre la farine entrante et les gaz chauds sortant du four. Une tour d'échangeurs est composée de 5 étages de cyclones. Dans les cyclones, la farine suit un parcours hélicoïdal à contre-courant des gaz chauds. L'opération de réchauffement permet :

- ❖ Évaporation de l'eau à 100° C
- ❖ Déshydratation de l'eau de constitution des argiles de 250 à 450°C
- ❖ Décarbonatation du Carbonate de Magnésie de 450 à 620°C

b) Décarbonation et pré-calcination :

Après le réchauffement la farine passe par la phase de décarbonation du Carbonate de calcium de 820 à 850°C sous l'équation.



Avant son passage dans le dernier cyclone, la farine passe par un stade de pré-calcination qui sert à optimiser l'échange de chaleur entre le matériau et les gaz chauds, et à achever la décarbonation du calcaire qui survient vers 900 °C.

Environ 60% du combustible peut être consommé à ce stade dans la mesure où la décarbonation est un procédé extrêmement endothermique.

Étapes de cuisson du clinker

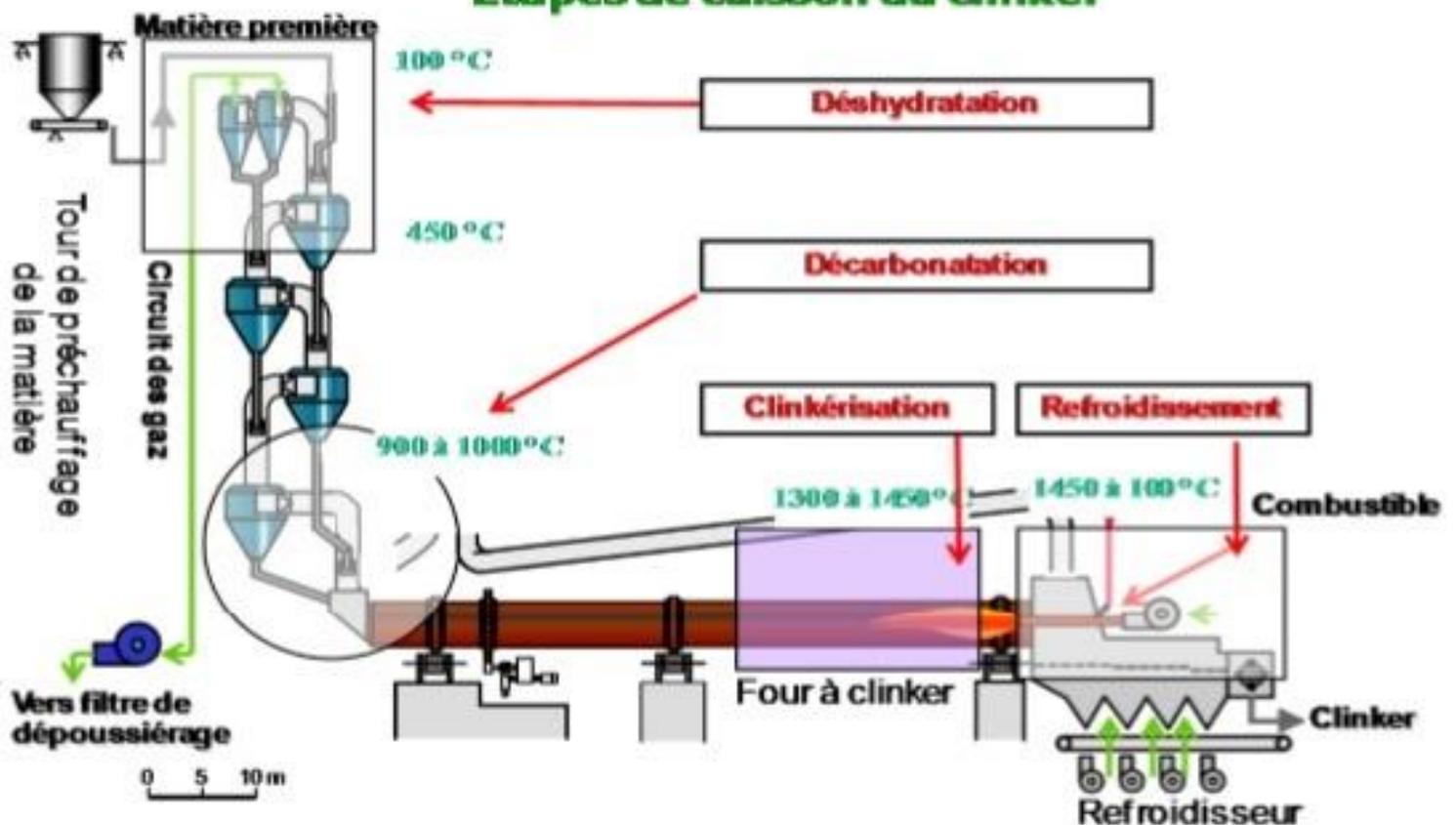


Figure 11 : Différentes étapes du cuisson d'un clinker

c) clinkérisation :

Maintenant le carbon ,l' alumine, la silice et le fer sont là et attendent un climat favorable pour se combiner. La clinkérisation se fait à une température voisine de 1450 °C dans un four rotatif (voir la figure 13), long cylindre tournant de 1,5 à 3 tours/minute et légèrement incliné.

La matière chemine lentement et se combine en venant à la rencontre de la source de chaleur présentant sous la forme d'une longue flamme alimentée au charbon pulvérisé, au fuel lourd, au gaz, ou encore partiellement avec des combustibles au gaz ou avec des combustibles de substitution (valorisation de résidus d'autres industries).

Tout au long de la cuisson, un ensemble de réactions physico-chimiques conduit à l'obtention du clinker :

- la décarbonatation du carbonate de calcium (calcaire) donne de la chaux vive.
- l'argile se scinde en ses constituants : silice et alumine qui se combinent à la chaux pour former des silicates et aluminates de chaux. Ce phénomène progressif constitue la clinkérisation.



Figure 12 : Photo d'un four rotatif

d) Refroidissement du clinker :

Le clinker sortant du four tombe dans le refroidisseur où il est trempé. Le refroidisseur à clinker fait partie intégrante du four et a une influence déterminante sur les performances et l'économie de l'installation de préparation à hautes températures.

Sa fonction est double : récupérer le maximum de chaleur dans le clinker chaud (1450°C) pour la recycler dans le procédé et abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements aval. En refroidissant le clinker rapidement, on fige sa composition minéralogique ce qui augmente son aptitude au broyage et optimise la réactivité du ciment.

II.2.5- Broyage du clinker :

Une fois refroidi, le clinker est stocké dans un hall d'une capacité de 20 000 t avant d'être broyé dans un broyeur à boulets avec les matières d'ajouts. Les ajouts sont, en général, le calcaire et le gypse qui est un régulateur de prise.

- Des ajouts actifs : qui présentent des propriétés hydrauliques (laitiers)
LAITIER : obtenu par refroidissement très rapide dans l'eau de la scorie fondue du haut fourneau ; il est riche en SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 .
- Des ajouts inactifs (Filler : Calcaire) : Roche finement broyée qui n'a pas de propriétés hydrauliques mais sa finesse donne une meilleure capacité à la pâte.

Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement. Ce broyage s'effectue dans un broyeur à boulets (voir la figure 14). Les corps bruyants sont constitués de boulets d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker et amènent progressivement le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 40 microns. A la sortie du broyeur, un cyclone sépare les élé-

ments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur. C'est également lors du broyage que l'on ajoute au clinker le gypse et le calcaire.



