

UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
GUELIZ-MARRAKECH
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE
Licence Sciences et Techniques
Géologie Appliquée aux Ressources Minières
« GARM »

**Caractérisation et analyses géochimique et
pétrographique des affleurements de la
carrière calcaire de la cimenterie d'Aït
Baha (Agadir, Maroc)**

Réalisé par : Mohamed BOUDRARI et Nouamane KAMAL

Encadré par : Mr. Driss CHAFIKI et Mr. Ayoub CHIKHI

Soutenu le 19 juin 2023 devant le jury compose de :

Encadrant: **Mr. Driss CHAFIKI** / FST, Marrakech

Examineur : **Mr. Abdellah AIT ADDI** / FST, Marrakech

Année Universitaire 2022-2023

RESUME

Ce travail vise à caractériser les affleurements de la carrière calcaire de la cimenterie d'Aït Baha, située au pied de l'Anti Atlas, en amont de la plaine de Chtouka. Il comprend également une étude géochimique et minéralogique des matières premières de la carrière.

Pour l'étude géochimique, un échantillonnage ciblé a été effectué dans différentes zones exploitables de la carrière afin de procéder à des analyses en laboratoire.

En ce qui concerne l'étude au microscope des lames minces, six lames ont été préparées à partir des six échantillons prélevés sur le terrain. Cette étude a révélé différents aspects de microfaciès dans chaque échantillon, certains présentant fréquemment des débris de micro-organismes, tandis que d'autres n'en contenaient pas. On a également observé la présence d'oxyde de fer et de sections bivalves de types Lamellibranches dans quelques lames.

Ces résultats fournissent des informations précieuses sur la composition et les caractéristiques des affleurements de la carrière calcaire, ce qui peut contribuer à améliorer la qualité et la compréhension des matières premières utilisées dans la production de ciment.

REMERCIEMENT

Avant tout, nous devons remercier Dieu le Tout-Puissant pour la volonté, la santé et la puissance qu'il nous a données. Un grand merci à Cimar Ait Baha pour leur chaleureux accueil au sein de leurs services, ainsi qu'au professionnalisme des membres du personnel.

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma reconnaissance pour l'opportunité qui m'a été donnée de faire ce stage au sein de votre entreprise. Cette expérience m'a permis d'acquérir des connaissances précieuses dans mon domaine d'études et de développer de nouvelles compétences. Votre soutien constant, ainsi que celui de l'équipe, a été essentiel à mon apprentissage et à ma croissance professionnelle.

Nous tenons également à remercier toute l'équipe pour son accueil chaleureux et sa bienveillance tout au long de mon stage. Chacun d'entre vous a contribué à créer un environnement de travail stimulant et convivial. Vos conseils, vos encouragements et votre patience ont été d'une aide inestimable pour moi.

Nous sommes particulièrement reconnaissants envers notre encadrant universitaire, M. Driss Chafiki, pour sa disponibilité et sa volonté constante de partager ses connaissances. Ses précieux conseils et son expertise ont été d'une importance capitale pour notre développement.

Un grand merci à M. Ayoub Chikhi, notre encadrant interne, qui nous a accueillis le premier jour avec un grand sourire et qui nous a facilité la tâche en nous accordant du temps et de l'attention. Merci à M. Toubani, responsable du laboratoire, qui nous a présenté les différentes parties du laboratoire ainsi que les étapes de préparation. Merci à M. Abou Baker, responsable de la carrière d'Ait Baha, qui a sacrifié son temps précieux pour nous aider lors de l'échantillonnage dans la carrière, et surtout pour sa bienveillance et ses précieux conseils.

Merci à tous et à toutes.

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	2
REMERCIEMENT.....	3
LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES PLANCHES	7
LISTE DES TABLEAUX.....	7
INTRODUCTION GENERALE	8
<u>CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS ET PRÉSENTATION SUR LA CIMENTERIE D'AÏT BAHA</u>	9
I- Généralités et présentation sur la cimenterie d'aït baha :	10
1- Le groupe HEIDELBERGCEMENT :	10
2- Ciments du Maroc (CIMAR) :	10
5- Les départements de l'entreprise :	12
5.1-Département administratif :	12
5.2- Département de production :	13
5.3-Département de maintenance :	13
II- Généralités sur le ciment :	14
1- Définition :	14
2- Le processus de production du ciment :	14
2.3- Hall de stockage :	17
2.4- Préparation du cru :	18
2.5 Broyage du cru :	20
2.6 Homogénéisation :	20
2.7 Cuisson :	21
2.8- Refroidissement :	21
2.9- Stockage du clinker :	22
2.10- Broyeurs à ciment :	23
2.11- Expédition :	23
<u>CHAPITRE 2 : ETUDES GEOLOGIQUE ET PETROGRAPHIQUE DE LA CARRIERE D'AÏT BAHA</u>	24
I- Généralités sur le gisement d'Aït Baha :	25
1- Cadre géographique :	25

2- Cadre géologique :	28
3- Cadre structural (Fig. 19) :	27
4- Cadre stratigraphique :	28
5- Compagnie de sondage :	29
6- Méthode d'exploitation :	30
I.6.1. Zone exploitée :	30
II. Caractérisation de la carrière d'Aït Baha :	30
1- Identification des matériaux premiers :	30
2- Reconnaissance géochimique :	30
<u>CHAPITRE 3 : ETUDES GEOCHIMIQUE ET PETROGRAPHIQUE DES</u>	
<u>MATIERES PREMIERES (CALCAIRE) DE LA CARRIERE D'AIT BAHA</u>	32
I- Échantillonnage :	33
II- Techniques d'études :	35
1- Techniques d'analyse géochimique par fluorescence X :	35
2- Les techniques d'étude minéralogique :	39
III. Résultats et interprétations :	39
1- Résultats géochimiques :	39
2- Résultats pétrographique :	41
2. Elément chimique Fe ₂ O ₃ :	47
3. Elément chimique Al ₂ O ₃ :	48
4. Elément chimique CaO :	49
5. Module silicique (MS) :	50
6. Interprétations :	51
CONCLUSION GENERALE	53
REFERENCES BEBLIOGRAPHIQUES	54
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES	54

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Ciments du Maroc (Site Imi Mqorn-Aït Baha)
- Figure 2 : Organigramme de l'usine d'Ait Baha (documents internes de la-société)
- Figure 3 : Les étapes de fabrication du ciment (documents internes de la-société).
- Figure 4 : Foreuse a chenille
- Figure 5 : Camion Scania
- Figure 6 : Pelle Hydraulique (Poclain)
- Figure 7 : exemple de Concasseur utilise a Imi mqorn (Documents internes de la-société.)
- Figure 8 : Le convoyeur à bande (documents internes de la-société).
- Figure 9 : Broyeur a cru (broyage des matières premières) (documents internes de la-société).
- Figure 10 : La tour à 5 cyclones (documents internes de la-société).
- Figure 11 : Le four rotatif (documents internes de la-société).
- Figure 12 : Ventilateur du refroidisseur (documents internes de la-société).
- Figure 13 : Dôme de stockage du clinker (documents internes de la-société).
- Figure 14 : Broyeurs à ciment (documents internes de la-société).
- Figure 15 : exemple de moyens d'expédition de ciment en vrac et en sac
(Documents internes de la-société).
- Figure 16 : Localisation de l'usine Imi Mqorn (Rapport de la Province de Chtouka Aït Baha en chiffres, 2012).
- Figure 17 : Carte géologique simplifiée des zones occidentales du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas, redessinée à partir de la carte du Maroc au 1/1 000 000.
- Figure 18 : La cuvette d'Imi Mqorn (Cambrien inférieur à moyen) s'étale au premier plan, Séparée de la plaine du Souss par des reliefs de Calcaires supérieurs (carrières)
- Figure 19 : Coupe structurale N-S du passage Précambrien-Cambrien en bordure NE du Kedous (d'après Ambroggi et Neltner, in Choubert, 1952).
- Figure 20 : Les deux compagnies de sondage du S1 → S24.
- Figure 21 : La limite d'exploitation de la Carrière (documents internes de la-société).
- Figure 22 : Carte représentative des prélèvements des échantillons Au niveau de la carrière
- Figure 23 : étape de Préparation de la perle (documents internes de la-société)
- Figure 24 : Schéma de spectromètre à dispersion de longueur d'onde
- Figure 25 : Photo représentant l'Axios (PANALYTICAL) (Documents internes de la société).
- Figure 26 : Aspect de l'échantillon 3 à l'affleurement

- Figure 27 : Vu microscopique d'Échantillon N°3 (Grossissement*100)
- Figure 28 : Vu macroscopique d'Échantillon N°3
- Figure 29 : Vu microscopique d'Échantillon N°4 (Grossissement*200)
- Figure 30 : Vu macroscopique d'Échantillon N°4
- Figure 31 : Vu microscopique d'Échantillon N°5 (Grossissement*200)
- Figure 32 : Vu macroscopique d'Échantillon N°5
- Figure 33 : Vu microscopique d'Échantillon N°6 (Grossissement*100)
- Figure 34 : Vu macroscopique d'Échantillon N°6
- Figure 35 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique SiO₂ dans Les deux compagnies de sondage
- Figure 36 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique Fe₂O₃ dans Les deux compagnies de sondage
- Figure 37 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique Al₂O₃ dans Les deux compagnies de sondage
- Figure 38 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique SiO₂ dans Les deux compagnies de sondage
- Figure 39 : Carte représentative les concentrations de MS dans Les deux compagnies de sondage

LISTE DES PLANCHES

- Planche 1 : Aspect macroscopique des six échantillons
- Planche 2 : Appareillages de la « fluorescence X » (Documents internes de la-société)
- Planche 3 : Vu microscopique et macroscopique des Échantillons 1 et 2 (Grossissement*400)

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1: succession des formations géologiques dans la région d'Imi Mqorn (Saadi, 1982).
27
- Tableau 2 : tableau récapitulatif des analyses chimiques obtenus pour chaque échantillon. .39
- Tableau 3 : représentation des paramètres calculés pour chaque échantillon.....41

INTRODUCTION GENERALE

Le ciment est un matériau de construction couramment utilisé au Maroc pour la construction de bâtiments, de routes et d'autres infrastructures. Le ciment est produit par plusieurs entreprises au Maroc, notamment CIMAR, qui produisent différents types de ciments pour répondre aux besoins des différents projets de construction. La qualité du ciment dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité des matières premières utilisées, le processus de fabrication, le respect des normes de qualité et la capacité à résister aux conditions environnementales.

Dans le cadre de ce projet, une étude géologique sera effectuée dans la carrière d'Aït Baha, située au pied de l'Anti Atlas, en amont de la plaine de Chtouka. L'objectif de ce travail est la caractérisation des affleurements de la carrière calcaire de la cimenterie d'Aït Baha, tout en réalisant une étude géochimique et minéralogique des matières premières de la carrière.

Ce rapport comprendra trois parties distinctes. Tout d'abord, une section présentera des généralités et des informations sur la cimenterie d'Aït Baha, mettant en évidence son importance dans l'industrie cimentière au Maroc. Ensuite, une étude géologique et pétrographique détaillée de la carrière d'Aït Baha sera présentée, mettant l'accent sur les caractéristiques géologiques des formations de calcaire. Enfin, une analyse géochimique et minéralogique des matières premières, à savoir le calcaire extrait de la carrière, sera effectuée afin de mieux comprendre leur composition et leur potentiel pour la production de ciment de haute qualité.

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS ET PRÉSENTATION SUR
LA CIMENTERIE D'AÏT BAHA

I- Généralités et présentation sur la cimenterie d'aït baha :

1- Le groupe HEIDELBERGCEMENT :

« Le HeidelbergCement Group est une entreprise multinationale allemande spécialisée dans la production et la distribution de matériaux de construction tels que le ciment, les granulats et les produits en béton. Fondée en 1873 à Heidelberg, en Allemagne, l'entreprise est devenue l'un des plus grands producteurs mondiaux de matériaux de construction, avec des opérations dans plus de 50 pays et plus de 57 000 employés. Le HeidelbergCement Group est coté en bourse et son siège social est situé à Heidelberg, en Allemagne.

HEIDELBERGCEMENT

2- Ciments du Maroc (CIMAR) :

Le dispositif industriel de Ciments du Maroc est constitué actuellement de :

- Trois usines : à Agadir (Aït Baha), à Safi et à Marrakech.
- Deux centres de broyage le premier à Laâyoune et le second au port de Jorf Lasfar.
- Quatre carrières de granulats et de **26** centrales à béton implantées dans les principales villes dupays.

Ainsi, Ciments du Maroc est le 2^{ème} cimentier au Maroc par le volume des ventes et le premier opérateur dans le béton prêt à l'emploi et les granulats à travers sa filiale Bétomar. En termes d'activité, pour l'année 2010, le groupe a vendu près de 3,5 millions de tonnes de ciment ce qui représente un chiffre d'affaires qui dépasse les 3,5 milliards de dirhams. Aujourd'hui, Ciments du Maroc compte près de 1000 salariés et son activité génère un grand nombre d'emploi indirect aux alentours de ses implantations.

3- Cimar d'aït baha :

Mise en service en juillet 2010, l'usine d'Aït Baha (Fig. 1) est l'une des cimenteries les plus modernes au monde. Elle a bénéficié des technologies les plus avancées en matière de protection de l'environnement, d'économie d'énergie et d'économie d'eau. D'une capacité de production de 2,2 millions de tonnes de ciment, facilement extensible au double, ce site vise à couvrir les besoins en ciment de la région Souss-Massa-Drâa et de tout le Grand Sud marocain (<http://www.cimentsdumaroc.com>).

L'usine est composée d'une ligne de cuisson de 5 000 t/j (le plus grand four actuellement au Maroc) et d'un broyeur à cru du constructeur danois FLSMIDTH, de deux broyeurs à ciment verticaux (BC1 et BC2) du constructeur allemand LOESCHE, d'un atelier d'ensachage et de chargement mécanisé de haute performance (8 000 t/j) et d'un atelier de palettisation. Les technologies déployées dans cette usine lui confèrent les performances énergétiques et environnementales les plus économiques (voir chapitre II). Il est à noter que c'est l'une des rares usines au monde à être dotée d'une technologie de cogénération, consistant en la production d'électricité à partir de la chaleur résiduelle des gaz de four traditionnellement rejetés dans l'atmosphère.



