

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Minier

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présenté par : **Youcef LEGHRIEB**

Ingénieur d'Etat et Magister en Génie
Minier, de l'ENP

THEME

**ETUDE ET VALORISATION DES SABLES DES DUNES
DANS LA CONFECTION DES BRIQUES
(Sable de la cuvette d'Ouargla).**

Soutenu publiquement, 12 Décembre 2012 devant le jury :

Mme. CHABOU Salima	MCA	E N P	Présidente
M. BALI Abderrahim	Professeur	E N P	Examineur
M. BOUHICHA Mohammed	Professeur	U T A Laghouat	Examineur
M. CHAID Rabah	Professeur	U M B Boumerdés	Examineur
M. BENCHEIKH B.	MCA	U Z A Djelfa	Examineur
Mme. MITICHE-KETTAB R.	Professeur	E N P	Directrice de

Thèse.

2012

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants de génie minier de l'ENP d'Alger, auxquels je dois beaucoup pour ma formation d'ingénieur, et magister.

Mes remerciements vont également à Monsieur, le Dr AGHID MOHAMMED BECHAR ASSED, M.C. A à l'ENP d'Alger, qui a accepté de diriger ma thèse en premier, et pour tout ce qu'il a fait pour moi.

Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués vont également à Mme. CHABOU Salima, M.C. A à l'ENP d'Alger, pour beaucoup de choses que je ne peux citer ici, et pour avoir accepté de juger ce travail et me faire l'honneur de présider mon Jury de thèse.

Je remercie particulièrement ma promotrice Mme MITICHE-KETTAB, qui m'a fait profiter de ses connaissances et de son soutien moral et qui n'a pas hésité un seul instant à m'encourager et pour tous les conseils et l'aide précieux qu'elle m'a transmis. Un merci spécial pour la rapidité de correction de mes chapitres et pour la disponibilité en cas de besoin.

J'adresse mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à Messieurs :

- M. BALI Abderrahim: Professeur ENP Alger
- M. BOUHICHA M.: Professeur U A T Laghouat
- M, CHAID R. MCA U M B Boumerdés
- M. BENCHEIKH M. MCA U Z A Djelfa

Pour avoir accepté d'examiner mon travail et de s'être déplacé pour faire partie du Jury de cette thèse.

Mes vifs remerciements vont également à Monsieur PIERRE GIRESSSE, professeur agrégé à l'université de Perpignan, France, de m'avoir accueilli dans son laboratoire LEVRENZA et pour le temps qu'il m'a sacrifié malgré toutes ses occupations scientifiques, pédagogiques et administrative.

Je remercie l'ensemble du personnel du laboratoire pédagogique et de recherche LEVRENZA, du département hydraulique et génie civil de l'université Kassedji Merbah Ouargla et du laboratoire LTPS Ouargla, pour les services qu'ils m'ont rendus.

Un merci sans fin après avoir exprimé ma gratitude pour ma femme, pour son apport inestimable (sa patience, son amour et ...) afin que ce travail voit le jour. Choukrane.

Un grand merci pour mon petit frère HAMZA, pour sa compagnie volontaire et agréable durant toute la période d'échantillonnage, et pour toutes les aventures qu'on a vécus ensemble dans le Sahara d' Ouargla.

Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont Je suis redevable se voient ici vivement remerciés.

INTRODUCTION GENERALE

Le sud Est de l'Algérie est connu par ses dunes de sable, qui ornent les cartes postales et sont des destinations touristiques, mais aussi qui englobent les terres et les palmeraies et envahissent certaines oasis. Or, ce sable qui occupe le quasi totalité de la surface du Sahara algérien n'est actuellement pas valorisé pour être exploité.

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. Son utilisation pourrait être liée à sa très forte teneur en silice. En génie civil, ce sable présente aussi un grand intérêt économique et environnemental pour l'Algérie. En effet, la hausse de la demande du sable de construction en Algérie, l'incapacité des carrières algériennes à fournir du sable fin et l'arrêt programmé de l'utilisation du sable de mer, qui conduit à un grand problème écologique et touristique pour l'Algérie, sont autant de raisons qui poussent à la valorisation de ce produit.

Nous nous sommes donc intéressés à la valorisation de ce type de sable. Compte tenu de sa granulométrie (moyenne à fine, naturellement inférieur à 1mm), de sa morphologie, de sa propreté et de sa dureté, nous nous sommes focalisés sur sa valorisation dans le mortier à base de sable éolien.

Notre sujet s'intéresse à l'étude d'une substance minérale (sable dunaire d'Ouargla), très abondante et qui peut se transformer en gisement immense si nous trouvons la manière de l'utiliser massivement. La fourchette d'utilisation des sables dans le monde est très large, l'électronique, la verrerie, matériels abrasifs (papiers verres, limes, disques, jet de sable,.. par exemple..), chose qui nous a poussé à l'étudier dans le but d'une valorisation primaire. La méthodologie d'étude consiste à l'échantillonnage, caractérisation, préparation et utilisation brute (sans traitement ni correction) de ce matériau.

L'objectif de notre étude consiste en une utilisation quantitative (en grande masse et brute c'est à dire sans traitement, en tenant compte du prix de revient, d'où parmi plusieurs autres créneaux, la conception d'une brique crue qui répond aux exigences de la région aride.

L'échantillonnage a touché tous les types de sable de la cuvette d'Ouargla (dunes, plaines, carrières), mais notre produit a été conçu seulement des sables éolien (sable des dunes).