Figure 13 : Broyeur à boulets

II.2.6- Stockage et expédition :

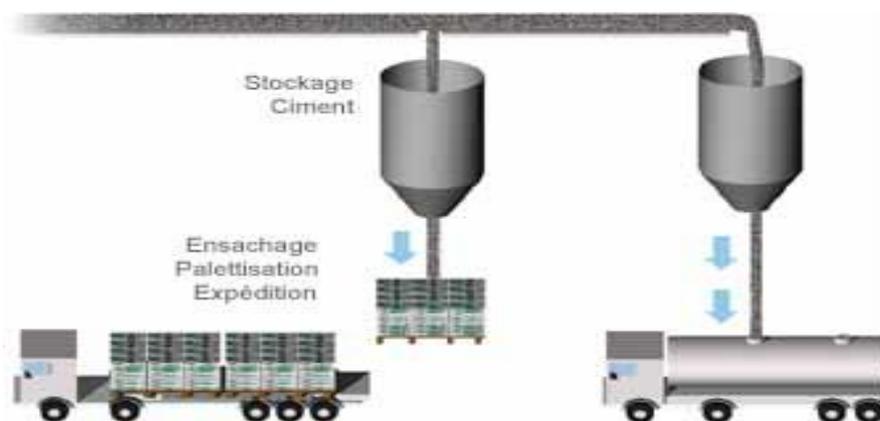


Figure 14 : Chargement du ciment :

➤ **Stockage :**

A la sortie du broyeur, le ciment est orienté vers les quatre silos de stockage de 5000 tonnes chacun et de livraison.

➤ **Expédition :**

Le ciment est expédié vers les lieux de consommation sous deux formes :

- **En sac :** Les sacs contiennent généralement 25 ou 50 Kg de ciment sur lesquels est marquée la classe de résistance du ciment (35 ou 45).
- **En vrac :** la livraison du ciment en vrac se fait sur des citernes. Le ciment est injecté avec l'air dans la citerne jusqu'à ce que le tonnage soit atteint.



a



b

Figure 15 : (a) Vrac, (b) Sac

II.3- Méthodes d'exploitation :

L'exploitation d'un gisement de calcaire consiste à extraire le calcaire de la carrière qui sera ensuite transporté vers l'usine pour la fabrication du ciment. Cette méthode se fait selon 4 étapes :

- Décapage
- Foration
- Tir de mines
- Chargement et transportation

II.3.1- Décapage :

Cette étape consiste à nettoyer le sol naturel en enlevant les argiles à l'aide d'une pelle hydraulique à godille et la couche végétale (herbes et arbres).

II.3.2- Foration :

Elle consiste à confectionner des trous de mines d'une profondeur de 15.5m (fig 17b) à l'aide d'une sondeuse (Fig17 a) à condition de garder la même hauteur des gradins, où sera introduit l'explosif nécessaire pour la fragmentation de la roche. Elle procède l'abatage et constitue avec celui-ci l'opération essentielle d'une exploitation à ciel ouvert.



a



b

Figure 16 : (a) Photo d'une sondeuse, (b) photo d'un trou foré par la sondeuse

II.3.3- Tir de mines

Cette procédure a plusieurs étapes :

- Remplissage en explosifs (Des cartouches du TOVEX+ Amonix)
- Raccordements
- Temps de sécurisation
- Tir

a) Stratégie du tir :

Le plan des forages optimaux est le suivant :

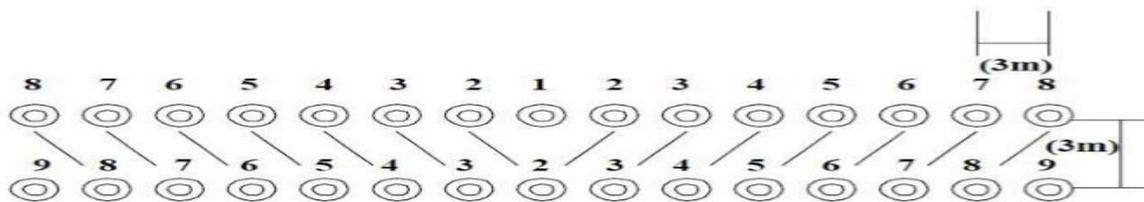


Figure 17 : Plan de tir

L'amorçage des charges explosives est donné par micro-retards dans l'ordre 25ms .

Schématisé par la figure ci-dessous.

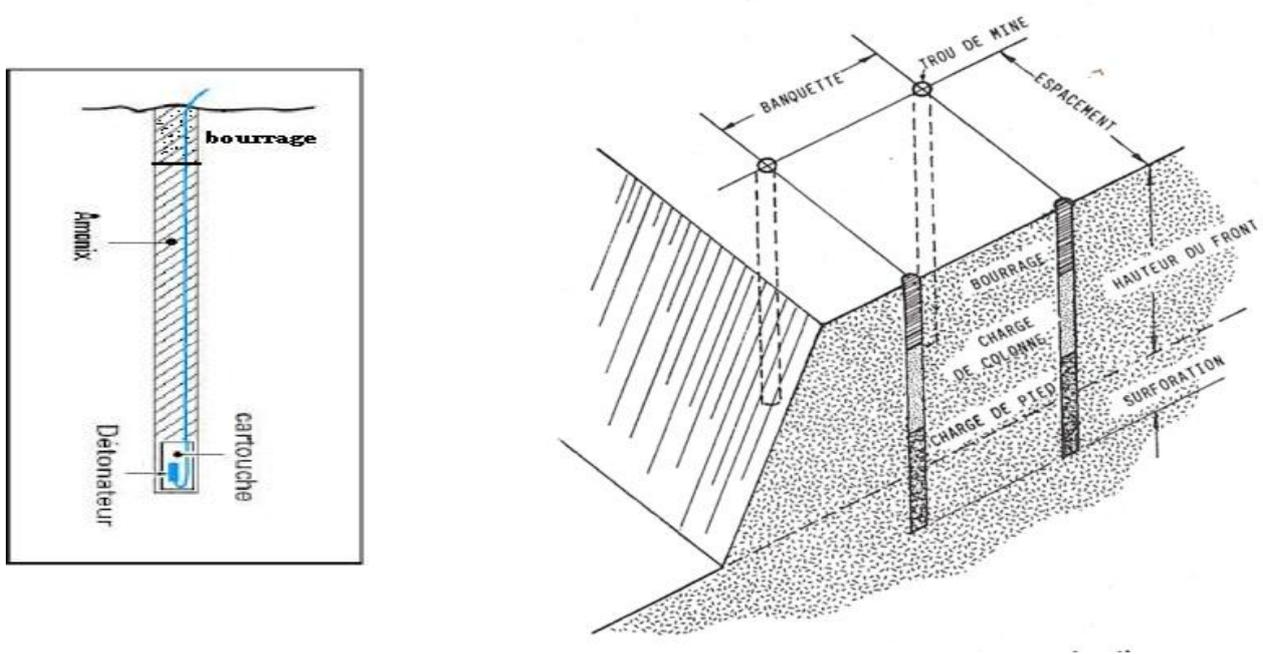


Figure 18 : Méthodes de forage

b) Qualité du tir :

La qualité du tir dépend de plusieurs facteurs, on mentionne :

- Etalement : les blocs doivent rester près du front
- Effet arrière : se développe dans les massifs rocheux à forte densité de fracturations particulièrement s'ils sont communicantes et ouvertes, à ce moment l'expansion des gaz agrandissent les ouvertures et les discontinuités en arrière de la dernière ligne de tir.
- vibration : est calculée par un séismographe
- blocométrie : les blocs obtenus ne doivent pas dépassés 1m

Pendant notre visite de la carrière, on a remarqué que les blocs constituent de vrais problèmes :

- Le triage des blocs, provoque des retards de chargement.
- La nécessité de dégager les pistes.
- Les heures supplémentaires de travaux de forages pour le tir des blocs.
- L'occupation d'un espace important dans la carrière.