Figure 1 : Ciments du Maroc (Site Imi Mqorn-Aït Baha)

4- Organisme et Hiérarchie de la société :

L'organisation de l'usine d'Ait Baha est centralisée, ce qui permet au directeur général d'exercer un contrôle direct sur l'activité de ses subordonnés immédiats. Trois départements, comprenant plusieurs services (Fig. 2), sont responsables du bon fonctionnement de la société, y compris la carrière où s'est déroulé ce stage.

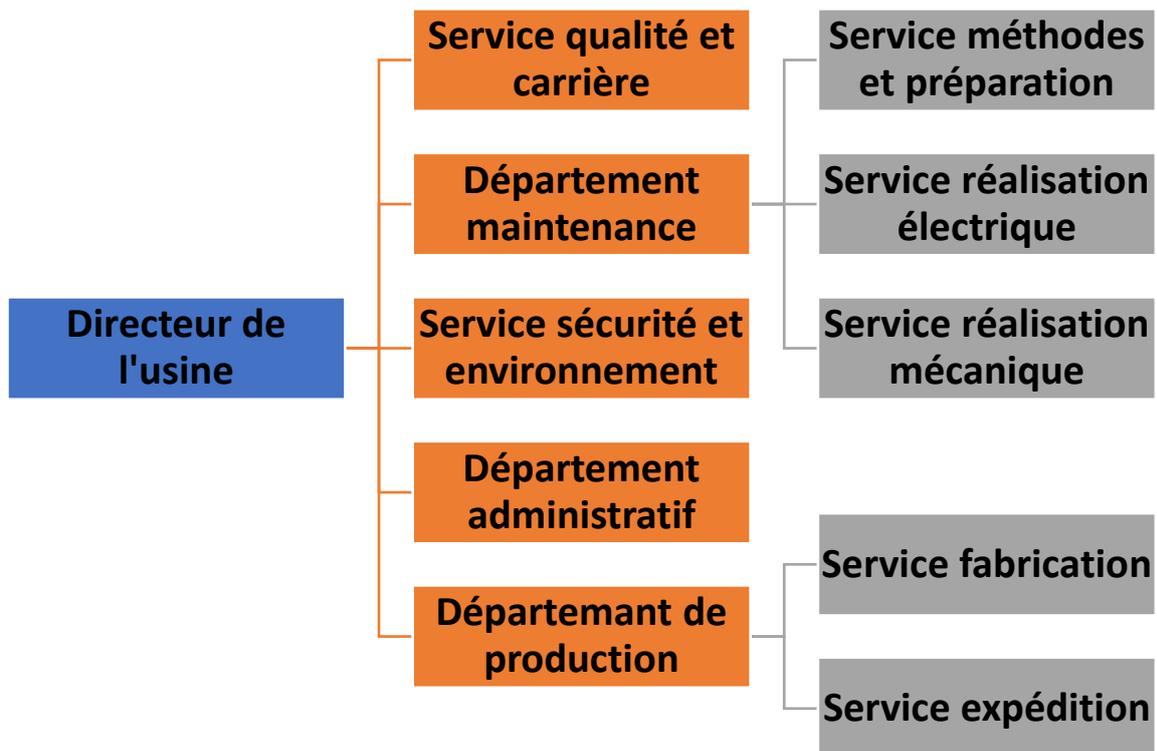


Figure 2 : Organigramme de l'usine d'Ait Baha (documents internes de la-société)

5- Les départements de l'entreprise :

5.1-Département administratif :

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

♣ **Service personnel** : Le rôle de service est l'occupation des employées, de leurs paies, des salaires de congés...etc.

♣ **Service contrôle de gestion** : Etablit des budgets pour chaque exercice, ensuite il compare les prévisions aux réalisations afin de déterminer les analyses.

♣ **Service social** : Il est responsable de la cantine, du moyen de transport du personnel de la société et du service médical.

♣ **Service commercial** : c'est un service de marketing, il est composé d'un certain nombre d'agent commerciaux qui restent en contact avec les clients.

5.2- Département de production :

Le département de production constitue le cœur battant de l'Usine, ce département comporte deux services qui sont :

♣ **Service fabrication** : Contrôle et suivi du bon fonctionnement du processus de fabrication de ciment.

♣ **Service expédition** : assure la livraison de produit fini en sacs ou en vrac.

5.3-Département de maintenance :

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

♣ **Service méthodes et préparation** : assure l'élaboration et la planification des travaux de la maintenance d'entretien à court, moyen et long terme.

♣ **Service réalisation électrique** : réalisation des travaux d'entretien électriques et de la réparation des anomalies et panne type électrique

♣ **Service réalisation mécanique** : assure la réalisation des travaux d'entretien mécanique planifiés par le service méthode.

II- Généralités sur le ciment :

1- Définition :

Le ciment est une poudre minérale, qui au début est un mélange d'environ 80% de calcaire et de 20% d'argile, et qui avec l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement, même à l'abri de l'air, et même sous l'eau. C'est aussi un liant hydraulique, formé de constituants anhydres, cristallisés ou vitreux, renfermant de la silice, de l'alumine et de la chaux.

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

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

2- Le processus de production du ciment :

La fabrication du ciment nécessite une surveillance étroite et un contrôle permanent pour obtenir un produit conforme aux spécifications requises. Les principales étapes de fabrication sont illustrées dans la figure 3 ci-dessous :

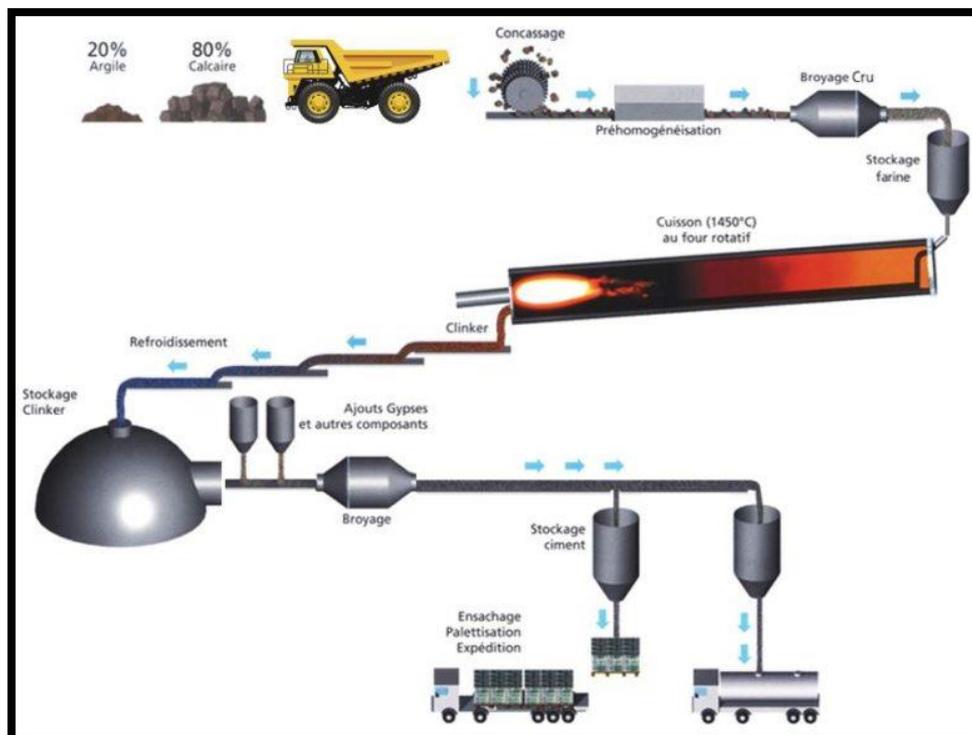


Figure 3 : Les étapes de fabrication du ciment (documents internes de la-société).

2.1- Extraction de la matière première :

La matière première est extraite des carrières qui se composent de plusieurs gradins exploités à ciel ouvert. Les blocs extraits ont des dimensions très variées, avec une granulométrie inférieure à 80 cm. L'extraction se déroule selon une succession de processus :

2.1.1- Abattage :

L'abattage à l'explosif est une méthode courante pour extraire des roches dures. Cette technique implique l'utilisation d'explosifs pour briser la roche en fragments plus petits qui peuvent être facilement retirés et transportés.

2.1.2- Forage et tir :

On fait la préparation des gradins par le nettoyage, ensuite on effectue le forage des trous de mines par une machine foreuse en vrac et en cartouches (Fig. 4). Pour amorcer l'explosif, on utilise les détonateurs électriques instantanés et à microretard, les premiers pour l'amorçage des blocs et des mines de base, et le deuxième pour l'amorçage du grand tir, avec un mode d'amorçage fond du trou. A la fin de chargement des trous on branche les fils électriques dans un exploseur distant de 300 m du lieu de tir.

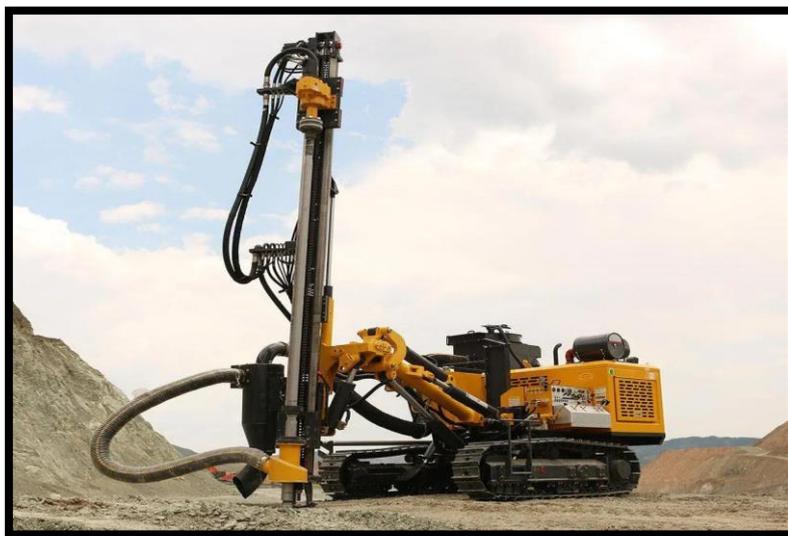


Figure 4 : Foreuse a chenille

2.1.3- Chargement et transport :

Après l'abattage de la matière première, le transport des matériaux extraits se fait par camions (Scania et Volvo) (Fig. 5) jusqu'à l'unité de concassage située sur site, et le charge-

ment se fait à l'aide des pelles hydrauliques (Poclain) (Fig. 6). La carrière est actuellement constituée de 4 gradins de 15 m chacun.

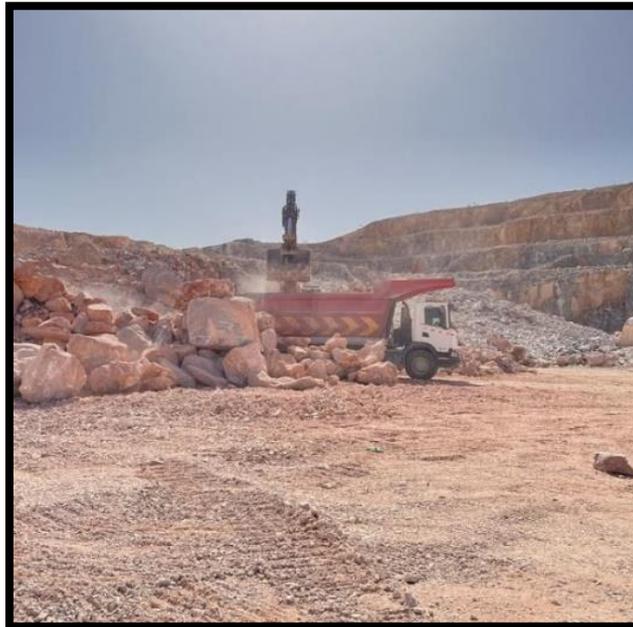


Figure 5 : Camion Scania



Figure 6 : Pelle Hydraulique (Poclain)

2.2- Concassage et pré-homogénéisation :

Les matériaux sont réduits par le concasseur (Fig. 7) à une taille maximale de 80 mm. Ensuite, la roche est échantillonnée en continu afin de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires tels que l'oxyde de fer, l'alumine et la silice, pour atteindre la composition

chimique idéale. Le mélange obtenu est ensuite stocké dans un hall de pré-homogénéisation, où il est disposé en couches horizontales superposées avant d'être repris verticalement.



**Figure 7 : exemple de Concasseur utilise a Imi mqorn
(Documents internes de la-société.)**

2.3- Hall de stockage :

Lorsque les grains ont tous une taille inférieure à 100 mm, ils doivent être transportés jusqu'au hall de stockage n°2, situé à 1,4 km de la carrière, par un système de trois convoyeurs à bande de longueurs différentes (Figure 8). Le pet coke et le charbon sont importés et stockés dans le hall n°1, qui comprend deux tas de 50 000 tonnes. Ils suivent un parcours distinct de la ligne de production du ciment. L'argile et le schiste sont transportés par camions depuis des carrières plus éloignées.

Ils sont respectivement stockés en deux tas de 5.000 tonnes et 3.200 tonnes, dans les halls de Stockage n°3. Le Hall n°4 contient un tas de 3.000 tonnes de gypse, un tas de 1.700 tonnes de pouzzolane et un autre tas de calcaire de 10.000 tonnes.



Figure 8 : Le convoyeur à bande (documents internes de la-

2.4- Préparation du cru :

2.4.1- Pré-homogénéisation :

Après concassage, la matière crue présente toujours des fluctuations importantes dans sa composition, c'est pourquoi elle est stockée dans l'installation de pré-homogénéisation. La matière concassée est acheminée par des bandes transporteuses vers le manège, celui-ci est muni de deux bandes qui peuvent effectuer des mouvements de translation diamétralement formant ainsi un tas sous forme de pyramide. Le transport du tas formé vers la trémie en bas du manège s'effectue par un système mécanique qui s'appelle Scraper, ce dernier est muni d'une chaîne à raclette et des herses qui aident à reprendre verticalement les couches du tas de façon à avoir des proportions homogènes.