Les briques sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction. Leur fabrication est passée par plusieurs étapes de développement (Alviset,

1994) dont la première est la brique crue puis la brique cuite, enfin la brique stabilisée (Guilaud *et al.*, 1988).

La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques (brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc, etc.) (CNERIB, 1988). Il est à remarquer qu'aucune des briques ne peut présenter le choix parfait du point de vue résistance mécanique, isolation thermique, acoustique, durabilité, et même vis à vis du prix de revient. Ainsi, chaque type de brique peut présenter des avantages et des inconvénients selon ses caractéristiques.

En Afrique, Moyen Orient et Amérique du Sud, la brique la plus répandue est la brique de terre non stabilisée ordinaire (Arab, 1990). Cependant, ce type de brique présente quelques caractéristiques défavorables (Benna *et al.*, 2004) :

- Faible résistance à la compression ;
- Faible résistance à l'érosion hydrique (précipitations et autres) ;
- Gonflement et rétraction en fonction de la variation hygrométrique de l'air ambiant et de l'absorption d'eau par capillarité, qui provoquent sa dégradation (Bentata, 2003).

Notre étude s'intéresse aux régions sahariennes et notamment celle de Ouargla (Est de l'Algérie). Cette dernière est connue par son climat chaud, la remontée de la nappe phréatique et l'abondance des sables éoliens.

Plusieurs travaux ont été réalisés dans le but de l'utilisation des sables dunaires dans le domaine de la construction voir par exemple, Kettab (2007), Bederina *et al.* (2005); Cisse and Lequerbe (2000).

L'objectif de notre recherche consiste à valoriser particulièrement le sable des dunes d'Ain el Baida (Ouargla), dans la confection d'une brique qui remplacerait avantageusement la brique de terre non stabilisée ordinaire et qui répond aux exigences suivantes :

- Bonne résistance mécanique (brique quasi-porteuse);
- Bonne isolation thermique;
- Faible ascension capillaire d'eau.

Le plan de notre thèse est composé des chapitres suivants :

Chapitre 1-

Dans ce chapitre (Géologie du lieu d'étude), on a essayé de donner toutes les informations géographiques, géologiques, hydrogéologiques, climatiques et morphologiques de la région d'étude.

Chapitre 2-

Ce chapitre (Les sables) est composé d'une partie recherche bibliographique sur les sables d'une manière générale et d'autre partie de l'analyse du sable de Ain Baida , qu'on a choisi pour la confection de notre brique.

Chapitre 3-

Ce chapitre (Les matériaux du mortier) est une présentation des matériaux (sables, liants, eau de gâchage) utilisés dans notre brique.

Chapitre 4-

Ce chapitre (Confection de briques) représente l'application, l'utilisation ou la valorisation des sables dunaires, dans le domaine de la brique.

Cette thèse s'achève par une conclusion générale et recommandation

CHAPITRE 1 :

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MILIEU NATUREL

1.1. INTRODUCTION

Ce chapitre nous donne une idée régionale et locale sur la zone d'étude (Cuvette de Ouargla). On y abordera la géographie, la géologie, l'hydrogéologie, la morphologie, le climat, la pédologie et la végétation de la région qui seront illustrés par des cartes et graphes disponibles.

1.2. SAHARA SEPTENTRIONAL

1.2.1. Définition

Le **Sahara**, mot dont la signification n'est pas absolument établie, est la région du nord de l'Afrique, considéré comme le plus vaste désert chaud du monde¹. Ses précipitations annuelles sont inférieures à des limites qui permettent des définitions géographiques.

Si on situe cette limite à 100 mm, on définit le vrai désert. Cette définition est temporelle puisque l'on sait, par les gravures et les peintures rupestres du Tassili des Ajers (Quid 1992), que certaines régions de cette zone ont été, antérieurement, beaucoup plus humides qu'aujourd'hui.

Si on fixe cette limite aux environs de 200 mm, la frontière nord du désert remonte aux limites des Atlas Sahariens et la frontière sud coïncide avec la ligne, Sénégal-Niger-Tchad.

Le Sahara s'étend à travers le tiers septentrional du continent africain de l'Atlantique à la Mer rouge, sur une surface totale de 8 millions de ((Le Houérou, 1990). C'est là où les conditions climatiques atteignent leur plus grande sévérité (Seltzer, 1946 et Dubief, 1959). Pratiquement, ses limites se situent en deçà des isohyètes 100 à 150 mm (Toutain, 1979).

Le Sahara est subdivisé en plusieurs secteurs : Sahara septentrional, méridional, central et occidental. (Dubief, 1952)

¹

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Sahara>

Le Sahara septentrional qui nous intéresse représente 1 million de km². Il est soumis à un extrême du climat méditerranéen, où les pluies surviennent toujours en hiver. Il se présente comme une zone de transition entre les steppes méditerranéennes nord-africaines et le Sahara central. La pluviosité à laquelle il est soumis est comprise entre 50 et 100 mm, (Le Houerou, 1990).

1.2.2. Relief géomorphologique

Le Sahara septentrional dispose de plusieurs formes géomorphologiques où nous distinguerons :

- **Les ergs :**

Ce sont les grands massifs de dunes; ils occupent environ 20% de la surface du Sahara.