II.3.4- Chargement et transportation :

Après l'étape de tir de mine arrive l'étape de chargement et transportation .Il consiste de ramasser les détriments dans des camions vers les concasseurs à condition que la taille des détriments soit inférieure à 80 cm, sinon on les dégrade encore une fois avant de les chargés.



Figure 19 : Photo de machines qui transportent le calcaire

Les blocs obtenus sont transférés dans des dumpers vers l'atelier de concassage où elles sont réduites en fragments de faible dimension (inférieure à 80 mm) puis homogénéisés.

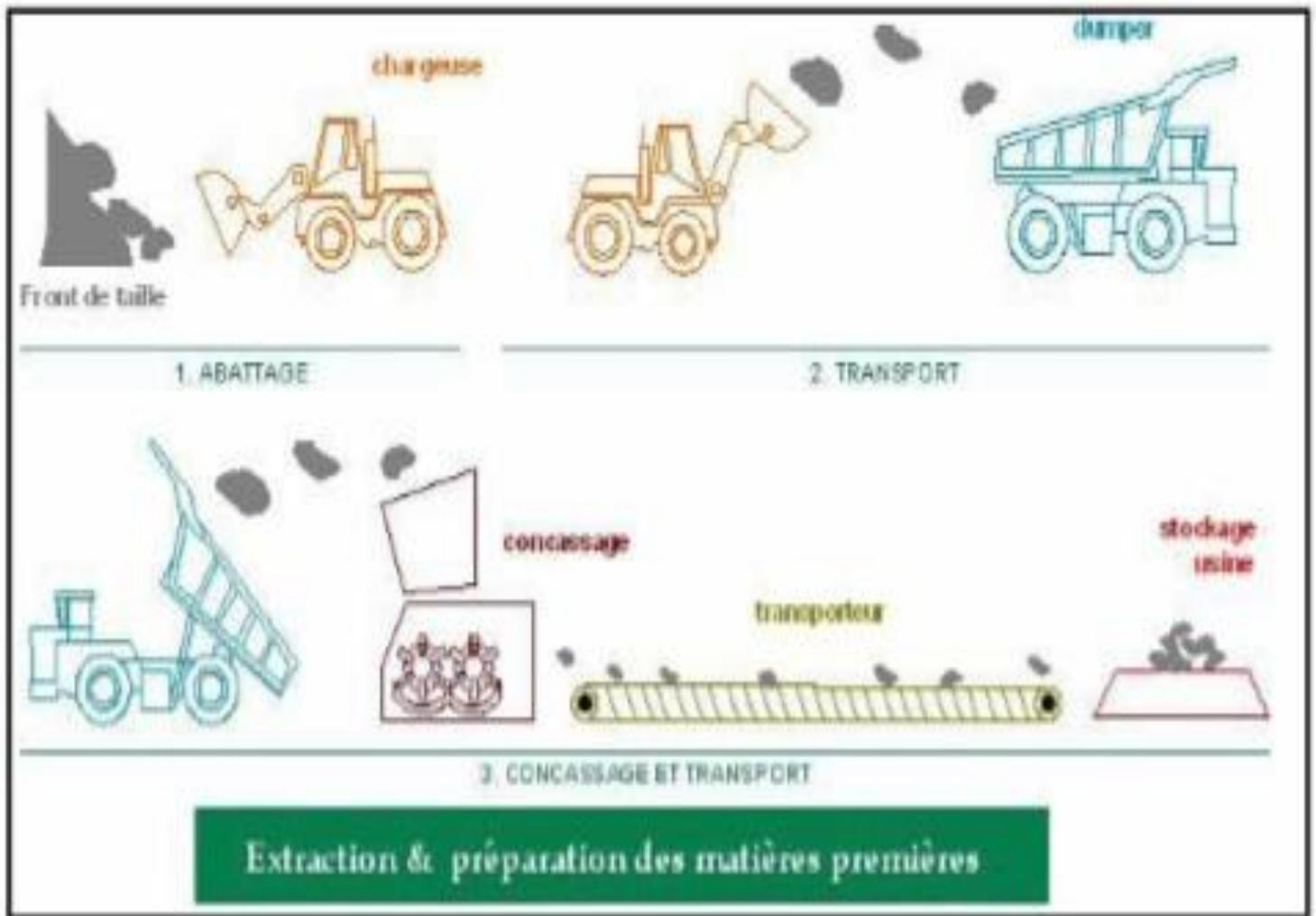


Figure 20: *Chargement et transportation du calcaire vers le concasseur*

II.3.5- Difficultés d'exploitation :

Comme dans chaque carrière il y a des difficultés qui affrontent les exploitants pour extraire le calcaire .Dans le cas de la carrière d'ELMASHAR il existe 2 majeurs problèmes :

- **Remplissage en argiles** : qui influence le chimisme des roches avoisinantes



Figure 21 : Photo d'un karst remplie par des argiles :

- **Phénomène de karstification** : lors du tir, les gaz des explosifs se répandent à la présence des karts qui diminuent l'effet du tir sur la roche, en conséquence on aura un mauvais tir.



Figure 22 : Photo montrant un Karst :

II.4- Choix de la carrière :

Le choix de la carrière a été effectué après une campagne de prospection réalisée en 1997, dans la zone Nord. Pour une quantité suffisante ; plus de 0 ans de réserve ; et une meilleure qualité de calcaire.

Chapitre II : ETUDE GEOLOGIQUE,
PETROGRAPHIQUE ET GEOCHI-
MIQUE DE LA CARRIERE D'EL
MASHAR

I- Stratigraphique et lithologique de la carrière :

I.1- Situation géographique :

Géographiquement la cimenterie fait partie du massif d'El Mashar, qui se trouve à 10 Km au NW de la ville de Tétouan dans le Chaïnon du Haouz à l'Est du village Saddina, Il a une longueur de 4Km environ et une largeur moyenne de 300 à 400 m (**Fig.24**).

Le relief de ce site assez prononcé, est caractérisé par une altitude 330 à 350m. En bordure NNE de relief (écaïlle Est), il s'élève jusqu'à 500 à 550 m, tandis qu'en bordure WSW (écaïlle Ouest) l'altitude varie entre 400 et 450 m.

La localisation approximative du site est donnée sur l'extrait de la carte topographique de Tétouan.