2.5 Broyage du cru :

Pour obtenir une réactivité chimique optimale lors de la cuisson dans un four, les matières premières pré-homogénéisées doivent être finement broyées. En effet, une matière divisée en petites particules offre une plus grande surface spécifique, ce qui augmente sa réactivité. La finesse de broyage, qui peut être mesurée par la granulométrie ou une valeur caractéristique, détermine le degré de division des matières premières. Les broyeurs à cru (Fig. 9) sont utilisés pour broyer les matières premières jusqu'à obtenir une farine ou un cru d'une finesse inférieure à 160 μm .



Figure 9 : Broyeur à cru (broyage des matières premières) (documents internes de la-société).

2.6 Homogénéisation :

Après le broyage et la séparation, les matières premières sont transformées en grains fins appelés farine ou cru. Pour garantir une composition chimique régulière, la farine doit être homogénéisée, ce qui complète la pré-homogénéisation et l'uniformisation pendant le broyage. L'objectif est d'obtenir un produit avec des caractéristiques chimiques uniformes qui soit adapté à la cuisson pour produire du clinker de qualité constante. L'homogénéisation a lieu à la sortie des silos, conçus pour stocker plusieurs tonnes de farine. Elle consiste en un brassage minutieux de la farine avec de l'air afin d'assurer une distribution uniforme des composants.

2.7 Cuisson :

Réalisée dans un four rotatif (Fig. 11), à une température comprise entre 1400 et 1500 C, la cuisson permet la transformation du cru en clinker. Le cycle du traitement comporte les phases suivantes :

- * Le préchauffage qui s'effectue dans un échangeur de chaleur situé à l'amont du four, les gaz chauds provenant du four y brassant la farine à contre-courant ;
- * La décomposition des argiles qui se situe au-dessus de 500°C ;
- * La décarbonatation des calcaires qui s'effectue à environ 950°C dans la partie avant four dont des températures sont comprises entre 550 et 1000°C, elle est achevée à l'entrée de four ;
- * La formation du clinker (clinkérisation) à 1450°C qui s'effectue en partie aval du four près du brûleur.



Figure 10 : La tour à 5 cyclones (documents internes de la-société).



Figure 11 : Le four rotatif (documents internes de la-société).

2.8- Refroidissement :

Le clinker chaud provenant du four est refroidi grâce à un refroidisseur équipé de neuf ventilateurs et d'un système de réglage automatique du débit d'air (Fig. 12). Le refroidisseur a une capacité de refroidissement de 5 000 tonnes par jour de clinker et fonctionne en utilisant un principe de brassage.

Le clinker est incliné à 5 degrés et avance vers la sortie grâce aux mouvements alternés des grilles mobiles, qui sont protégées de la chaleur par une couche de clinker fixe. Pendant ce processus, la température du clinker diminue de 1450°C à 50°C. Enfin, le clinker refroidi est passé à travers un concasseur à rouleaux où les grains sont écrasés et affinés, ce qui constitue la dernière étape de la ligne de cuisson.



Figure 12 : Ventilateur du refroidisseur (documents internes de la-société).

2.9- Stockage du clinker :

Le Clinker est transporté à l'aide d'un convoyeur en métal jusqu'à un dôme de 44 mètres de hauteur et de 62 mètres de diamètre (Fig. 13), où il est ensuite stocké en plusieurs tas disposés sur trois lignes distinctes.



Figure 13 : Dôme de stockage du clinker (documents internes de la-société).

2.10- Broyeurs à ciment :

Après la cuisson du clinker, celui-ci est soumis à un processus de broyage dans deux broyeurs à ciment (Fig. 14) Cette étape inclut l'ajout d'additifs tels que le gypse et le calcaire, ainsi que d'autres éléments selon les besoins et les spécifications, dans le but d'obtenir un produit final satisfaisant.



Figure 14 : Broyeurs à ciment (documents internes de la-société).

2.11- Expédition :

L'expédition des différents types de ciment se fait en sacs de 50 kg ou en vrac. L'expédition du ciment en vrac par camions ou wagons citernes se fait directement à partir des silos de stockage (Fig. 15).



Livraison en vrac(a)

Livraison en sac(b)

Figure 15 : exemple de moyens d'expédition de ciment en vrac et en sac (Documents internes de la-société).

CHAPITRE 2 :
ETUDES GEOLOGIQUE ET
PETROGRAPHIQUE DE LA CARRIERE
D'AÏT BAHA

I- Généralités sur le gisement d'Aït Baha :

1- Cadre géographique :

La carrière calcaire d'Ait Baha est située au pied de l'Anti Atlas, en amont de la plaine de Chtouka, sur une surface de 150 hectares, avec une réserve supplémentaire de calcaire et de matériaux silico-alumineux de 580 hectares en montagne. Ce gisement représente un véritable réservoir de calcaire et de matériaux silico-alumineux qui peut répondre aux besoins de l'usine pendant une période de 100 ans. La carrière est située environ à 55 km au sud-est de la ville d'Agadir et à environ 25 km au sud-ouest de Biougra, dans la région du Souss-Massa-Drâa (Fig. 16). La caractérisation et les analyses géochimiques de ces calcaires constituent le thème de notre projet de fin d'études. Les autres matières premières telles que les argiles, les schistes et la pouzzolane sont disponibles dans un rayon de seulement 50 km.

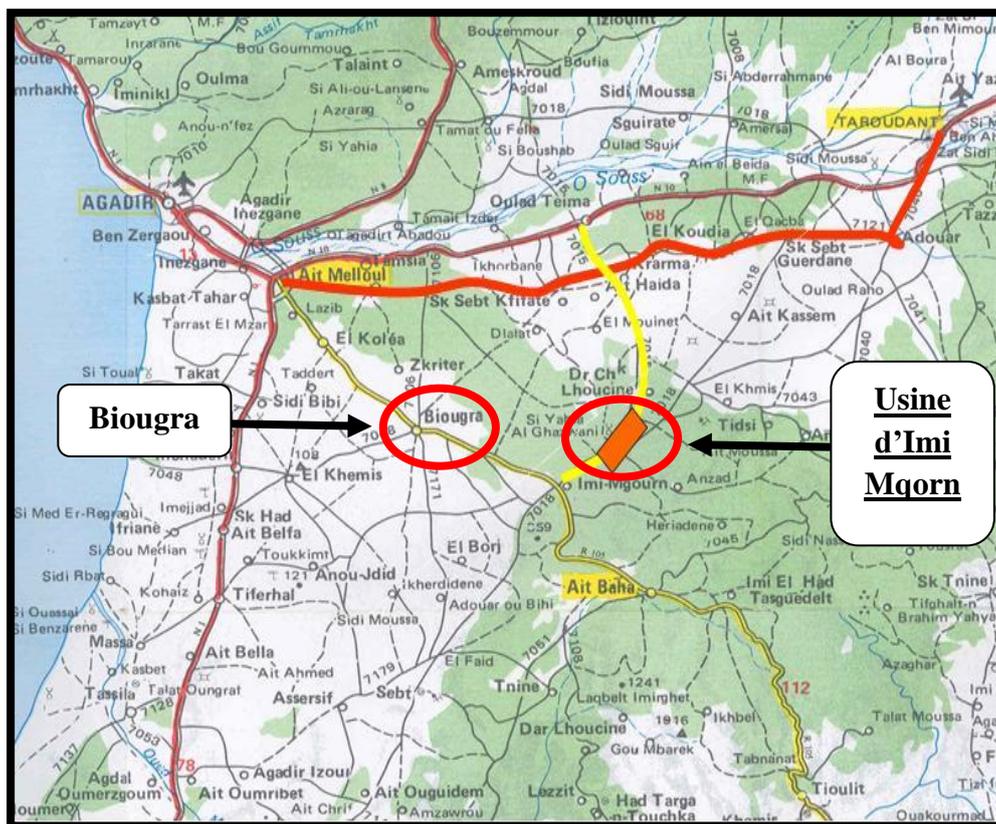


Figure 16 : Localisation de l'usine Imi Mqorn (Rapport de la Province de Chtouka Aït Baha en chiffres, 2012).

2- Cadre géologique :

Dans une cimenterie, la carrière est un élément vital et crucial. La cimenterie d'Aït Baha dispose d'une carrière de calcaire qui répondra à ses besoins pendant de nombreuses décennies. Il s'agit d'un gisement de calcaire situé en montagne, et son exploitation se fait par étapes successives de gradins de 15 mètres de hauteur à partir du sommet de la montagne.

Le gisement calcaire d'Aït Baha se trouve en bordure nord de la partie occidentale du massif de l'Anti Atlas. Il domine la vaste plaine du Souss qui s'étend vers le nord jusqu'à la chaîne du Haut Atlas (Fig. 17 et 18). Ce calcaire légèrement métamorphique est d'âge cambrien inférieur (530 millions d'années) et contient des Archéocyathidés (Ei12a et Ei2b). Il présente une couleur grisâtre à blanchâtre. Le calcaire se présente sous forme de couches orientées NE-SW et plonge à un angle de 15° vers le SW.

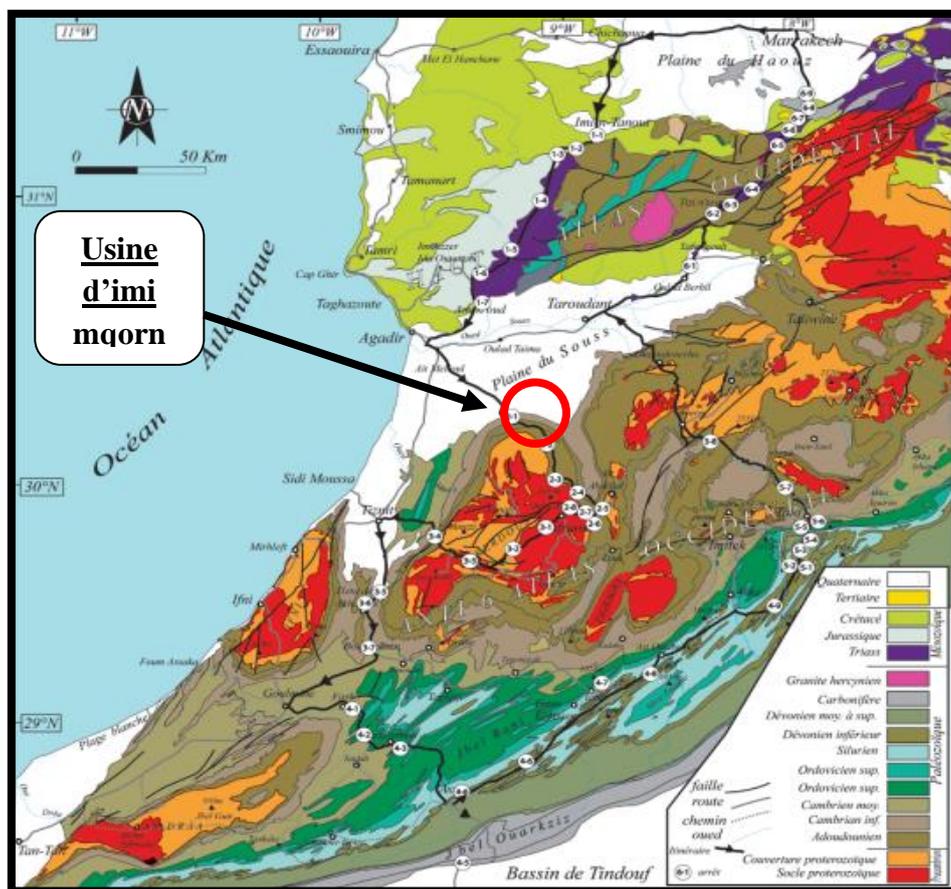


Figure 17 : Carte géologique simplifiée des zones occidentales du Haut Atlas et de l'Anti-Atlas, redessinée à partir de la carte du Maroc au 1/1 000 000.

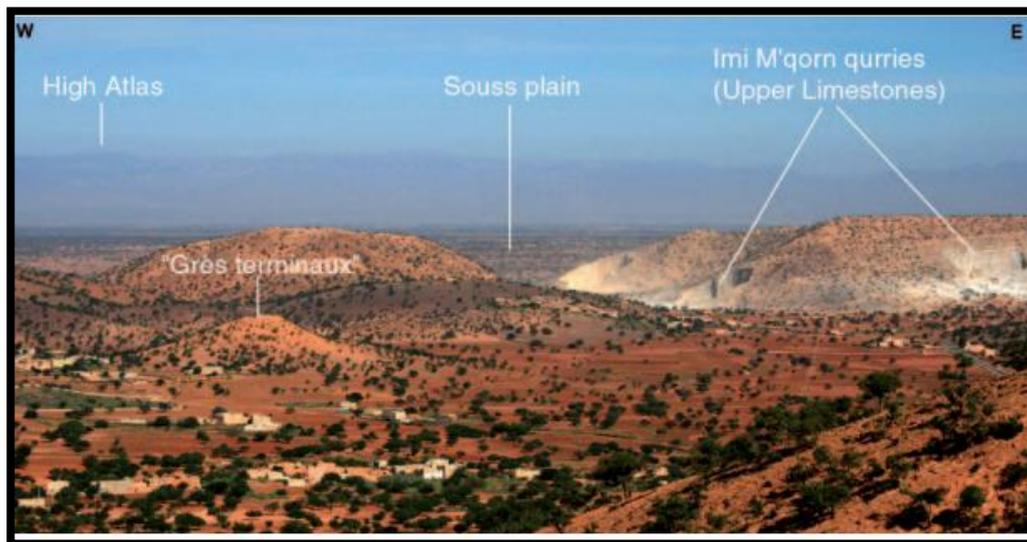


Figure 18 : La cuvette d'Imi Mqorn (Cambrien inférieur à moyen) s'étale au premier plan, Séparée de la plaine du Souss par des reliefs de Calcaires supérieurs (carrières)

3- Cadre structural (Fig. 19) :

La couverture cambrienne du massif du Kerdous est composée de calcaires récifaux contenant des Archéocyathes du Cambrien inférieur, plus précisément des calcaires supérieurs. Les couches cambriennes sont inclinées vers le nord avec un faible pendage d'environ 25 degrés. Ce basculement vers le nord est le résultat d'une longue histoire de mouvements synsédimentaires et orogéniques au cours du Paléozoïque, ainsi que de mouvements méso-cénozoïques liés à la surrection de la marge atlantique.