- **Les regs :**

Les regs, aussi appelés «**Serir**» dans les parties orientales du désert, sont des étendues plates, caillouteuses et graveleuses et constituent le paysage le plus fréquent du Sahara. Les grands regs sont particulièrement inhospitaliers. On peut citer le reg du Tanezrouft, le serir libyen ou le reg du Ténéré qui occupe chacun des centaines de milliers de km². Ils peuvent occuper aussi le sommet des plateaux.

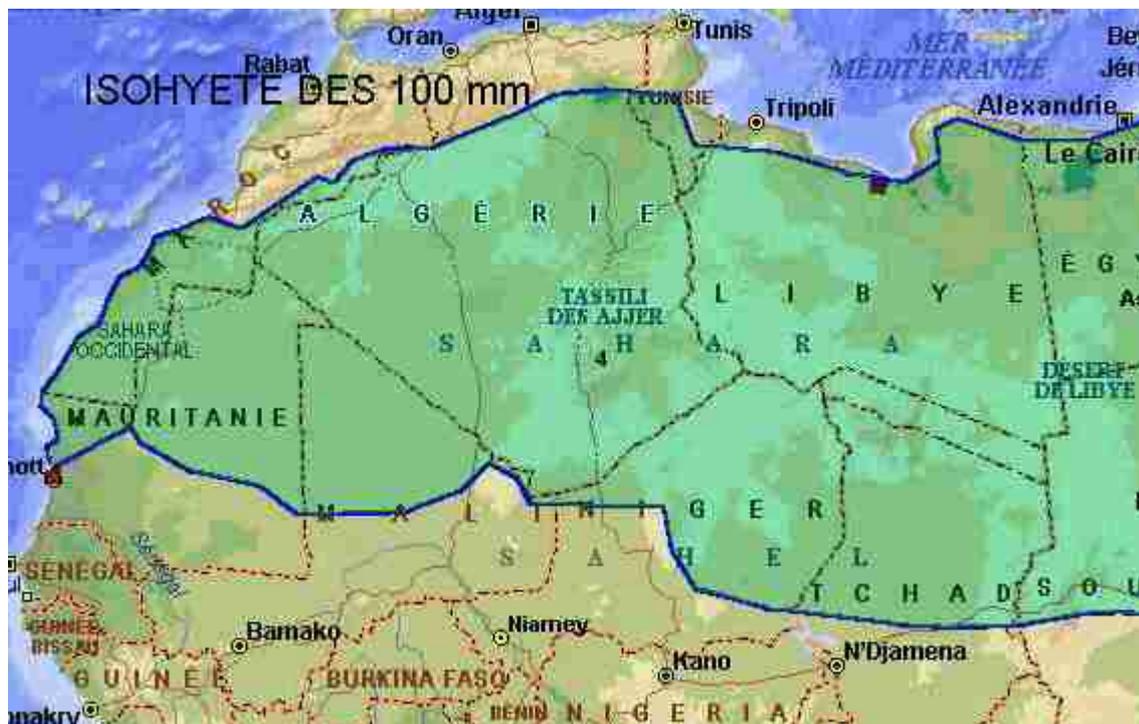


Figure 1.1 : Carte géographique du Sahara.²

- Les dayas :

Les dayas sont des cuvettes d'extension limitée, au fond en général argileux dans lesquelles l'eau de ruissellement peut s'accumuler. Une alternance d'inondation et d'érosion éolienne peut expliquer leur formation. Elles sont parfois d'origine karstique (OZENDA, 1991), sur les plateaux. Elles constituent des zones de végétation pérennes. On les rencontre surtout au nord du Sahara.

- Les sebkhas

À la différence des précédentes, les sebkhas forment des marais salants temporaires. L'eau peut provenir du ruissellement ou de sources temporaires. La plus grande, le Chott el-Jérid, couvre 5000 Km², en Tunisie.

- Les hamadas :

Les hamadas sont des plateaux rocheux tabulaires limités par des falaises. Ils sont d'origine sédimentaire, le plus souvent calcaire. Lorsqu'ils sont recouverts de grès, ils sont nommés tassilis (par exemple : Tassili des Ajjer en Algérie). En général la surface montre de la roche nue, lissée par l'érosion éolienne.

- Les djebels :

Le terme Djebel désigne tous les autres reliefs que ce soit des collines ou des massifs montagneux plus importants.

- Les oasis :

Les oasis sahariennes, milieux naturel et anthropique, n'occupent qu'un millième de la surface du Sahara. Elles sont situées parfois sur le lit de rivières venant se perdre dans le désert ou au pied de massifs produisant des sources ou encore directement au dessus de nappes phréatiques affleurantes ou peu profondes.

- Les oueds :