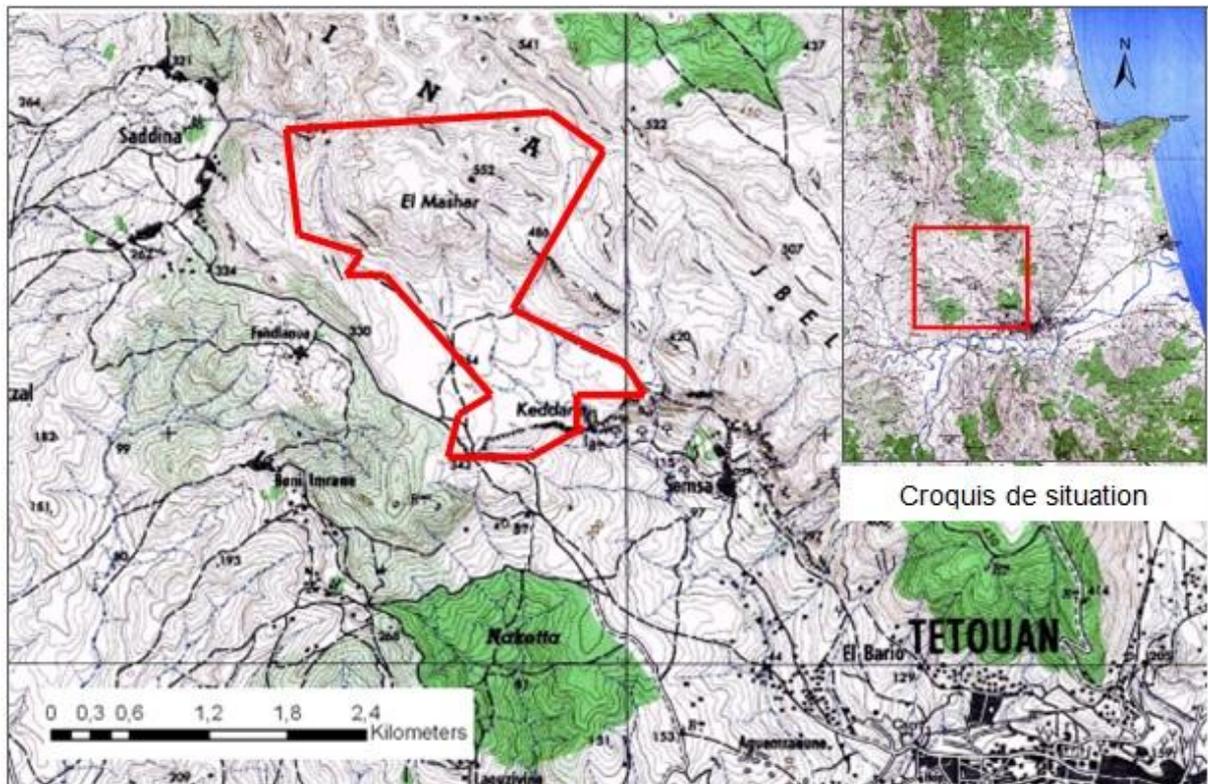
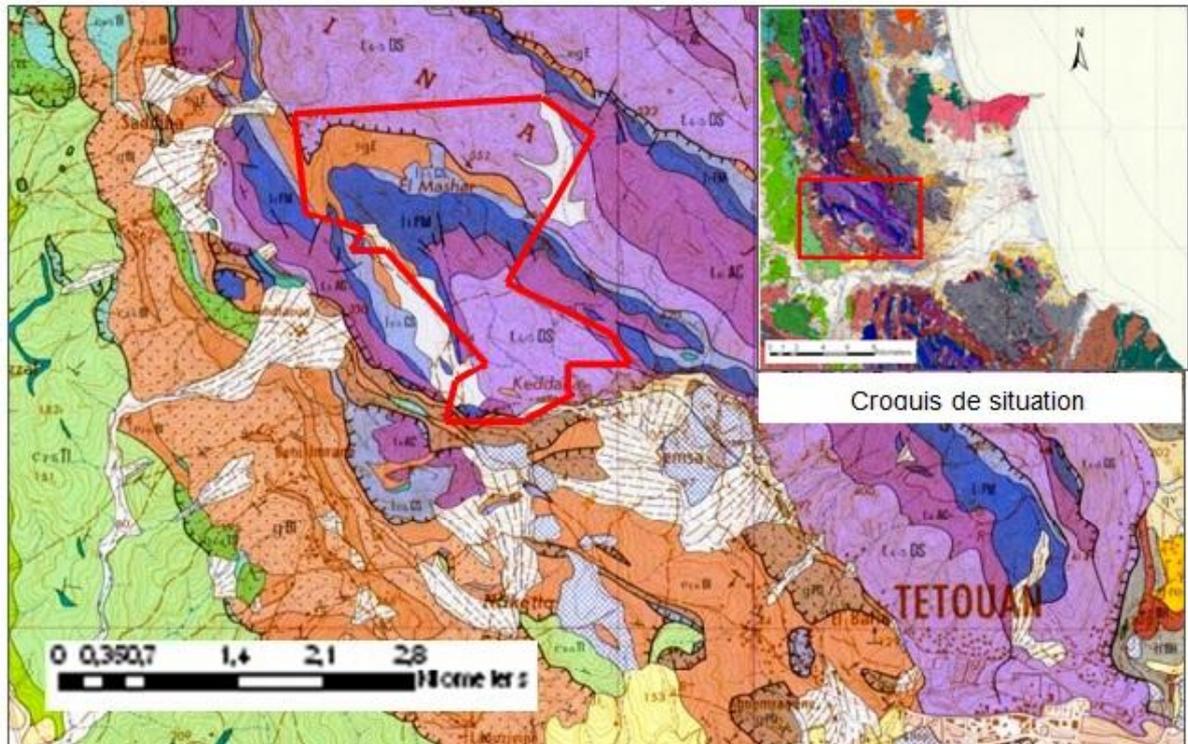


Figure 23 : Carte de localisation géographique du site d'El Mashar d'après la carte topographique 1/50 000 de Tétouan

1.2- Cadre géologique local :

Le secteur d'El Mashar constitue le tronçon méridional du chaînon du Haouz au Nord immédiat de Tétouan ce chaînon fait partie de la dorsale calcaire rifaine formée d'un ensemble d'échelle carbonatées, d'âge méso-cénozoïque (Maaté 1993) orientées NW-SE . Ce secteur est dominé par l'échelle de Hayar-Utchin de l'unité de jbel Dersa à l'Est et limité par le prédorsalien et les Flyschs à l'Ouest (Leikine, 1969 ; Olivier, 1978 ; Ben Yaich, 1981 ; El Hatimi, 1991).



LEGENDE :

CHAÎNE CALCAIRE EXTERNE

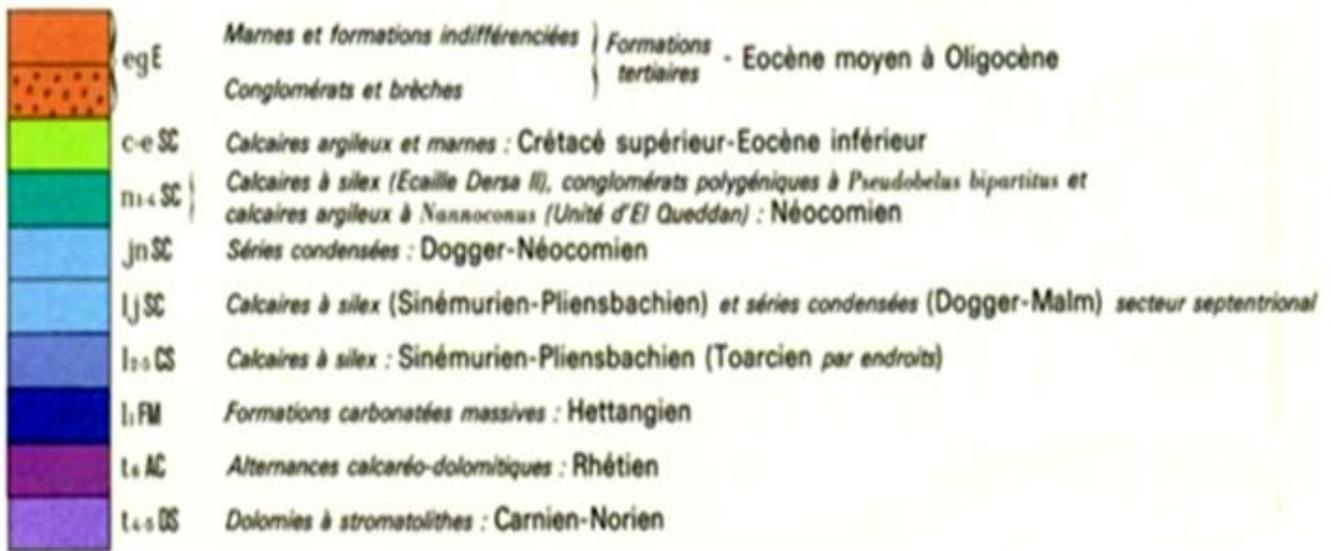


Figure 24 : Carte de localisation géologique du site d'El Mashar d'après la carte géologique 1/50 000 de Tétouan

1.3- Stratigraphie :

La colonne stratigraphique du site d'El Mashar se succède du bas en haut :

- **Le Trias supérieur** : des dolomies grises et brunes en bancs (0.5 à 1m), et des calcaires dolomitiques jaunâtres plaquettaires ainsi que des marno-calcaires alternant localement avec des dolomies et des brèches dolomitiques, traduisant un milieu de dépôt d'une plateforme carbonatée inter à supratidale.