En dessous, la cuvette d'Imi Mqorn est formée par l'effondrement, le long d'une faille avec un rejet de plus de 150 mètres, des séries schisteuses du Cambrien inférieur et des grès terminaux qui forment la butte de Taourirt Agouarm au centre de la cuvette.

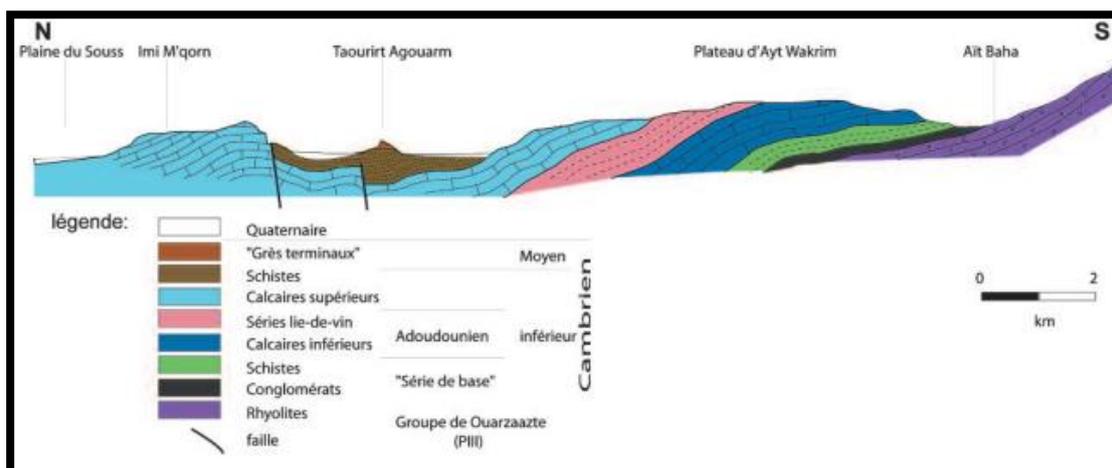


Figure 19 : Coupe structurale N-S passage Précambrien-Cambrien en bordure NE du Kerdous (d'après Ambroggi et Neltner, in Choubert, 1952).

4- Cadre stratigraphique :

Le gisement calcaire d'Aït Baha appartient à la bordure nord de l'Anti Atlas occidental, vaste massif montagneux qui renferme des formations calcaires, dolomitiques et schisteuses très anciennes, d'âge Infracambrien au Cambrien moyen. Le socle précambrien y apparaît en boutonnières au cœur du massif telle la boutonnière de Kerdous. Les premiers affleurements précambriens volcaniques apparaissent dans la petite ville d'Aït Baha.

Le tableau 1 résume la succession stratigraphique de l'Anti Atlas occidental dans les environs du massif calcaire d'Imi Mqorn.

Tableau 1: Succession des formations géologiques dans la région d'Imi Mqorn (SAADI, 1982). Les calcaires à Archéocyathidés qui constituent la carrière étudiée sont encadrés stratigraphiquement par les calcaires supérieurs et les grès terminaux.

Age	Nom de la Formation	Lithologie
Cambrien moyen (Acadien) (350 millions d'années)	Schistes d'Imi Mqorn	Schiste
Cambrien inférieur (Géorgien) (500 millions d'années)	Grès terminaux	Grès
	Calcaires à Archéocyathidés	Calcaires
	Calcaires supérieurs	Calcaires dolomitiques et dolomies
	Série Lie de vin	Calcaires finement lités
		Alternance calcaire-schistes
	Calcaires inférieurs	Calcaires dolomitiques et dolomies
Série de base	Schistes et grès	
Précambrien	—	Grès et conglomérats
		Rhyolites

5- Compagnie de sondage :

Dans la carrière d'Aït Baha, les compagnies de sondage sont réalisées en deux étapes. La première étape couvre les sondages du S1 jusqu'au S12, tandis que la deuxième étape concerne les sondages du S13 jusqu'au S24 :

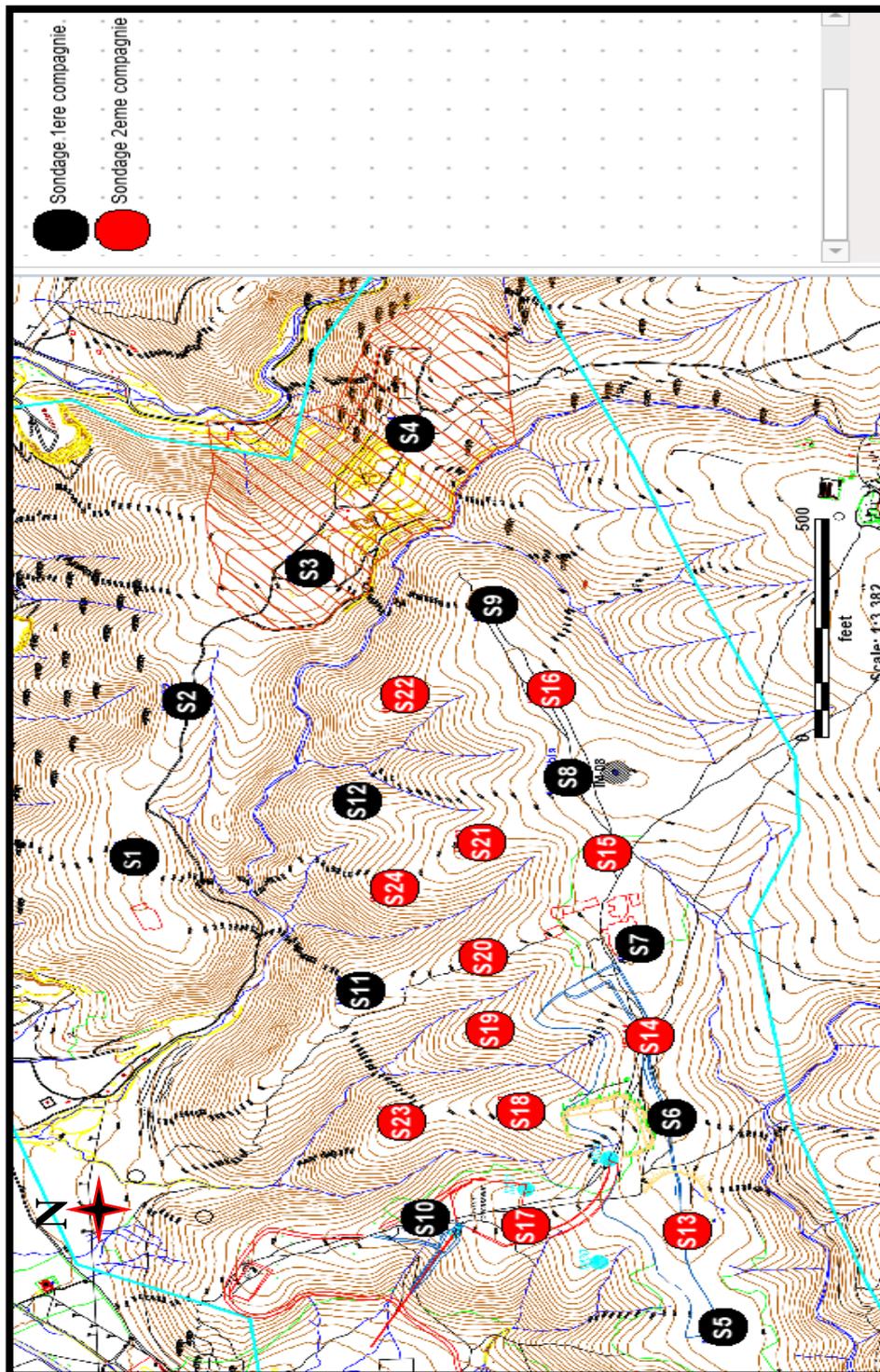


Figure 20 : Les deux compagnies de sondage du S1 → S24.

6- Méthode d'exploitation :

•La méthode d'exploitation par Fosse avec Gradin

Vu des caractéristiques géologiques du gisement Calcaire la méthode d'exploitation en Fosse a été retenue comme méthode qui vise essentiellement l'augmentation de la productivité par la récupération maximale des réserves. L'exploitation de la carrière Imi Mqorn s'effectue du haut en bas en direction Est et Nord par abattage à l'explosif.

I.6.1. Zone exploitée :

La limite d'exploitation présente une surface de 150ha comme indiquée sur ce plan ci-dessous (Fig. 21) avec un état de la fosse actuelle de 36ha.

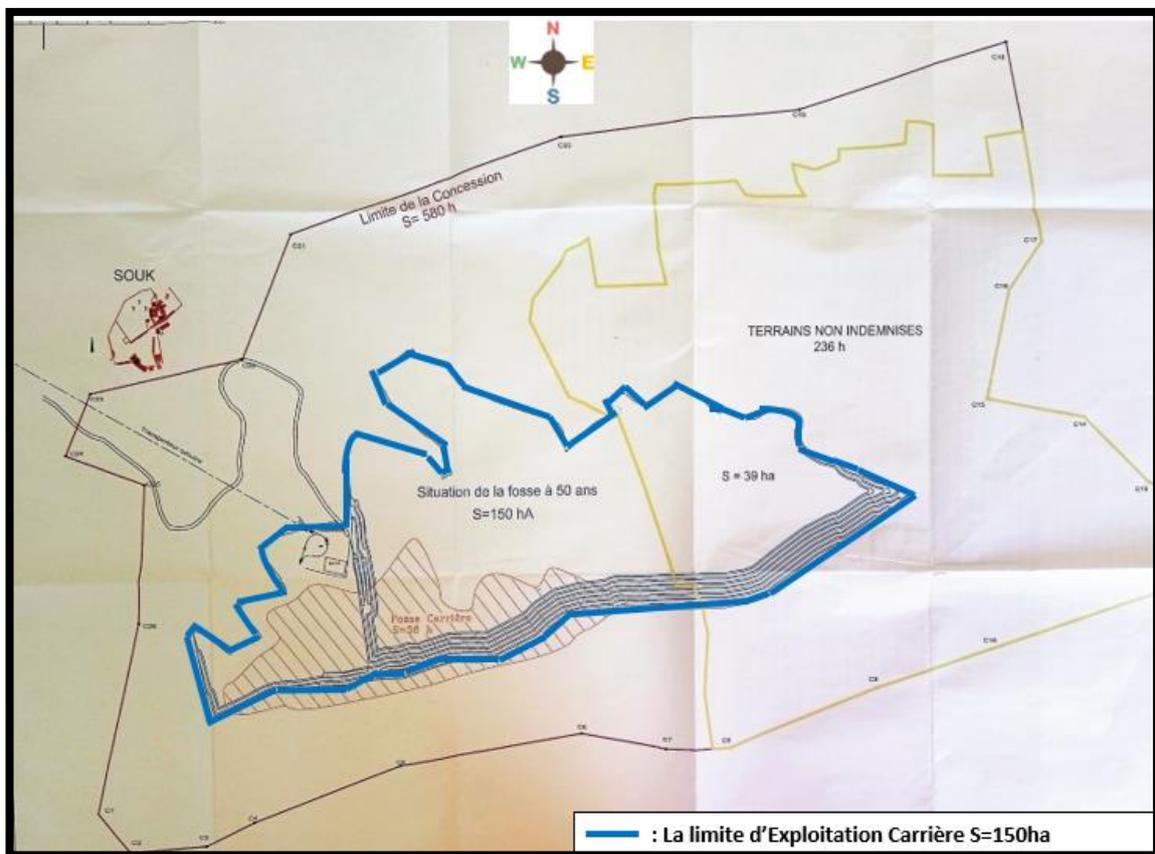


Figure 21 : La limite d'exploitation de la Carrière (documents internes de la-société).

II. Caractérisation de la carrière d'Aït Baha :

1- Identification des matériaux premiers :

Le ciment est formé par les calcaires et les argiles avec des proportions qui dépendent de la composition chimique de ces derniers.

Une cimenterie dispose généralement de deux carrières :

- Une carrière de calcaire qui est considéré comme l'un des constituants principaux du ciment. Il doit présenter une proportion de carbonate de calcium supérieur à 76% en masse et $MgO < 5\%$.

Les calcaires sont des roches sédimentaires, très abondants sur les affleurements, facilement solubles dans l'eau, composées majoritairement de carbonate de calcium $CaCO_3$ Mais aussi de carbonate de magnésium $MgCO_3$. Lorsque la roche comporte une proportion non négligeable d'argile, on parle plutôt de marne. Les calcaires se forment par accumulation, soit au fond des mers, à partir des coquillages et squelettes des microalgues et animaux marins, soit sur les continents dans des milieux lacustres. Le calcaire est reconnaissable

Par sa teinte généralement blanchâtre avec la présence de fossiles. Il est la base de nombreux matériaux.

- Du point de vue chimique, une carrière d'argile ou de marne est formée principalement de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (éléments majeurs), de Na_2O , K_2O , MgO , SO_3 (éléments mineurs) et de chlorures ;

La magnésie (MgO) provient de la dolomite ($CaMg (CO_3)_2$) qui est souvent présente avec le calcaire. Les oxydes alcalins K_2O et le Na_2O proviennent en général, de l'argile et des feldspaths.

2- Reconnaissance géochimique :

La reconnaissance géochimique qui permet une meilleure caractérisation de la matière, la méthode utilisée par la société est celle d'analyse chimique par « fluorescence X », 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 ont servi à identifier les différents matériaux en se basant sur les tableaux des valeurs limites établis par la société.