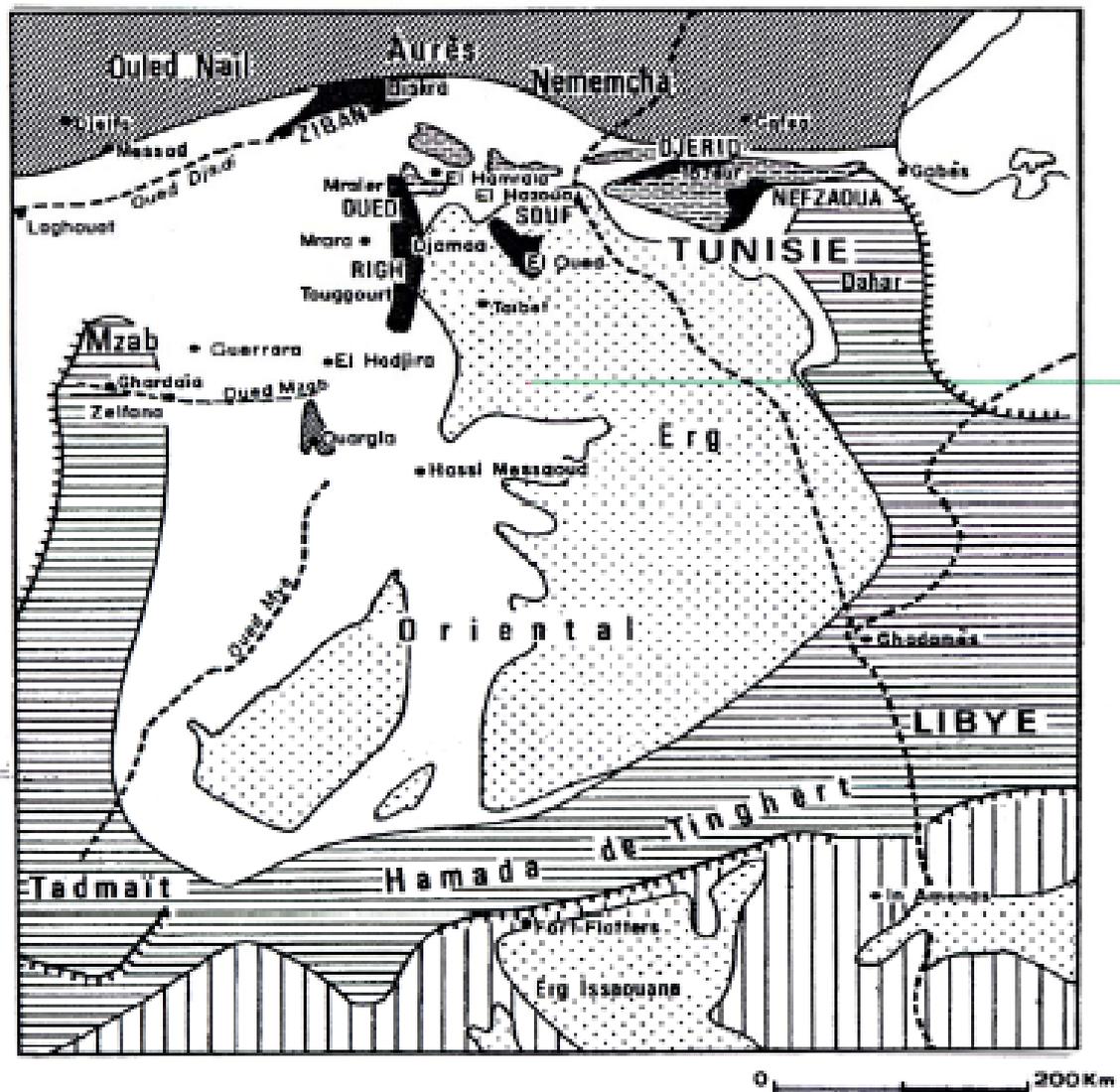
Le lit d'Oued est l'espace qui peut être occupé par des eaux d'un cours d'eau. Ses matériaux peuvent avoir comme origine soit des roches en place, soit des matériaux transportés par le cours (Derruau, 1967).

1.2.3. La géologie

² <http://saharayro.free.fr/fgeo2.htm>

La région d'Ouargla fait partie de Bas-Sahara et se présente comme une cuvette synclinale qui est caractérisé par un remplissage sédimentaire plus ou moins circulaire ayant un diamètre de 600 km (Fig. 1.2).

Tous les terrains affleurent plus ou moins sur les bordures depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire, s'enfonçant sous la couverture sédimentaire en grande partie dissimulée par le grand erg oriental.



1. Affleurement primaires
2. Plateaux Crétacés et cuestas
3. Reliefs atlasiques
4. Remblaiement du Continental Terminal
5. Ergs
6. Sebkhias
7. Grandes régions d'oasis

Figure 1.2 : Carte géologique du Bas- Sahara (d'après Nesson, 1978).

Le bas-Sahara est divisée en deux parties

- Le bassin occidental du Tademaït.
- Le bassin oriental du Tihert.

De nombreux auteurs ont travaillé et publié des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, aussi bien dans le cadre de la recherche pétrolière que de la recherche universitaire, parmi eux nous citons les plus connus : G. Busson, 1970; G. Conrad, 1969; Dubief, 1959. La région d'Ouargla fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Nord-est Septentrional, dont les grands traits de la géologie sont :

a- Au sud de l'accident Sud atlasique qui sépare la zone mobile maghrébine du reste de l'Afrique occidentale; le bouclier rigide est formé de terrains sédimentaires et éruptifs, plissés et métamorphisés.

b- Le Paléozoïque du Sahara correspond à des dépôts de climat désertique périglaciaire.