- **Le Rhétien** : une alternance de bancs calcaro-dolomitique, ces formations montrent un approfondissement du milieu de dépôt.

- **L'Héttangien**: des calcaires massifs blanc ils sont en majorité noduleux et/ou bréchiques et admettent des interbancs dolomitiques, ces formations témoignent un milieu de dépôt d'une vasière interne peu profonde (El Kadiri, 1991).

- **Le Sinémurien-Pliensbachien** : Formation hétérogène composée :
 - Des calcaires Mudstones biomicritiques avec des rares radiolaires calcifiés. Ils forment la grande partie de la formation.
 - Des calcaires marneux à filaments et à concrétions ferrugineuses.
 - Des calcaires fins gris-clairs à silex brun lités en banc de 10 à 30 cm.
 - des calcaires microlités à rare silex présentant de fréquentes structures plissées de dimension métrique.
 - une couche de brèches polygéniques repose en discordance sur les calcaires à silex ; ces derniers sont formés par des éléments sub-anguleux et parfois arrondis de diamètre 2 à 300 mm.
 - Des calcaires fins rouges-bruns à microfilaments.
 - des calcaires sombres marneux et des dolomies jaunes.

La matrice est peu abondante de nature marneuse et de couleur rouge brique. (El Kadiri).

- **Le Tertiaire** : est formé essentiellement par des marnes, des calcaires biodétriques, des conglomérats et des grès de l'Eocène-Oligocène (El Kadiri, 1991).

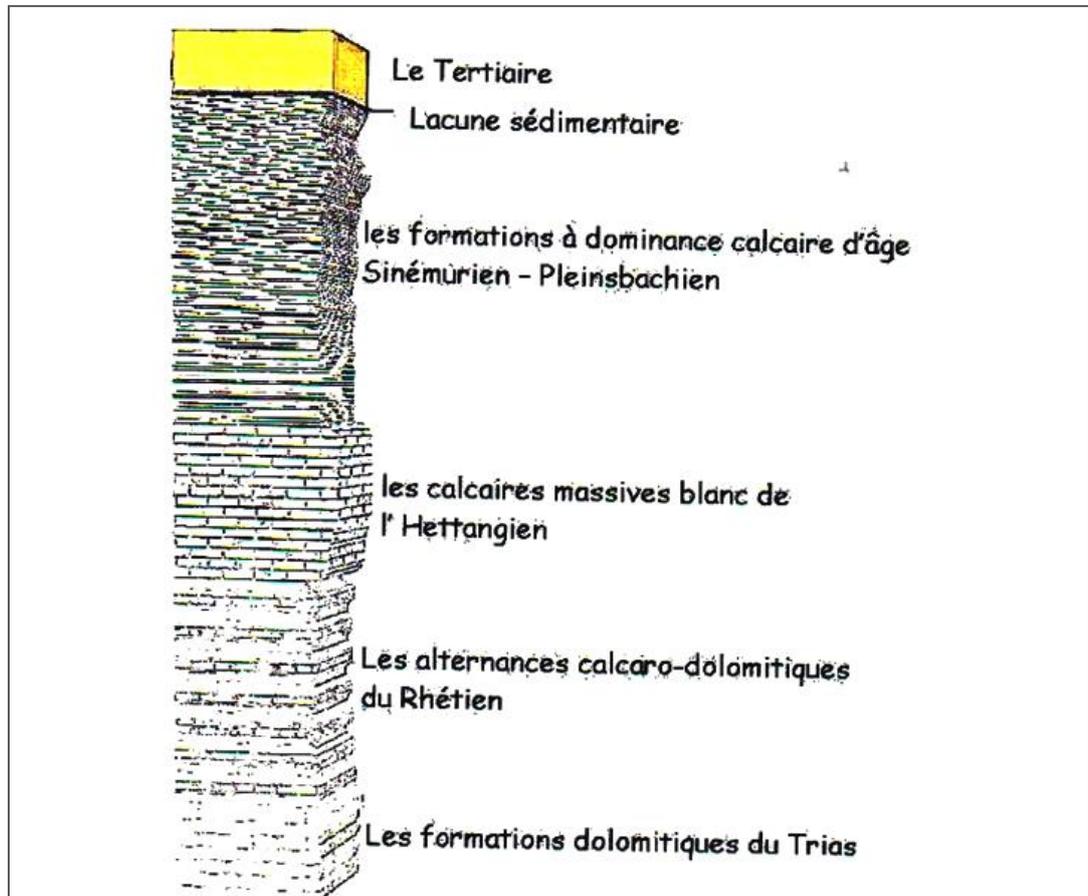


Figure 25 : Colonne stratigraphique synthétique du site d'El Mashar (Rapport du projet Tétouan II-Lafarge Maroc (2007).

1.4- Contexte tectonique :

L'unité d'El Mashar affleure particulièrement dans le Haouz méridional entre Samsa au sud et Ajaâber au Nord, cartographiquement c'est une structure plissée et écaillée, orientée NW-SE. (Demets et al, 1990).

Elle est limitée au Sud par un accident très redressé E-W à jeu décrochant tardif senestre, tandis qu'au Nord elle est limitée par un accident de Bab Alaouya à jeu décrochant dextre NE-SW. (Lespinasse, 1975 ; Morley 1987 ; Frizon de Lamotte, 1985; Frizon de Lamotte et al, 1991).

Sa bordure occidentale est soulignée par un contact tectonique légèrement chevauchant qui la sépare de la zone pré-dorsalienne et de la zone des Flyschs crétacés et tertiaires. A l'Est un accident majeur de direction N140 et de pendage 50 à 70 E la met en contact de l'unité plus interne du jbel Dersa . (Kornprobst, 1974; Ben Yaich, 1981; El Hatimi, 1991)

Deux écailles tectoniques imbriquées à vergence externe ; sont distinguées dans l'unité d'El Mashar :

- L'écaille occidentale de Saddina
- L'écaille orientale de Keddana

II- Etudes macroscopiques et microscopiques de la carrière :

II.1-Etudes macroscopiques :

La reconnaissance macroscopique peut faciliter la gestion des matériaux de la carrière, ainsi qu'il ne demande pas beaucoup du temps et c'est la méthode la moins chère. Mais il demande une grande connaissance géologique et pétrographique.

Afin d'atteindre notre objectif qui est d'identifier la composition chimique et minéralogique des différents matériaux premières de la carrière d'ELMASHAR , nous avons prélevé au total 6 échantillons correspondant sous forme des roches .L'échantillonnage se fait au niveau des différentes zones exploitables de la carrière.

Méthode d'échantillonnage :

Munies de notre marteau, nous avons échantillonné de façon à couvrir toute la zone explorée. 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 ou feutre de telle sorte à pouvoir identifier facilement la zone et l'endroit de sa provenance..