Les matières premières sont toujours bien dosées pour assurer la bonne composition chimique du clinker. Une bonne composition chimique du cru (mélange de calcaire et d'argile) dépend de la composition chimique de chaque matière première. Pour limiter les quantités des impuretés dans chacune de ses matières, il faut optimiser leurs compositions chimiques à l'aide de trois équations :

- **Equation du taux de saturation en CaO (TSC) ou (DS)**

Elle est également appelée indice de KUHL, cette équation détermine la quantité de chaux nécessaire pour saturer les trois autres oxydes (SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3).

$$\%TSC = \frac{CaO * 100}{2,8 SiO_2 + 1,1 Al_2O_3 + 0,7 Fe_2O_3}$$

- Condition de saturation : $92\% < TSC < 96\%$
- Ciment ordinaire : $90\% < TSC < 95\%$
- Ciment à haute résistance : $95\% < TSC < 98\%$

- **Equation du module silicique (MS)**

Cette équation sert à déterminer la relation entre la quantité de silice SiO_2 , et la quantité d' Al_2O_3 et Fe_2O_3 . Elle est très importante pour la vérification des résistances des ciments.

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

- Condition d'acceptation : $2,4 < MS < 2,7$

- **Equation du module aluminoferrique (A/F)**

C'est le rapport de la quantité d'alumine sur la quantité d'oxyde de fer ; elle permet de contrôler le taux de C_3A (Aluminate tricalcique $3CaO, Al_2O_3$) qui favorise la viscosité de la phase liquide, et permet la facilité de la cuisson.

$$MA = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

- Condition d'acceptation : $1,5 < MA < 2,5$

CHAPITRE 3 :
ETUDES GEOCHIMIQUE ET
PETROGRAPHIQUE DES MATIERES
PREMIERES (CALCAIRE) DE LA
CARRIERE D'AIT BAHA

I- Échantillonnage :

Au niveau de la carrière, six échantillons de calcaires (Figs. 26, 27, 28, 29, 30 et 31) ont été prélevés pour analyses au laboratoire. L'échantillonnage a été réalisé dans les différentes zones d'exploitation de la carrière afin d'obtenir une représentation complète. Il est essentiel de sélectionner des roches peu altérées, sans cassures ni fractures susceptibles permettant la circulation de solutions contenant des éléments étrangers à la roche. Les échantillons sont ensuite placés dans des sachets et numérotés à l'aide d'un stylo pour faciliter l'identification de la zone et du lieu d'origine de chaque échantillon. Enfin, il est nécessaire de positionner les échantillons sur une carte représentative (Fig. 22).

Le plan cote nous à servir à positionner les échantillons prélevés (les coordonnées X, Y, Z) :

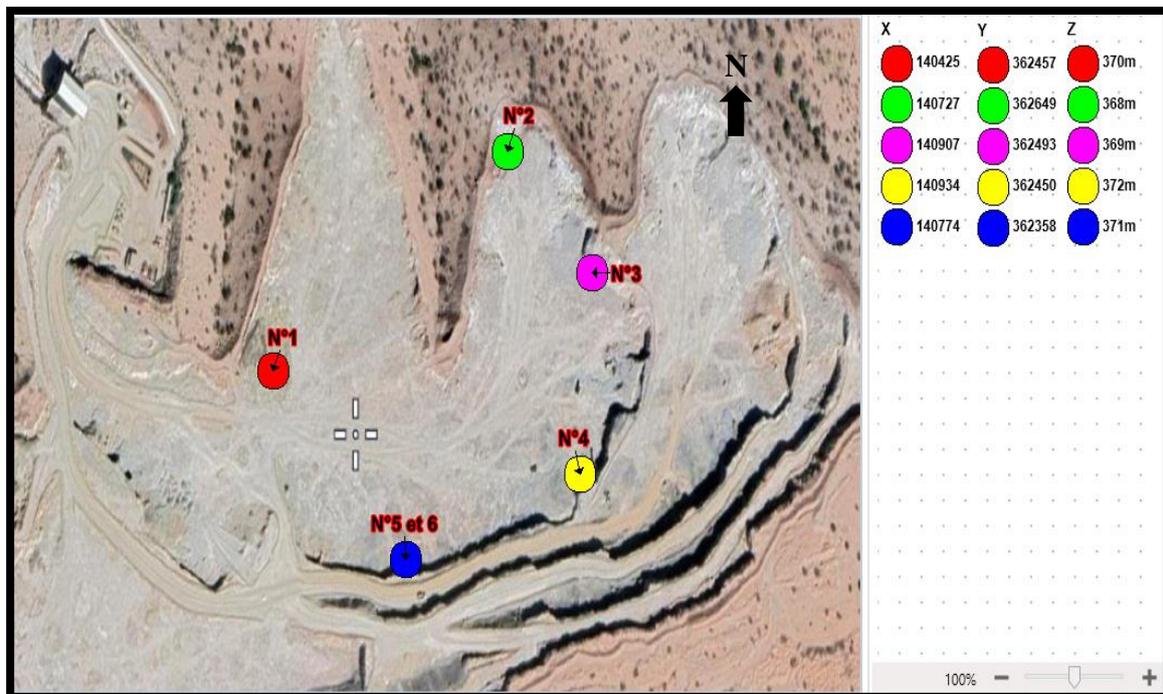


Figure 22 : Carte représentative des prélèvements des échantillons Au niveau de la carrière

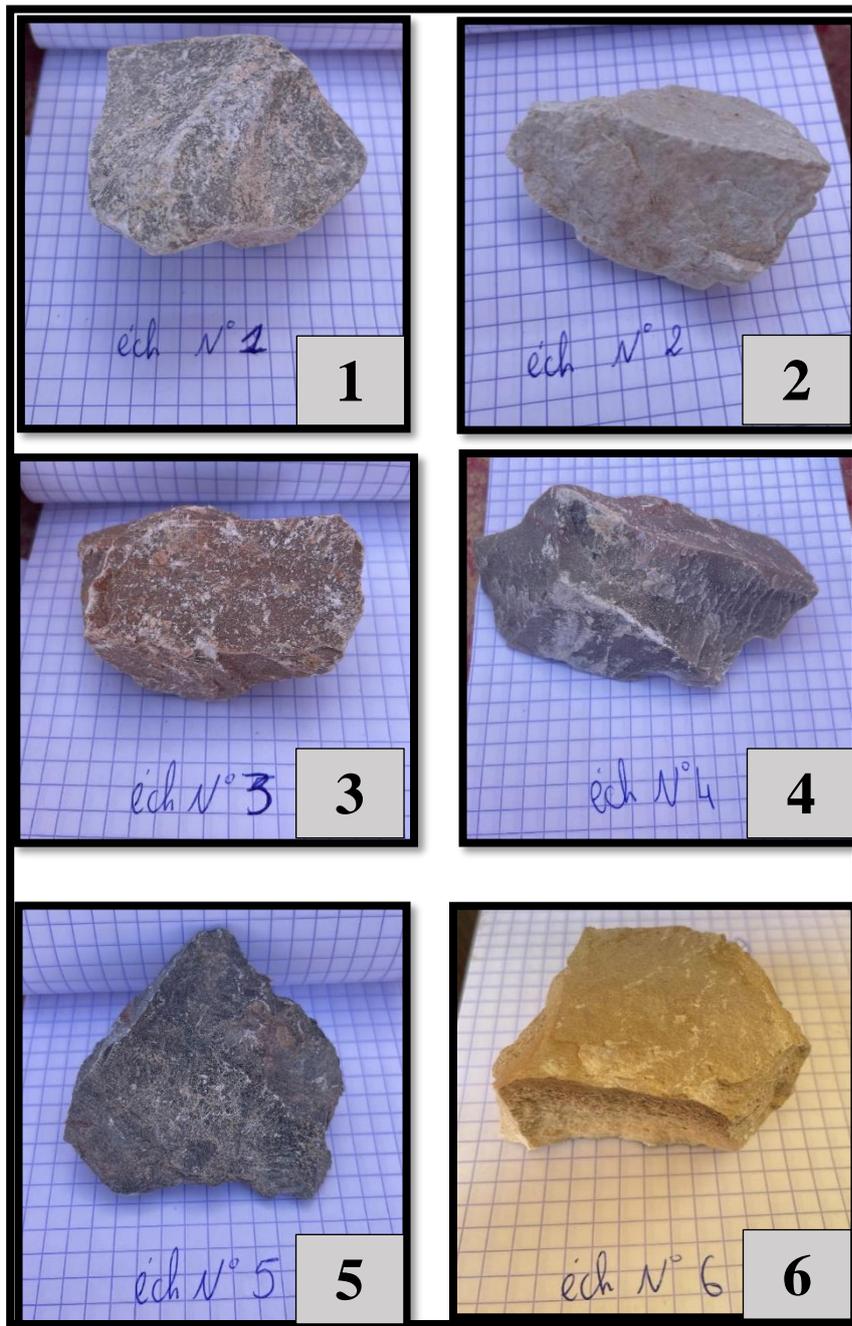
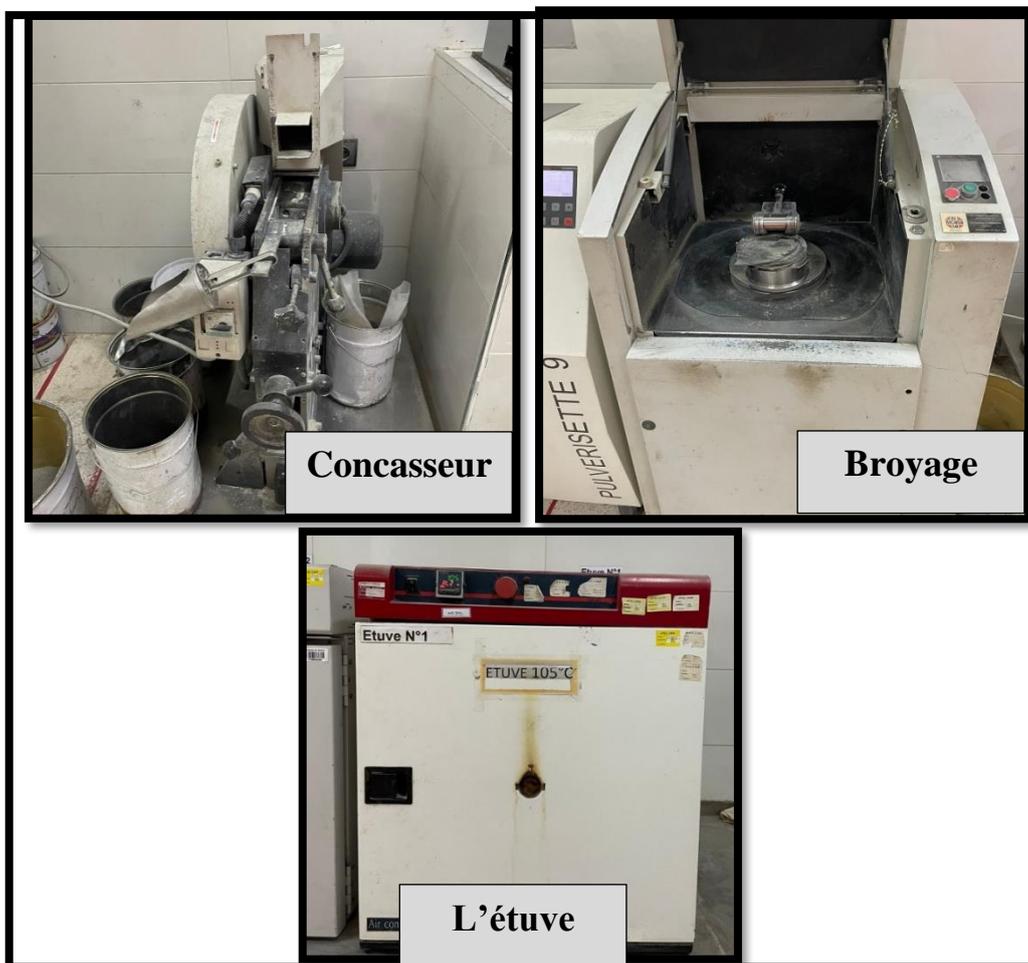


Planche 1 : Aspect macroscopique des six échantillons

II- Techniques d'études :

1- Techniques d'analyse géochimique par fluorescence X :

L'analyse chimique est effectuée par un analyseur XRF (X ray fluorescence). Chaque échantillon est transvasé dans un plateau du diviseur, pour le réduire jusqu'à l'obtention d'environ 500g. L'échantillon est alors porté à l'étuve à 105 °C pendant 16 à 20 heures. On sort l'échantillon de l'étuve puis on le divise en deux ; une partie servira pour le rinçage du broyeur, l'autre sera concassée.



**Planche 2 : Appareillages de la « fluorescence X »
(Documents internes de la-société)**

Après le séchage, les échantillons sont broyés pour obtenir une matière à refus nul au tamis 80µm sous forme de farine, utile pour les analyses chimiques.

Après le broyage on prend deux grammes en double de chaque échantillon qu'on place dans un creuset en platine. On pèse le creuset avec son contenu pour obtenir une masse qu'on note

m1 qu'on place dans un four à moufle à 1000°C. Après 30 minutes, on sort les creusets qu'on met dans un dessiccateur pour refroidir, puis on pèse le tout (creuset avec son contenu) pour obtenir la nouvelle masse qu'on note **m2**.

On calcule ainsi la perte au feu (PF) grâce à la relation suivante :

$$\text{Perte au feu en \%} = (m1 - m2) * \frac{100}{2}$$

- Préparation de la perle :

Pour préparer une perle on suit les étapes suivantes :

On pèse 1,5 g du produit à analyser en lui ajoutant 6 g de fondant (Tétraborate de lithium). L'opération se fait en double pour des résultats plus précis, on homogénéise le tout et on le met dans un creuset en platine (Fig. 23). On installe le creuset avec son contenu dans un four pour fusion à 1000° C qu'on laisse pendant 30 min. À la sortie du four on verse le contenu du creuset dans une coupelle puis on laisse refroidir. On obtient ainsi une perle prête à être analysée.



**Figure 23 : étape de Préparation de la perle
(documents internes de la-société)**

-

Présentation de l'appareil :

Le système Axios est un spectromètre de fluorescence X à dispersion de longueur d'onde de faible puissance (1 kW) (<http://www.panalytical.fr/Gamme-Axios.htm>). Il est conçu pour les applications d'entrée de gamme qui nécessitent une grande précision de spectrométrie de fluorescence X à dispersion de longueur d'onde (Fig. 24), mais des cadences d'échantillon faibles.