Autour des affleurements du socle, s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des Tassilis. Les mouvements hercyniens du Permo-Carbonifère, vont provoquer l'érosion du bouclier. Il s'installe alors une grande période continentale avec pénéplanation post-hercynienne pendant le Trias et le Jurassique et formation d'un manteau de grès, de sable et d'argile, qui va constituer le "*Continental Intercalaire*".

c- Le Trias (Busson (1970) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseur du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être : salifères, argileuses, argilo-gréseuses ou carbonatées. L'épaisseur de ces différentes formations varie principalement là où s'intercalent des bancs salifères. L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180 m). Elle diminue dans les zones de hauts-fonds (Hassi Messaoud et R. El Baguel). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (700 m au N-E de Ghadamès), il atteint 1300 m à H. Messaoud.

d- Le Jurassique :

d.1- Le Jurassique inférieur et moyen (Lias-Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argiles auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et argiles avec des bancs d'anhydrite.

d.2- Le Jurassique moyen est caractérisé par une transgression couvrant tout le bassin du Grand Erg Oriental et les dépôts y sont épais.

d.3- Le Jurassique supérieur est caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers le Sud. Le passage du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Hoggar) (Figure 1.3) (Busson, 1970).

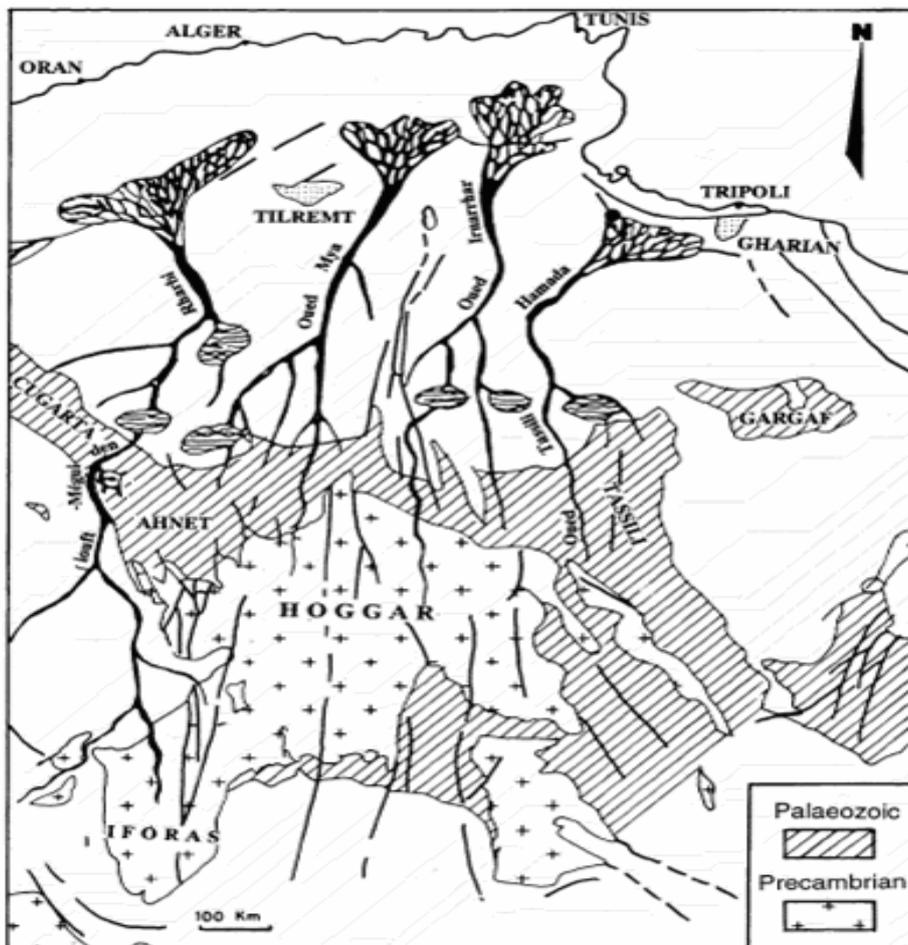


Figure 1.3 : Origine des sables du "CI" (Ouaja, 2003)

e- Le Crétacé inférieur : L'étude des données des sondages (Busson, 1970) a permis de préciser la succession des paléogéographies au cours du Crétacé inférieur. Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-deltaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Il comprend, en partant des formations les plus anciennes :

* **Le Néocomien** : comprenant dans le Bas-Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles;

* **Le Barrémien** : est caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar) (Figure 3). Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien;

* **L'Aptien** : est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du Bas-Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignite (sédimentation lagunaire);

* **L'Albien** : est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens.

On remarque que le changement du régime sédimentaire avec l'arrivée en masse de sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le (Fabre, 1976) Barrémien et au cours de L'Albien.

f- Le Cénomaniens est formé par une alternance de bancs de dolomie, de calcaire dolomitique, d'argiles et d'évaporites (anhydrite ou sel).

Son faciès varie :

- Au Sud d'Ouargla, les argiles et les évaporites dominent;
- Au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomie sont majoritaires;
- De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50 m dans le Tademaït à 350 m dans le Bas-Sahara).

La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rend le Cénomaniens imperméable (Bel et Cuhe, 1969).

Le Cénomaniens inférieur à moyen, est argileux dans le Tinrhert et le Bas-Sahara; **Le Cénomaniens supérieur**, y est calcaire (Busson, 1970).

g- Le Turonien :

Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord :

- Au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaire-marneux;
- Entre El Goléa et Djamaâ, il est essentiellement calcaire;
- Au Nord de Djamaâ, il est à nouveau calcaire-marneux.

Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300 m (Bel et Cuche, 1969).

h- Le Sénonien :

Il s'individualise en deux faciès :

- **Le Sénonien inférieur** à sédimentation lagunaire caractérisé par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable (Busson, 1970);
- **Le Sénonien supérieur** (Sénonien carbonaté) : formation carbonatée perméable.

i- L'Eocène :

On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique :

À la base :

- **L'Eocène carbonaté** est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrite et de marnes. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m, l'épaisseur maximum se situant dans la zone du Bas-Sahara.