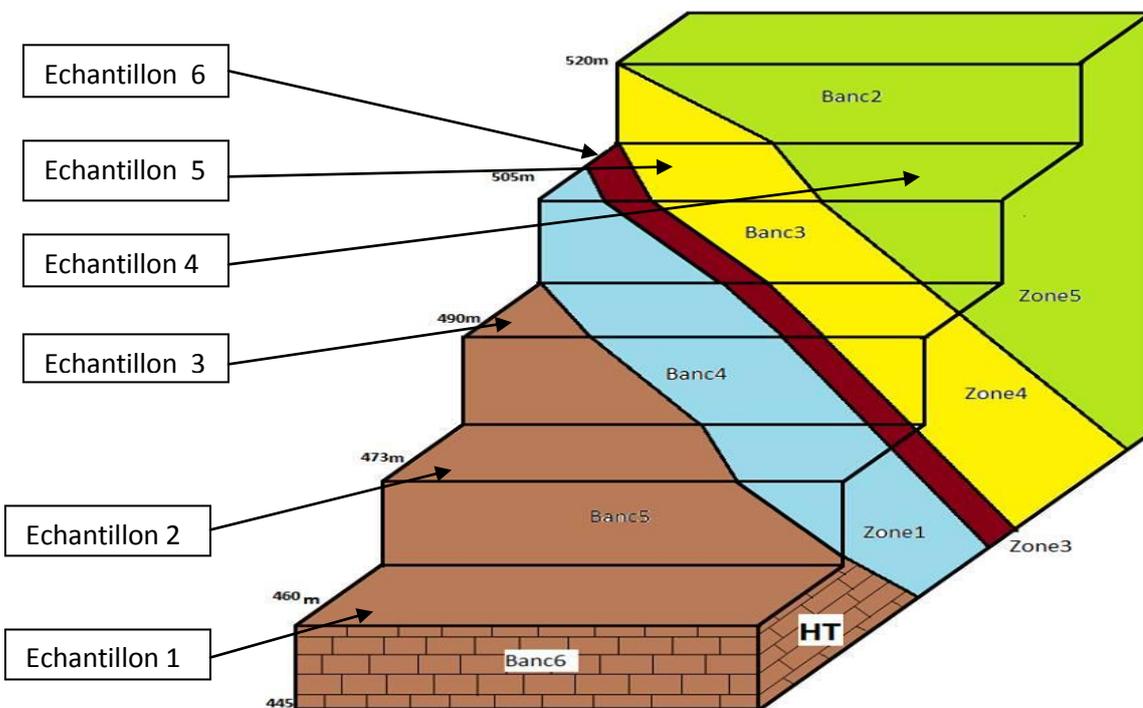
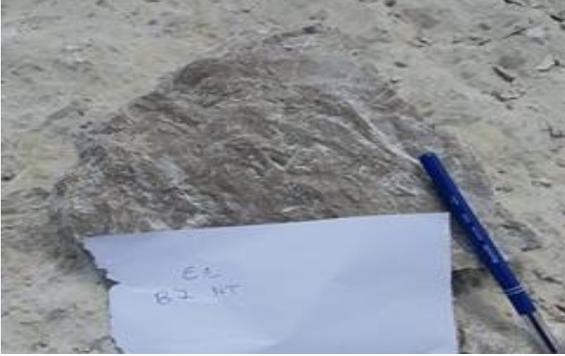


Figure27 : Bloc diagramme montrant les différentes zones de la carrière :

Numéro échantillon	Echantillon	Commentaire
1		<p>C'est un calcaire haut titre (pur) riche en CaCO_3 homogène d'une couleur grise à grise blanchâtre, avec la présence de veinules de calcite blanc avec une texture massive.</p>
2		<p>Calcaire HT d'une couleur grise avec de petits veinules de calcite blanchâtres et aussi des veines de Dolomie, avec une texture massive.</p>
3		<p>Calcaire BT (bas titre) de l'Hettangien sommital de couleur brune à grise. C'est une roche riche en MgO, avec un aspect compact et dur.</p>

4		<p>Calcaire BT de couleur rougeâtre allochtone, traversé par des veinules de calcite. La couleur rougeâtre est due à la présence des oxydes de fer.</p>
5		<p>Alternance de banc de silex de couleur gris foncée avec des bancs de Calcaires BT de couleur gris brunâtre traversée par des veinules de calcite blanchâtres.</p>
6		<p>Calcaire BT de couleur gris jaunâtre, avec des veinules de calcite. Et peu de silex. Une texture massive.</p>

Tableau 3 : études macroscopique des échantillons

II.2 -Etudes microscopiques :

Après avoir préparé les lames minces pour chaque échantillon, on passe par la suite à leur étude à l'aide d'un microscope optique polarisant, qui consiste à effectuer un certain nombre d'observations, dont le but est de déterminer les propriétés physiques et optiques des minéraux. Ces observations vont donc permettre de décrire et préciser la nature des minéraux constituant la roche.

II.2.1- Description des lames :

E1 : Calcaire Haut Titre (HT) :

La lame est difficilement examinée vu que la dimension de la matière est plus fin, alors qu'on arrive juste à détecter la microsparite présente dans des plages étendues sous forme de grains très fins, ainsi certains grains de calcite polarisent dans des teintes vives. des fissures remplies par des gros cristaux de sparite. Cette sparite est due à la recristallisation de la microsparite. Nous avons observé aussi des fantômes de fossiles (fossiles recristallisés).

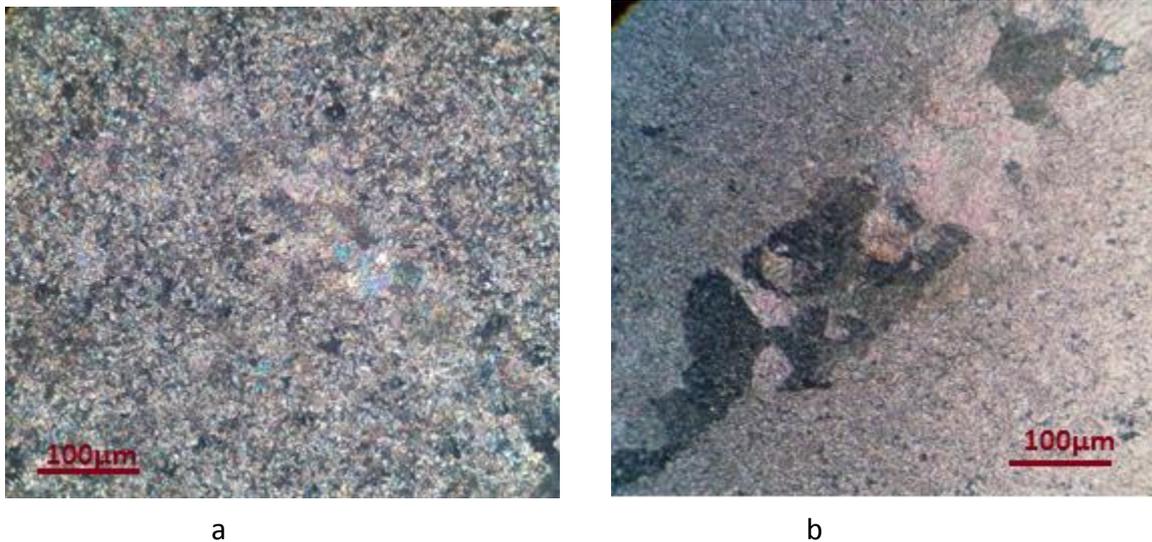


Figure 28 : (a) Microsparite (b) Veine de gros cristaux de sparite. (En lumière polarisée grossissement *100)

E2 : Calcaire à dolomie :

L'échantillon 2 est constitué de microsparite avec la dolomie (sous forme losangique). La dolomite est secondaire résulte de la circulation des fluides magnésiens au niveau des fractures ce qui provoque le phénomène de la dolomitisation, et par conséquent avoir un calcaire dolomitique.