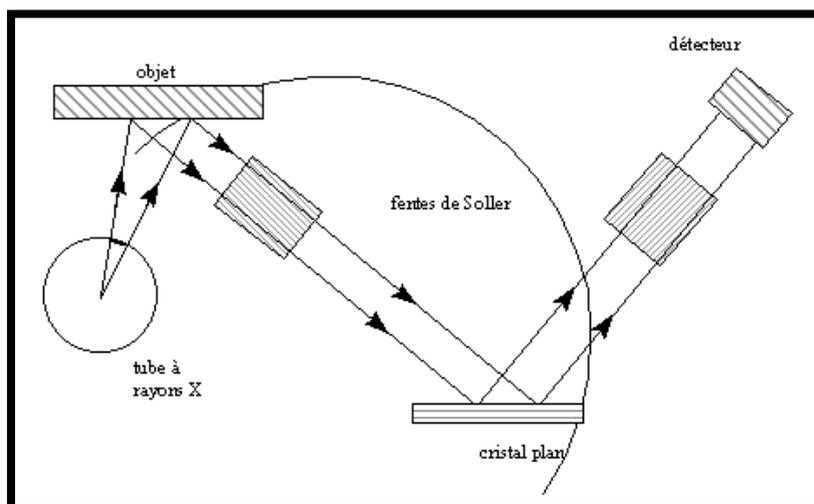


Figure 24 : Schéma de spectromètre à dispersion de longueur

- Le système Axios dispose d'un système de refroidissement interne qui rend inutile l'utilisation de refroidisseur externe indispensable pour les systèmes plus puissants. Conçu pour répondre aux besoins des clients, le système est extrêmement silencieux, résistant à la poussière et thermostable malgré le refroidissement à air du tube et de l'enceinte. Le système, en intégrant la technologie éprouvée des tubes SST, permet une excitation allant de 20-60 kV et 10-50 mA : c'est le spectromètre 1 kW le plus performant du marché. Le système Axios 1 kW peut atteindre la même précision que les spectromètres plus puissants : c'est la solution idéale pour les clients qui recherchent des performances élevées sans avoir à s'équiper d'un refroidisseur.

Analyse de perle au spectromètre AXIOS (Fig. 37) :

- Installer la perle à analyser dans la cassette porte perle de façon que la face de la perle soit visible.
- Positionner la cassette dans le convoyeur du spectromètre.
- Dans le menu principal **Super Q Manager**, cliquer sur l'icône **Mesure And Analyse**.
- Dans le sou menu choisir **mesurer**.
- Changer l'application **programmes analytiques**, et choisir le programme du calcaire.
- Entrer l'identification demandées et la perte au feu de l'échantillon excepté pour l'analyse du cru.
- Lancer l'analyse en cliquant sur **Mesurer**.



**Figure 25 : Photo représentant l'Axios (PANALYTICAL)
(Documents internes de la-société).**

2- Les techniques d'étude minéralogique :

Pour l'étude minéralogique des échantillons, la méthode la plus courante et disponible au laboratoire est l'examen microscopique des lames minces. Cette technique consiste à préparer de fines tranches de roches, appelées lames minces, qui sont ensuite observées au microscope polarisant. L'examen microscopique permet d'identifier les minéraux constitutifs des échantillons, d'observer leur texture et leur disposition, et d'obtenir des informations sur la composition minéralogique de la roche. Cette méthode est largement utilisée dans les études géologiques pour caractériser les roches et comprendre leur formation et leur évolution.

III. Résultats et interprétations :

1- Résultats géochimiques :

L'analyse de six échantillons prélevés de divers niveaux géologiques permettent d'acquérir une idée globale sur la composition chimique des matériaux. Le Tableau 2 ci-dessous expose les résultats des analyses chimiques obtenues pour chacun des échantillons analysés.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des analyses chimiques obtenus pour chaque échantillon.

	Composition chimique en (%)					
Référence	Ech N°1	Ech N°2	Ech N°3	Ech N°4	Ech N°5	Ech N°6
SiO ₂	0.60	2.18	24.17	2.26	10.59	35.04
Al ₂ O ₃	0.11	0.33	4.32	0.49	1.61	14.53
Fe ₂ O ₃	0.15	0.23	1.50	0.23	0.86	1.36
CaO	54.58	54.03	32.62	51.16	44.34	18.26
MgO	0.22	0.22	1.42	0.27	0.75	1.31
SO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.10	0.13	0.38	0.21	0.36	3.55
Na ₂ O	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
P ₂ O ₅	0.06	0.06	0.03	0.05	0.05	0.02
Cl	105.00	106.00	105.00	104.00	105.00	102.00

L'analyse des résultats du tableau montre :

- Les échantillons 3, 5 et 6 présentent des teneurs élevées en silice (SiO_2) qui dépassent la plage idéale pour la composition du ciment. Leurs taux de silice varient de 9,87% (éch. 3) à 35,04% (éch. 6), ce qui peut entraîner des complications lors de la production de ciment. Une teneur en silice trop élevée peut avoir un impact sur les propriétés du ciment, telles que sa résistance et sa durabilité.

Il est recommandé d'avoir un taux de silice compris entre 1% et 6% dans le ciment pour assurer des performances optimales. Les échantillons 1, 2 et 4 se situent dans cette plage idéale, avec des taux de silice respectifs de 0,60%, 2,18% et 2,26%. Ces échantillons peuvent donc être utilisés pour la production de ciment sans entraîner de complications majeures liées à la teneur en silice.

- Le taux de Fe_2O_3 varie de 0,15% (éch. 1) à 1,50% (éch. 3). L'échantillon 3 présente un taux élevé d'oxydes de fer, ce qui lui confère une teinte rougeâtre distincte au niveau de la carrière (Fig. 26).



Figure 26 : Aspect de l'échantillon 3 à l'affleurement

- Taux d' Al_2O_3 (oxyde d'aluminium) : L'échantillon 1 présente une faible concentration en Al_2O_3 (0,11%), tandis que l'échantillon 6 affiche une concentration élevée (14,53%). Cette variation est liée à la présence d'impuretés d'argiles dans les échantillons de calcaire, qui contiennent également du SiO_2 .

- Les échantillons provenant de la carrière d'Aït Baha présentent des variations significatives de leur teneur en CaO (oxyde de calcium). Le taux élevé de CaO dans l'échantillon 1 (54,58%) suggère une abondance de calcite (CaCO₃), une forme de carbonate de calcium. Les autres échantillons montrent également des concentrations variables de CaO, ce qui indique la présence de calcite dans l'ensemble des six échantillons prélevés.
- **Calcul des paramètres (KHUL, MS, A/F) :**

À l'aide d'un classeur Excel nous avons calculés les paramètres chimiques qu'on va les présenter sous forme du tableau (Tableau. 3) :

Tableau 3 : Représentation des paramètres calculés pour chaque échantillon en %

Référence	Composition chimique en (%)				Paramètres chimiques calculés en (%)		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MS	KHUL	A/F
ECH N°1	0,6	0,11	0,15	54,58	2,31	28,64	0,73
ECH N°2	2,18	0,33	0,23	54,03	3,89	8,15	1,43
ECH N°3	24,17	4,32	1,5	35,62	4,15	0,48	2,88
ECH N°4	2,26	0,49	0,23	51,16	3,14	7,28	2,13
ECH N°5	10,59	1,61	0,86	44,34	4,29	1,38	1,87
ECH N°6	35,04	14,53	1,36	18,26	2,21	0,16	10,68

Conclusion :

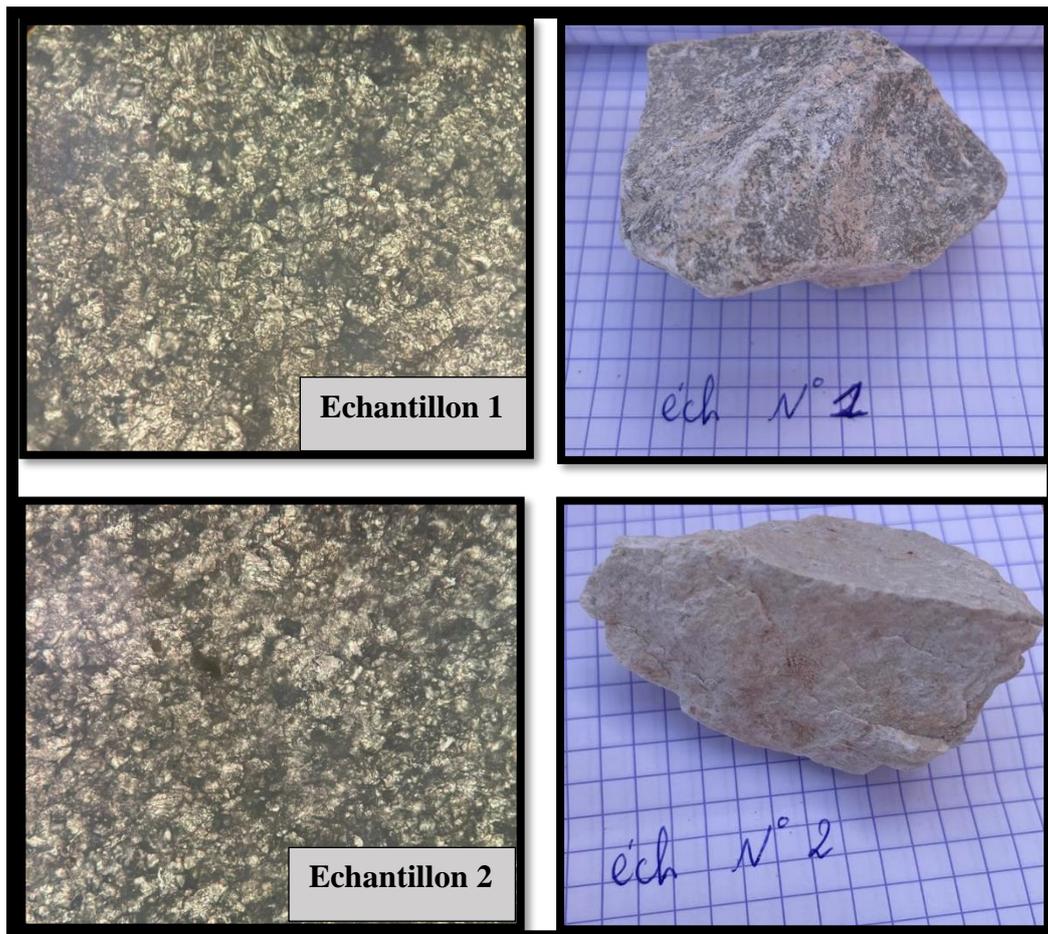
D'après ces résultats, les échantillons 1, 2 et 4 sont les plus favorables pour la production de ciment en raison de leurs teneurs en silice et compte tenu des autres paramètres chimiques se situant dans la plage idéale. Les échantillons 3, 5 et 6 peuvent poser des complications en raison de leurs teneurs élevées en silice.

2- Résultats pétrographique :

L'examen microscopique des lames minces nous a fourni des informations sur la composition minéralogique de chaque échantillon. La chronologie des événements au cours de la minéralisation peut être décryptée.

Echantillons E1 et E2 :

L'examen microscopique des deux lames 1 et 2 (Fig. 39 et 41), révèle des caractéristiques similaires. Il s'agit de dolosparites ou de dolomicrosparites, avec une occurrence très faible de débris d'organismes. Les minéraux dominants sont la dolomite secondaire et la sparite qui confère à la roche une texture granulaire à l'échelle microscopique.



**Planche 3 : Vu microscopique et macroscopique des
Échantillons 1et 2 (Grossissement*400)**

Echantillon E3 :

L'observation microscopique de cet échantillon montre une texture différente de celle des deux échantillons E1 et E2 précédents (Fig 43). Il s'agit d'une biodolomicrosparite riche en débris d'organismes. Ces derniers occupent environ 15% du volume de la roche. Des sections de bivalves de type Lamellibranche recristallisées sont présentes. La biophase atteste d'un milieu marin du type plate-forme carbonatée.

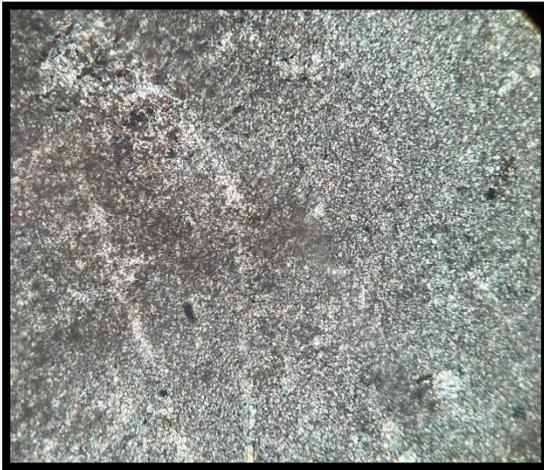


Figure 27 : Vu microscopique d'Échantillon N°3 (Grossissement*100)



Figure 28 : Vu macroscopique d'Échantillon N°3

Echantillon E4 :

A l'échelle microscopique, l'échantillon 4 montre une texture dolo-microsparitique à dolosparitique à grains d'oxyde fer épars (Fig. 45). La dolomitisation, très intense, efface complètement la texture originale de la roche et nous ne permet pas d'avancer une interprétation environnementale.



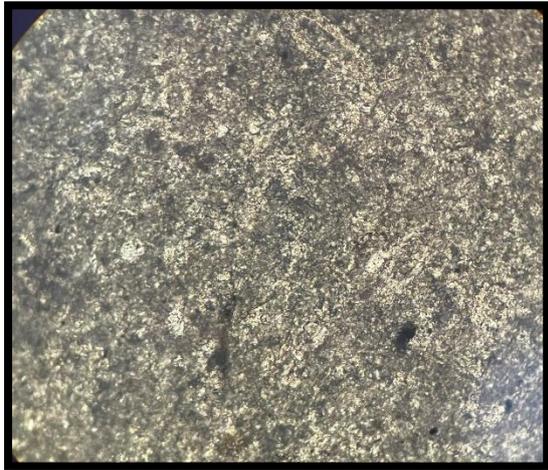
Figure 29 : Vu microscopique d'Échantillon N°4 (Grossissement*200)



Figure 30 : Vu macroscopique d'Échantillon N°4

Echantillon E5 :

L'examen microscopique de cet échantillon 5 montre une dolomicrosparite à débris de coquille d'invertébrés marin recristallisés avec localement des oxydes de fer (Fig. 47).