Au sommet :

- **L'Eocène évaporitique** est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (Bel et Cuche, 1969).

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien (Busson, 1970).

j- Le Mio-Plio-Quaternaire :

Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150 m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse (Figure 4). Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts algéro-tunisiens, quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région d'O. Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe d'O. Rhir). L'ensemble est surmonté par le Plio-

Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (Busson, 1970).

1.2.4. Le climat

Les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, entraînent de fortes températures, et au régime des vents qui se traduisent par des courants chauds et secs (Ozenda, 1991). Le climat saharien est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température.

1.2.5. La végétation

L'essentiel de la végétation³ se trouve dans les Oasis et les lits des Oueds où coule une ou deux fois par an l'eau apportée par des pluies violentes et de courte durée : des arbres: des espèces de tamaris et d'accacias adaptées au désert ; des arbustes: comme le drinn et le datura dont les feuilles sont toxiques, comme les coloquintes; des palmiers dattiers et des plantes graminéennes.

³ Rapports de la Conservation des forêts de la wilaya d'Ouargla. (DIRECTION GENERALE DES FORETS).

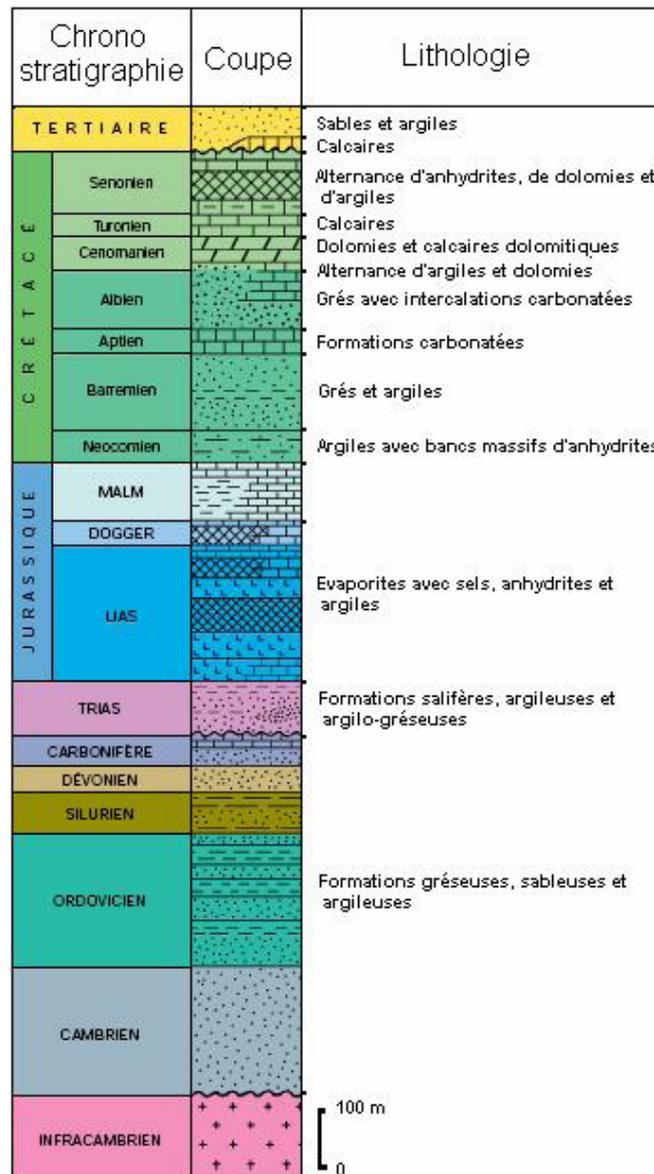


Figure 1.4 : Colonne stratigraphique synthétique du Sahara N-E Septentrional. ANRH Ouargla

1.3. ZONE D'ETUDE (Cuvette d'Ouargla)

1.3.1. Situation géographique du site

La wilaya d'Ouargla se situe au Sud-est de l'Algérie (Fig.1.5) au fond de la basse vallée de l'oued M'ya. La ville d'Ouargla se localise à environ 800 km d'Alger.

Elle est située à une altitude moyenne de 137 mètres. Ses coordonnées géographiques (Figure 6) sont 31°58' latitude Nord, 5°20' longitude Est (Ozenda, 1983).

Elle couvre une superficie de 163 230 km² et demeure une des collectivités administratives les plus étendues du pays.

La cuvette d'Ouargla couvre une superficie moyenne 99000 ha. Elle s'étale sur une longueur de 55km de direction Sud-Ouest et Nord-Est.

Elle s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880):

X = 710 000 ; Y = 3 530 000 et X = 73 000 ; Y = 3 600 000 et est limitée:

- À l'Ouest : Un plateau calcaireux surplombe la cuvette d'Ouargla à environ 230m d'Altitude en confluence avec Oued N'sa.

- À l'Est : On constate un plateau, dont les limites ne sont pas nettes, avec une altitude ne dépassant pas les 160m. Les rebords de ce plateau disparaissent souvent sous les sables (Erg Touil, Erg Boukhezana, Elarifdji).

- Au Sud : des dunes recouvrent les ruines de Sedrata; son altitude dépasse 155 m.