Figure29 : Contact entre la dolomie et la microsparite .(Lumière naturelle ,Grossissement *100)

E3 : Dolomie :

La lame montre une plage de dolomie avec une intense fracturation dont le remplissage est par la microsparite et par des minéraux d'argiles.

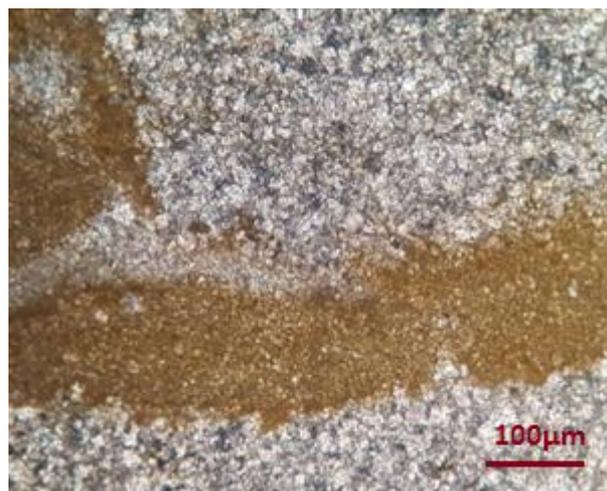


Figure30 :Remplissage de la fracturation (Grossissement *100)

E4 : Calcaire Bas Titre (BT) :

La lame est totalement micritisée ce qui montre que le milieu de dépôt était calme. Ainsi la présence de quelques grains de quartz et des oxydes de fer. Cette micrite est traversée par des fissures de microsparite fine.

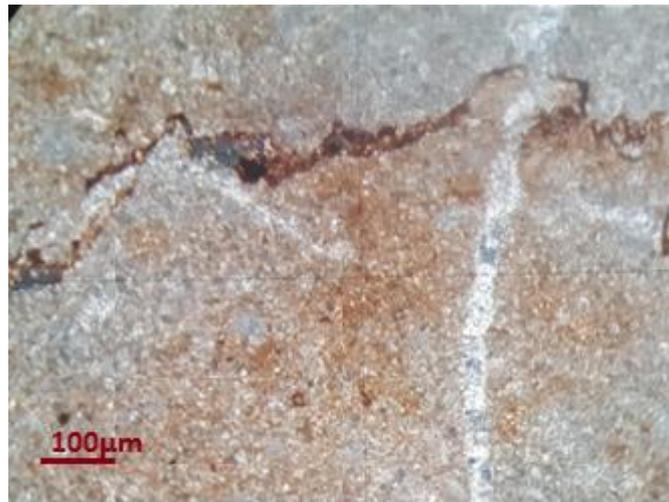


Figure 31 : Calcaire à oxyde de fer (Grossissement *100):

E5 : Calcaire à silex :

La lame présente la micrite, la microsparite, et la sparite .On observe de gros cristaux de calcites, qui se polarisent dans des teintes vives, et de la silice polycristalline.

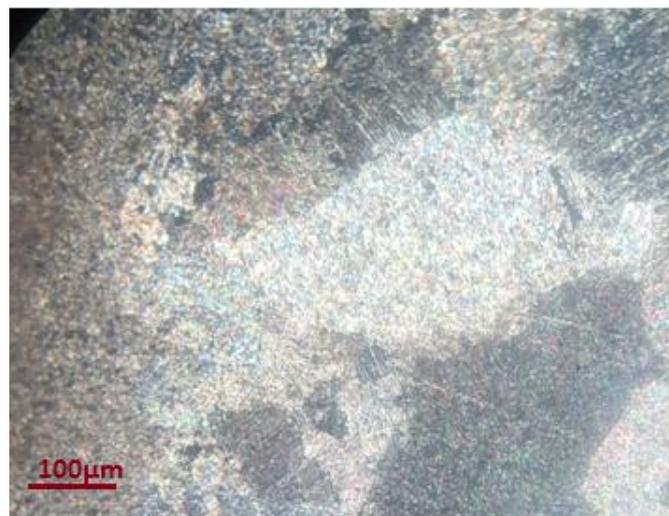


Figure 32 : Gros cristaux de calcite (Grossissement *100):

E6 : Calcaire avec peu de silex :

La lame présente de gros cristaux de calcite sparitique avec quelque élément microscopique conservés .L'apparition de certaines microstructures (microfractures) peut confirmer que la déformation tectonique est plus au moins importante.

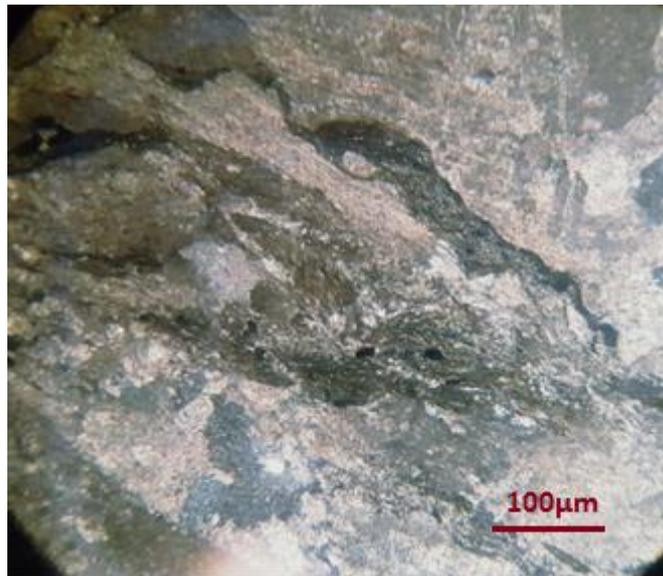


Figure 33: Déformation intense de la lame (Grossissement*100)

III. Études géochimiques de la carrière :

Introduction :

L'identification microscopique des différents matériaux n'est pas toujours possible vu l'hétérogénéité des formations et l'abondance du phénomène d'altération (oxydation, hydratation...) suite à l'exposition de la matière en surface.

D'où l'importance de la reconnaissance géochimique qui permet une meilleure caractérisation de la matière, dont le but est de déterminer les pourcentages en oxydes (SiO_2 , AL_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO ...).

Les résultats obtenus pour chaque analyse nous a servi à identifier les différents matériaux en se basant sur les tableaux des valeurs limites établis par la société (Tableau 4).

Cette carrière est divisée en deux parties selon le type de calcaire :

- La première partie comporte le calcaire à haut titre (HT) d'âge Héttangien dont la teneur en CaCo_3 est de l'ordre de 87,94%.
- La deuxième partie comporte le calcaire à bas titre (BT) d'âge Sinemurien dont la teneur en CaCo_3 est de l'ordre de 74% . Cette dernière partie n'est pas homogène ; elle est sous divisée en 5 zones selon la teneur en MgO et SiO_2 .