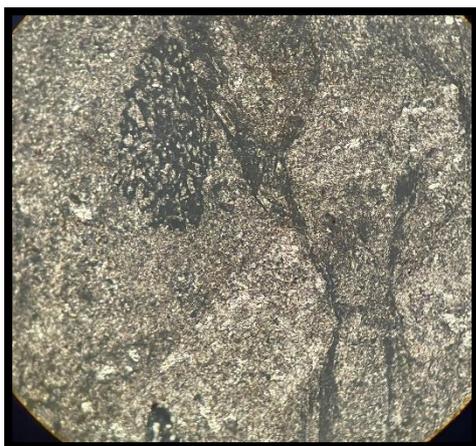
**Figure 31 : Vu microscopique
d'Échantillon N°5 (Grossissement*200)**



**Figure 32 : Vu macroscopique
d'Échantillon N°5**

Echantillon E6 :

A l'échelle de la lame, l'échantillon 6 (Fig. 49) montre une texture de type dolomicrosparite à débris de coquille d'organismes marins avec par ailleurs des stromatolithes. Ces derniers se matérialise par l'alternance de lamines noires et de lamines claires. Ce type de structure méritte en faveur d'un environnement de plate-forme carbonatée marine infratidale à supratidale.



**Figure 33 : Vu microscopique
d'Échantillon N°6 (Grossissement*100)**



**Figure 34 : Vu macroscopique
d'Échantillon N°6**

Conclusion :

L'analyse des différentes lames minces prélevées dans la carrière d'Aït Baha montre des sédiments principalement carbonatés dont la texture est du type dolosparite à dolomicrosparite, à débris d'organismes marins. La présence des stromatolithes mélitte en faveur d'une plate-forme carbonatée tidale. Ces informations à caractères pétrographique fournissent des renseignements précieux sur la nature lithologique de la carrière étudiée. Ces données aident à évaluer le potentiel de la matière première pour la production de ciment.

IV- La concentration des éléments chimiques dans la carrière d'Aït Baha :

1. Élément chimique SiO₂ :

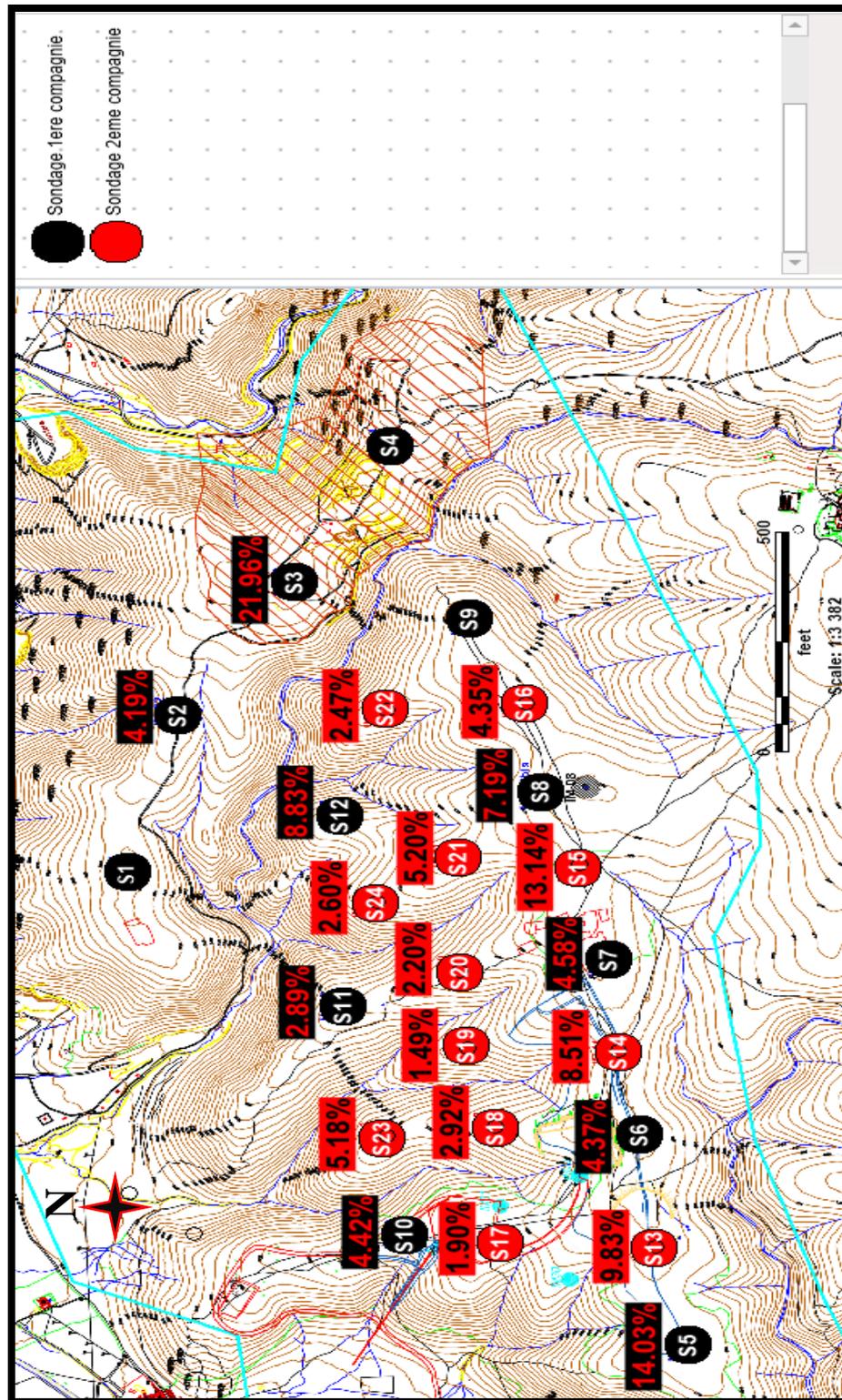


Figure 35 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique SiO₂ dans les deux compagnies de sondage

2. Elément chimique Fe₂O₃ :

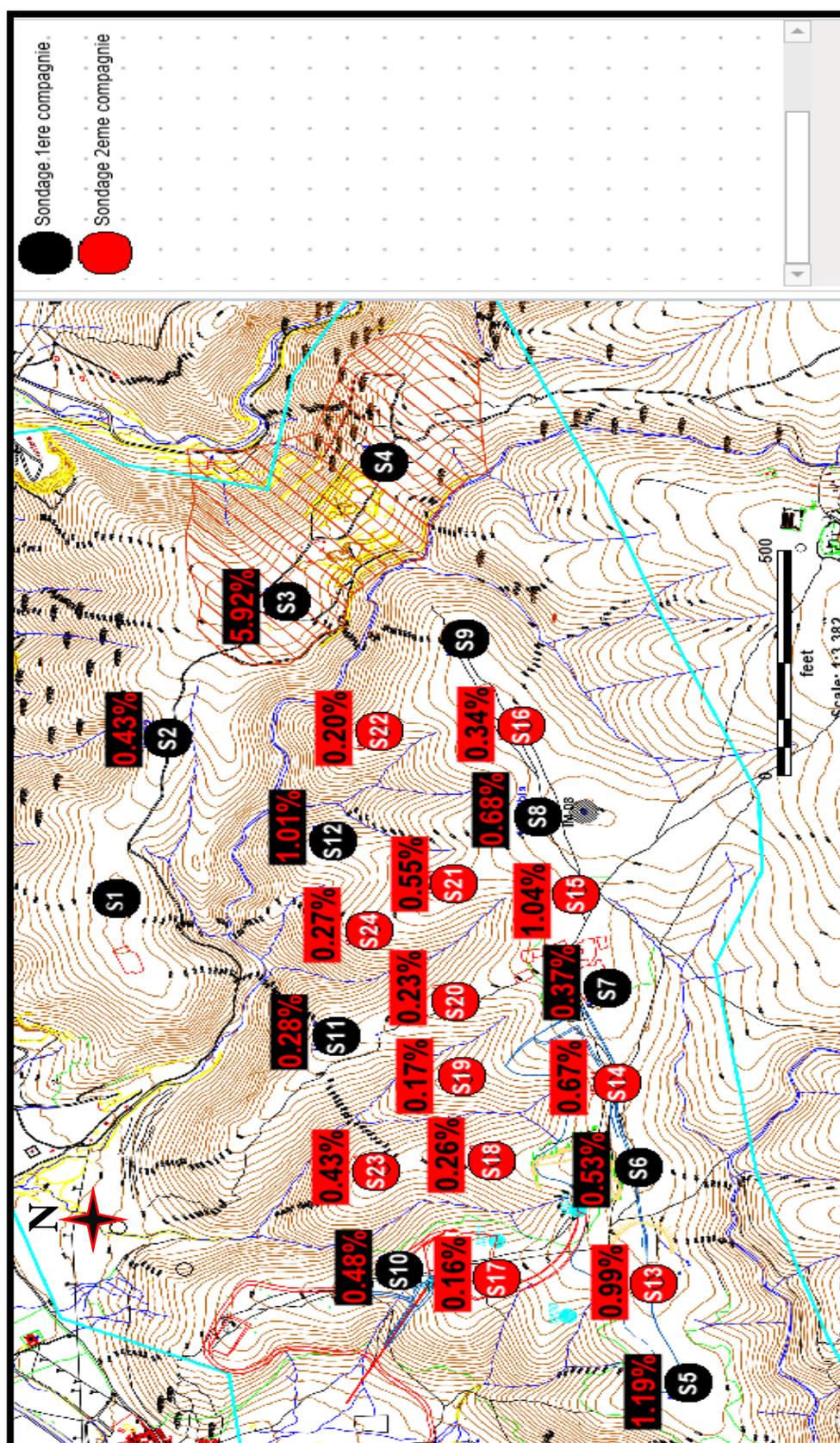


Figure 36 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique Fe₂O₃ dans Les deux compagnies de sondage

3. Élément chimique Al₂O₃ :

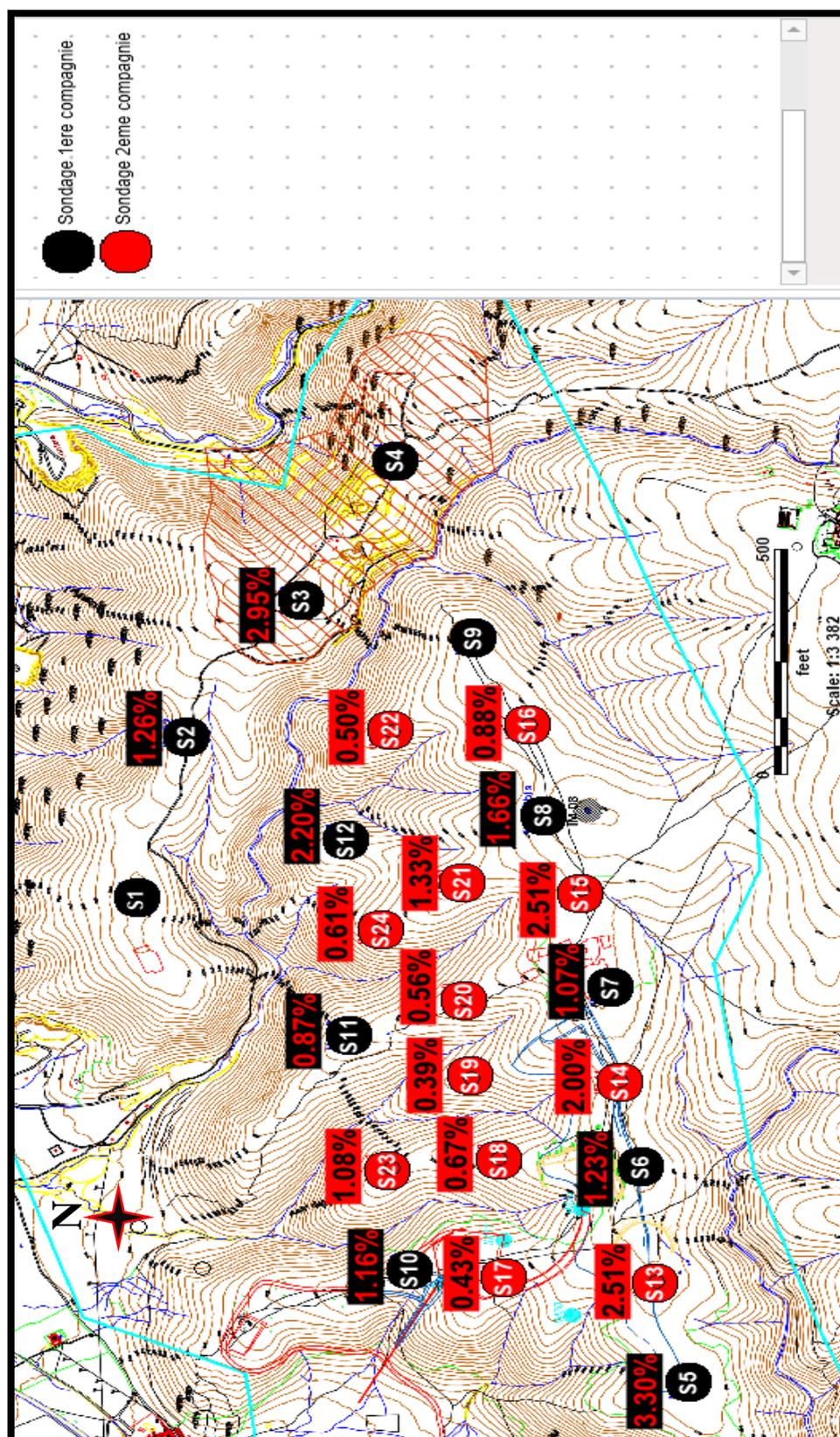


Figure 37 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique Al₂O₃ dans Les deux compagnies de sondage