- Au Nord : Zabret Bouaroua constitue au même temps la limite supérieure de Sebkhet Safioune et de la grande cuvette d'Ouargla (Hamdi Aissa, 2000).

Ouargla comprend les agglomérations et les communes données dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 : Communes et localités de la cuvette d'Ouargla.

Communs	Localités
Ouargla	Hassi-Miloud, Said-Otba, Bamendil, Makhadma, Bour El-Haicha, Centre Ksar, Beni Thour et la zone industrielle
N'Goussa	Larbaa, Boughoufala, El-Koum et Ghers
Rouissat	Rouissat, El-Hadeb et Sokra
Ain El-Baida	Ain El-Baida, et chott adjadja
Sidi Khouiled	Oum Raneb, et Aouinet Muossa

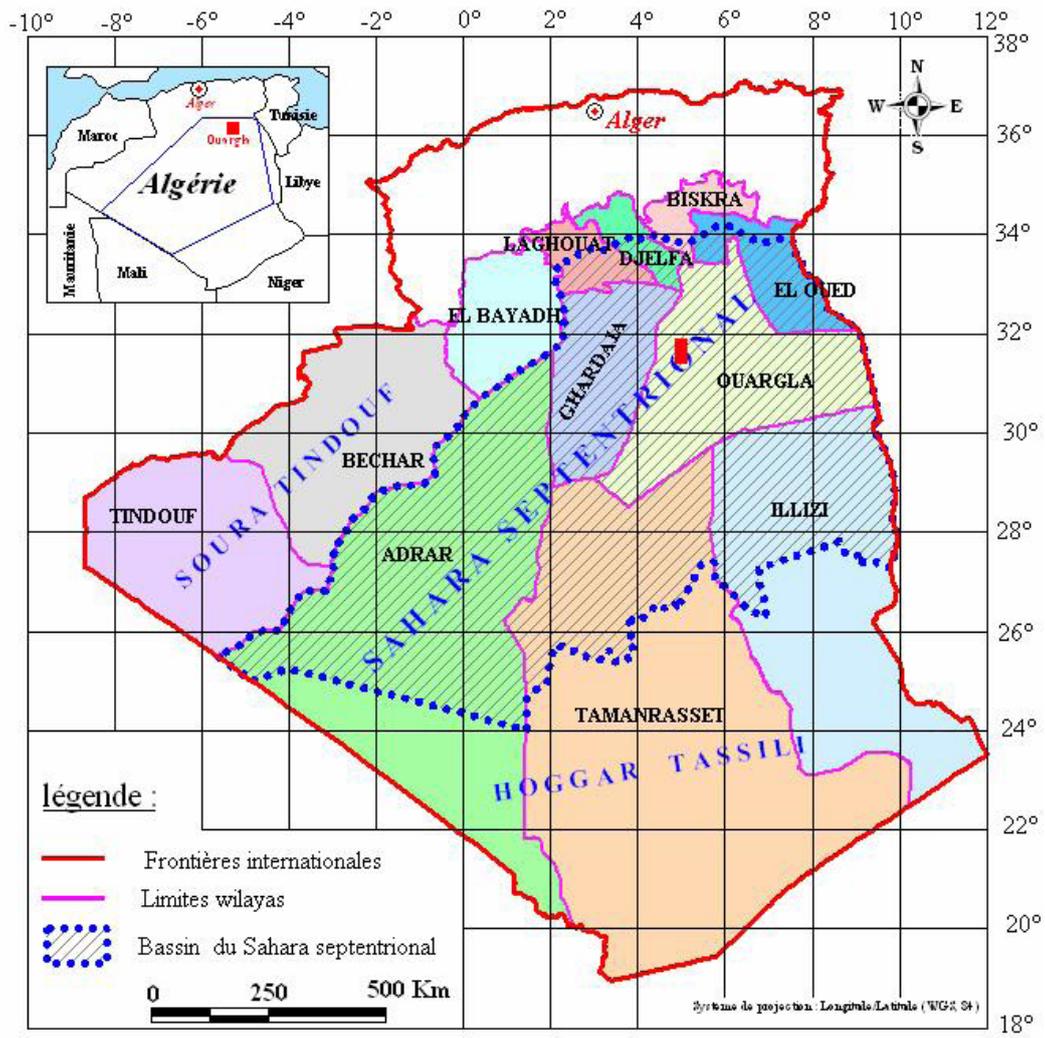
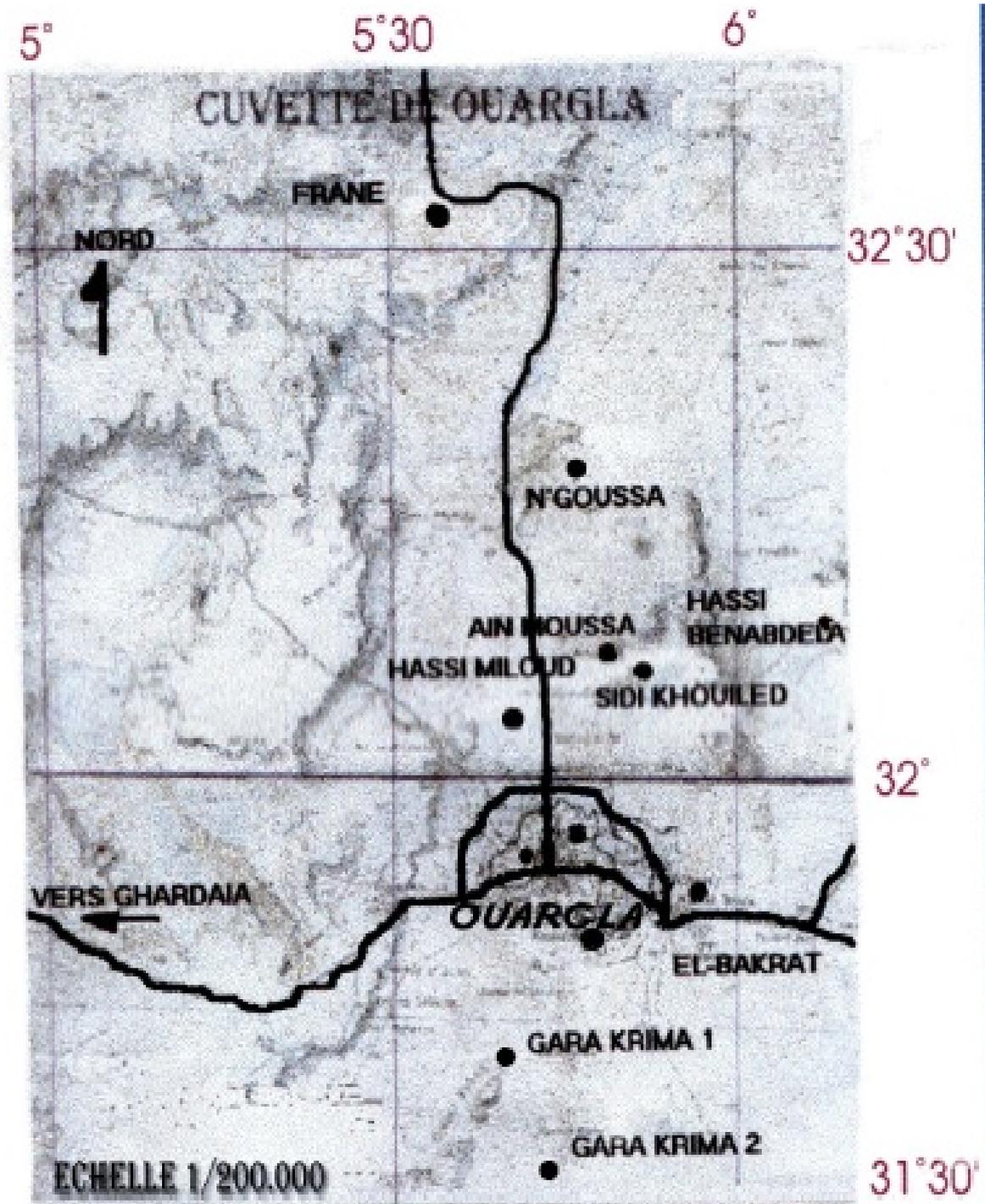