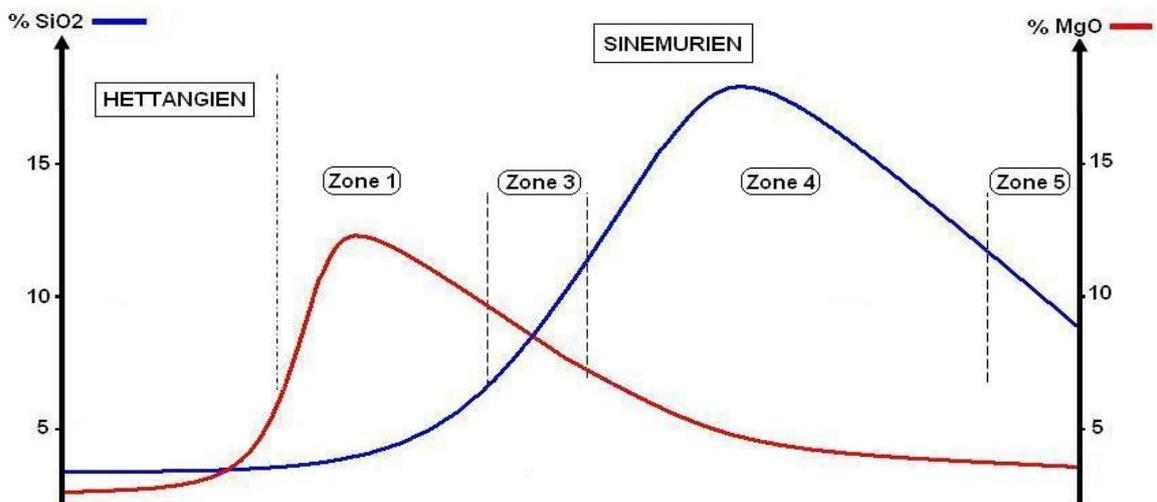


Figure 26 : Variation de MgO et SiO_2 dans les deux unités stratigraphiques : Héttangien et Sinemurien :

Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour les diverses unités stratigraphiques :

		SiO ₂ (%)	MgO(%)	CaO(%)	Dominance	Couleur
Héttangien	HT	0.4<SiO ₂ <2	0.2< MgO <1	49< CaO <55	-	Blanchâtre
Sinemurien	Zone 1	0.4<SiO ₂ <2	1< MgO <11	44< CaO <52	MgO	Blanchâtre
	Zone 3	4<SiO ₂ <10	4< MgO <10	44< CaO <53	Zone de transition	Gris jaunâtre
	Zone 4	10<SiO ₂ <20	1< MgO <4	38< CaO <48	SiO ₂	Gris
	Zone 5	4<SiO ₂ <8	1< MgO <2	45< CaO <50	SiO ₂	Rouge

Tableau 4 : Tableau des intervalles des différents composants les deux unités stratigraphiques. (Documents interne de la société) :

Interprétation :

D'après le tableau ci-dessus, nous constatons que l' Héttangien est un âge caractérisé par un calcaire pur et dont le pourcentage de CaO est le plus élevé de 49 à 55%.

Le Sinemurien est un âge hétérogène constitué de 4 zones différentes :

Zone 1 : Zone à dominance de MgO dont le pourcentage varie entre 1 à 11%.

Zone 3 : C'est une zone de transition qui contient à la fois la SiO₂ et la MgO avec un pourcentage de 4 à 10%.

Zone 4 et 5 : Les deux zones montrent un taux de silice élevé de 4 à 20%.

CONCLUSION :

La fabrication du ciment demande des proportions strictes des éléments pour une meilleure qualité. Durant notre période de stage au sein de LAFARGEHOLCIM Tétouan et après plusieurs visites de la carrière nous avons effectué des études macroscopiques, microscopiques et géochimiques de la carrière.

L'analyse microscopique des lames et les résultats de la géochimie des calcaires de la carrière d'ELMASHAR, nous a permis de mettre en évidence une variation aussi bien verticale que latérale des faciès à différentes échelles. Pour répondre aux objectifs fixés au début de cette mémoire c'est dire la caractérisation de matériaux premiers du ciment au niveau de la carrière d'ELMASHAR et de distinguer avec précision les zones potentielles de localisation des matériaux non utiles.

Nous concluons notre étude par les faits que :

- Le calcaire Haut Titre du banc 7 Est (échantillon 1) est totalement calcitique avec 55% de CaO. Ce pourcentage est important dans la fabrication du ciment.
- Le calcaire Bas Titre du banc 4 (échantillon 3) zone 1 qui est riche en Magnésie, il est à éviter puisque cet échantillon représentatif contient 11% de MgO, alors que la norme ne doit pas dépasser les 4%. Ce calcaire dolomitique cause des problèmes lors de la cuisson de la farine, par conséquent il influence la qualité du ciment.
- Le calcaire Bas Titre du banc 3 est caractérisé par un taux élevé de la silice ce qui aide à diminuer les ajouts de la pélite et la phtanite (apport de la silice).

Perspectives :

Afin de mieux connaître la carrière d'EL MASHAR, nous suggérons:

- Pour le choix de la matière première, introduire une analyse minéralogique car les analyses chimiques seules sont insuffisantes. Vu l'abondance et la variabilité des teneurs en minéraux impropres à l'exploitation tels que les argiles et la dolomite.
- Faire des analyses par l'Alizarine aux calcaires dolomitiques pour bien déterminer le taux de dolomite vu la difficulté de la distinguer de la calcite au microscopique.
- Utiliser la calcimétrie pour estimer le pourcentage de CaCO_3 et $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ pour les calcaires et les calcaires dolomitiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

BEN YAÏCH, A. (1981). Etude géologique de la Dorsale calcaire entre Tlata Taghramt et Ben Youens (Haouz Rif, Maroc). Thèse, Université Mohammed V, Rabat, 202 p.

DE METS, C., GORDON, G. G., ARGUS, D. F. & STEIN, S. (1990). Current plate motions, *Geophysical Journal International*, 101, 425-478.

EL HATIMI. N; DUÉE, G., HERVOUET, Y. (1991). La Dorsale calcaire du Haouz: ancienne Marge continentale passive téthysienne (Rif, Maroc), *Bull. Soc. Géol. Fr.* 162 79–90.

EL KADIRI KH. (1991). La Dorsale rifaine (Maroc septentrional) : évolution stratigraphique et Géodynamique durant le Jurassique– Crétacé. Thèse d’Etat, Univ. Abdelmalek Essaadi, Fac Sci. Tétouan, 359 p.

EL KADIRI, K, LINARES, A, OLORIZ, R. (1992) La Dorsale calcaire rifaine (Maroc Septentrional): évolution stratigraphique et géodynamique durant le Jurassique- Crétacé. Notes Mémoire Service Géologie Maroc 336:217-275

FRIZON DE LAMOTTE, D. (1985)., La structure du Rif Oriental (Maroc), [unpublished Ph. D. thesis] (Université Pierre et Marie Curie, Paris.

FRIZON DE LAMOTTE, D, ANDRIEUX, J, & GUEZOU, J.C. (1991) : Cinématique des Chevauchements néogènes dans l'Arc bético-rifain: Discussion sur les modèles Géodynamiques, *Bull. Soc. Géol. de France* 162, 611-626.

KORNPROBST, J. (1974). Contribution à l’étude pétrographique et structurale de la zone interne du Rif (Maroc septentrional). Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc, Rabat, 251, 256p.

LESPINASSE, P. 1. (1975). Géologie des zones externes et des flysch entre Chaouen et Zoumi (centre de la chaînerifaine, Maroc), [unpublished Ph. D. thesis] (Université Pierre et Marie Curie, Paris).

MAATÉ, A ; SOLÉ DE PORTA, N ; & MARTIN-ALGARRA, A. (1993). Données paléontologiques nouvelles sur le Carnien des séries rouges des Maghrébides (Ghomarides et Dorsale calcaire du Rif septentrional, Maroc), *C. R. Acad. Sci. Paris* 316 II 137–143.

MORLEY, K. 1987. Origin of major cross element zone: Morocco Rif, *Geology*, 15, pp. 761-764.

Rapport de projet de ADS Maroc/Lafarge ; Janvier 2010).

Webographie :

<http://www.google.com>

Annexes :

Tableau d'échantillonnage :

	Données usa	Données Lambert	Hauteur (m)
Echantillon 1	E00497347	N00556522	441
Echantillon2	E00496888	N00556403	442
Echantillon3	E00496777	N00556734	494
Echantillon4	E00496733	N00556911	506
Echantillon5	E00496579	N00556900	501
Echantillon6	E00496697	N00556794	502