4. Elément chimique CaO :

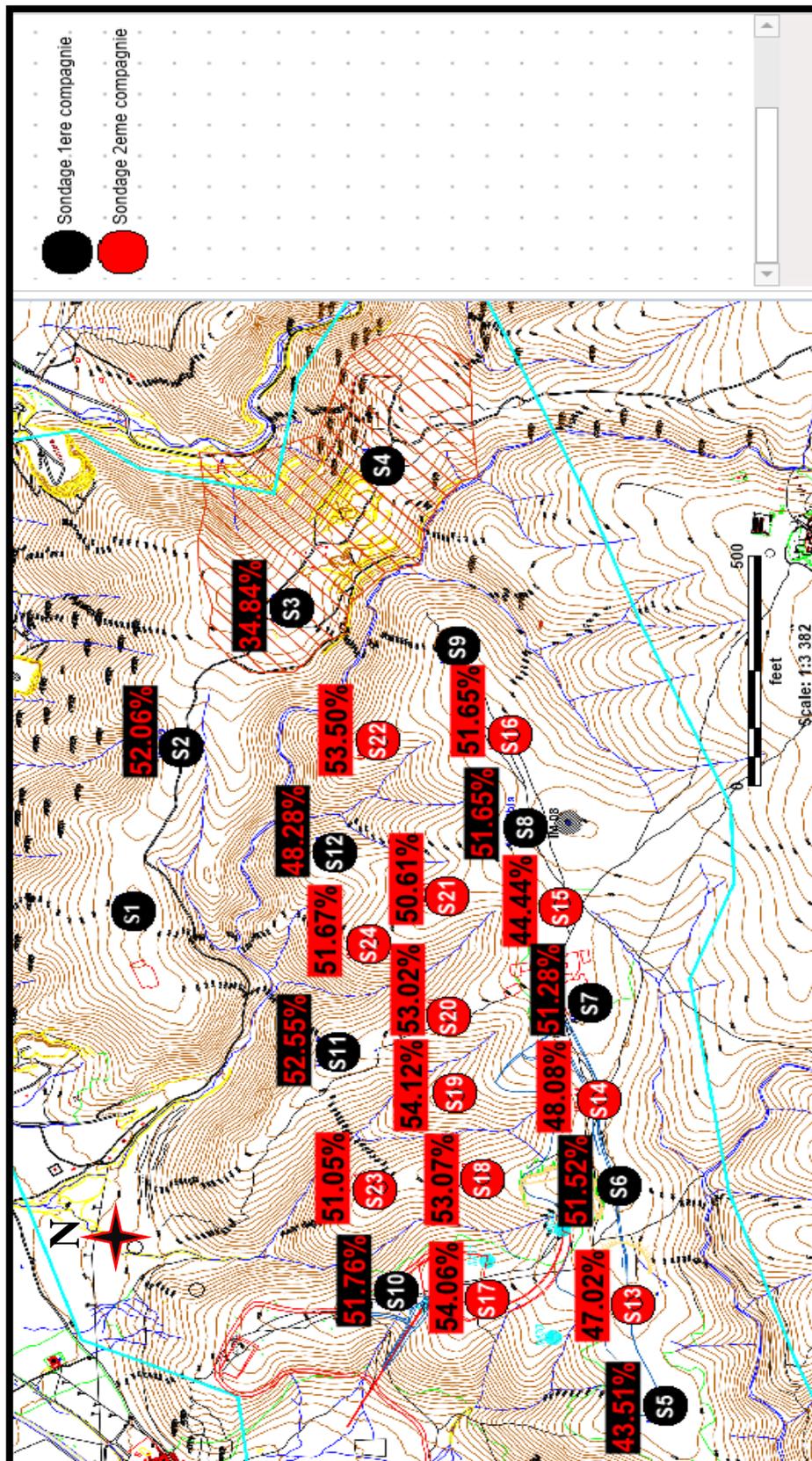


Figure 38 : Carte représentative les concentrations d'élément chimique CaO dans Les deux compagnies de sondage

5. Module silicique (MS) :

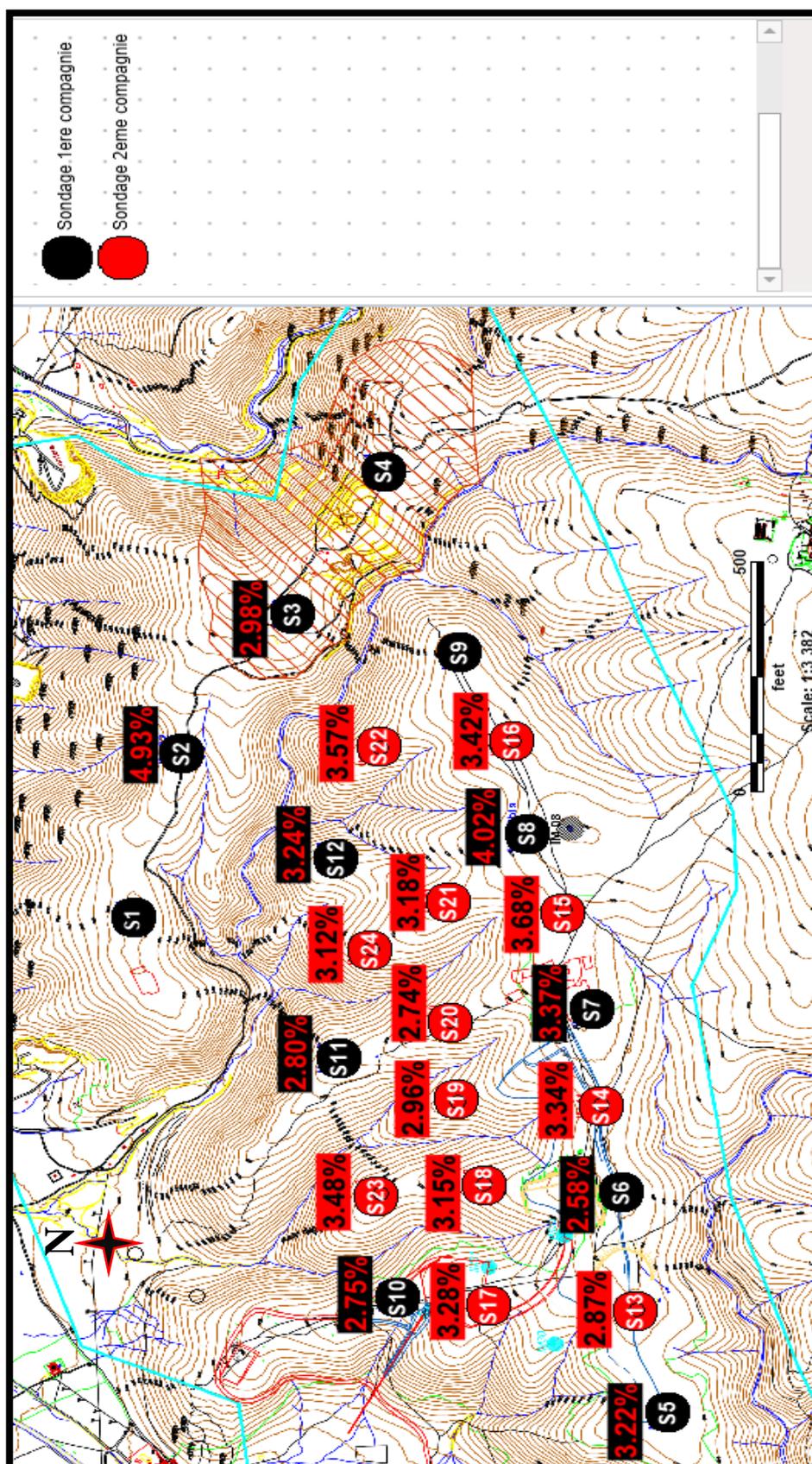


Figure 39 : Carte représentative les concentrations de MS dans Les deux compagnies de sondage

6. Interprétations :

- Pour la silice (SiO₂) :

La carte géochimique présentée dans la figure 51 indique que les formations ayant des teneurs plus élevées en SiO₂ peuvent être utilisées comme source de silice pour l'usine de cimenterie. Dans la première compagnie, les sondages montrent une moyenne de teneur en SiO₂ variant de 2,89 % (S11) à 21,96 % (S3), avec des moyennes élevées observées dans les sondages S3, S5 et S12. Dans la deuxième compagnie, les sondages présentent une moyenne de teneur en SiO₂ variant de 1,49 % (S19) à 13,14 % (S15), avec des moyennes élevées observées dans les sondages S13, S15 et S14.

- Pour l'oxyde de fer (Fe₂O₃) :

En ce qui concerne la moyenne de Fe₂O₃, dans la première compagnie de sondage, la moyenne varie entre 0,37 % (S7) et 5,92 % (S3), avec une moyenne plus élevée dans le sondage S3 par rapport aux autres. Pour la deuxième compagnie de sondage, la moyenne de Fe₂O₃ varie entre 0,16 % (S17) et 1,04 % (S15), avec des valeurs proches les unes des autres.

- Pour l'alumine (Al₂O₃) :

Pour l'élément chimique Al₂O₃, dans la première compagnie de sondages, la moyenne varie entre 0,87 % (S11) et 3,30 % (S6), avec les sondages S6, S12 et S3 présentant des moyennes supérieures aux autres. Pour la deuxième compagnie de sondages, la moyenne de Al₂O₃ varie entre 0,39 % (S19) et 2,51 % (S13), avec les sondages S13, S14 et S15 ayant une moyenne élevée de Al₂O₃.

- Pour la chaux (CaO) :

En ce qui concerne l'élément CaO, il présente la plus grande moyenne parmi les autres éléments chimiques dans les sondages. Dans la première compagnie de sondages, la moyenne de CaO varie entre 34,84 % (S3) et 52,55 % (S11). Dans la deuxième compagnie de sondages, la moyenne de CaO varie entre 44,44 % (S15) et 54,12 % (S19).

- **Pour le module silicique (MS) :**

La moyenne du module silicique (MS) dans la première compagnie de sondages varie entre 2,58 % (S6) et 4,93 % (S2). Pour la deuxième compagnie de sondages, la moyenne de MS varie entre 2,74 % (S20) et 3,68 % (S15).

Conclusion :

Les variations significatives dans les teneurs en éléments chimiques et dans le module silicique des échantillons de calcaire prélevés dans les différentes zones étudiées sont observés dans les deux compagnies de sondages. Les échantillons de la première compagnie, tels que S3, S5 et S12, présentent des teneurs élevées en SiO_2 , ce qui en fait des sources potentielles de silice pour la production de ciment. Cependant, il est important de noter que des teneurs élevées en SiO_2 peuvent entraîner des complications lors de la production de ciment.

Dans la deuxième compagnie, les échantillons S13, S14 et S15 présentent des teneurs élevées en Al_2O_3 , suggérant la présence d'impuretés d'argile qui peuvent influencer les propriétés du ciment. Ces variations soulignent l'importance de prendre en compte la composition chimique des échantillons de calcaire lors de la sélection des sources de matières premières pour la production de ciment.

CONCLUSION GENERALE

La thématique abordée dans le cadre de la préparation de notre projet de fin d'étude est une contribution selon une optique à la fois géologique, géochimique et minéralogique des affleurements de la carrière calcaire de la cimenterie d'Aït Baha (Agadir, Maroc).

L'analyse géochimique de six enlèvements montre que les échantillons 1, 2 et 4 sont les plus favorables pour la production de ciment en raison de leurs teneurs en silice et compte tenu de leurs paramètres chimiques se situant dans la plage idéale. Les échantillons 3, 5 et 6 se révèlent, quand à eux, non favorable vu leurs teneurs élevées en silice.

L'analyse pétrographique en lames minces des échantillons issus de la carrière d'Aït Baha montre qu'il s'agit de biodolospélite à biodolomicrospélite, avec des variations dans le pourcentage de débris d'organismes au sein des six échantillons étudiés. Ces bioclastes sont ceux d'organismes marins qui colonisaient le milieu au cambrien. Ces observations pétrographiques fournissent des informations précieuses sur la nature de la roche et peuvent aider à évaluer son potentiel en tant que matière première pour la production de ciment.

Les échantillons calcaires prélevés dans des sondages exécutés dans la carrière étudiée montrent des variations nettes dans les teneurs en éléments chimiques et dans le module silicique. Les échantillons S3, S5 et S12 de la première compagnie de sondage présentent des teneurs élevées en SiO_2 , ils constituent donc des sources potentielles de la silice pour la production de ciment. Les teneurs élevées en SiO_2 peuvent toutefois entraîner des complications dans la production de ciment. Les échantillons S13, S14 et S15 de la deuxième compagnie présentent des teneurs élevées en Al_2O_3 suggérant la présence d'impuretés d'argile qui influence les propriétés du ciment. Ces variations de la composition chimique sont à prendre en considération dans la sélection des sources de matières premières pour la production de ciment.

REFERENCES BEBLIOGRAPHIQUES

- ❖ **PROVINCE DE CHTOUKA AIT BAHA .LA PROVINCE DE CHTOUKA AIT BAHA EN CHIFFRES DECEMBRE (2012).**
- ❖ **Ambroggi et Neltner, in Choubert, (1952)** Coupe structurale N-S passage Précambrien-Cambrien en bordure NE du Kerdous.
- ❖ **SAADI, (1982).** Succession des formations géologiques dans la région d’Imi Mqorn.
- ❖ **Hassan OUANAIMI & Abderrahmane SOULAIMANI. (2011)** ANTI-ATLAS ET HAUT ATLAS, CIRCUIT OCCIDENTAL. Volume 3 (Notes & Mém. n° 558).
- ❖ **Documents internes de la société CIMAR de AIT BAHA.**
- ❖ **Fatima Zahra BOUKSSIM & Nasr-Allah ASATACH. (2015)** Amélioration de la stabilité de la farine entrée four de la cimenterie d’Aït Baha (Agadir) : caractérisation des différents types de calcaires utilisés - Mémoire de stage de fin d’étude Ist GARM, FST Marrakech.
- ❖ **BENHAMOU Adel (2015).** MEMOIRE DE FIN D’ETUDES Pour l’Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques.

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- ❖ Le groupe Heidelberg [en ligne] disponible sur :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Heidelberg_Materials
- ❖ Heidelberg cement dans le monde [en ligne] disponible sur :
<https://www.cimentsdumaroc.com/fr/heidelberg-materials>
- ❖ Ciments du Maroc [en ligne] disponible sur :
<https://www.cimentsdumaroc.com/fr/usine-dait-baha>