Figure 1.5 : Localisation géographique de la wilaya d’Ouargla
(Source : Bellaoueur, 2008)



Légende : ● Localité.

Figure 1. 6 : Les coordonnées géographiques de la cuvette d'Ouargla.

(DUBIEF, 1959)

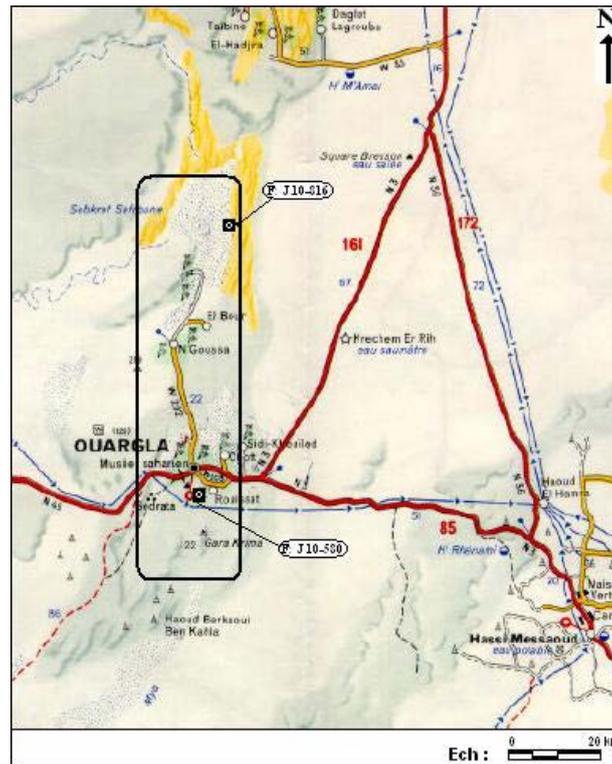


Figure 1.7 : Délimitation de la cuvette d’Ouargla (zone de prélèvement).
(Carte d’Algérie et Tunis, MICHELIN N° 747, Paris)

1.3.2. Le climat

Le climat d’Ouargla est saharien, caractérisé par une faiblesse des précipitations, une évaporation intense, de fortes températures et une luminosité importante.

Les analyses des données sont faites à partir d’une synthèse climatique de 11ans, entre 1996-2007, à partir des données (O.N.M, 2008) de l’Office National de Météorologie, (Tableau 2).

1.3.2.1. Températures

Tableau 1.2 : Températures moyennes mensuelles en, °C, (Période 1996-2007).

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T. Moy.	11,86	13,6	18	22,58	27,47	32,66	34,71	34,01	30,64	25,49	17,01	12,37

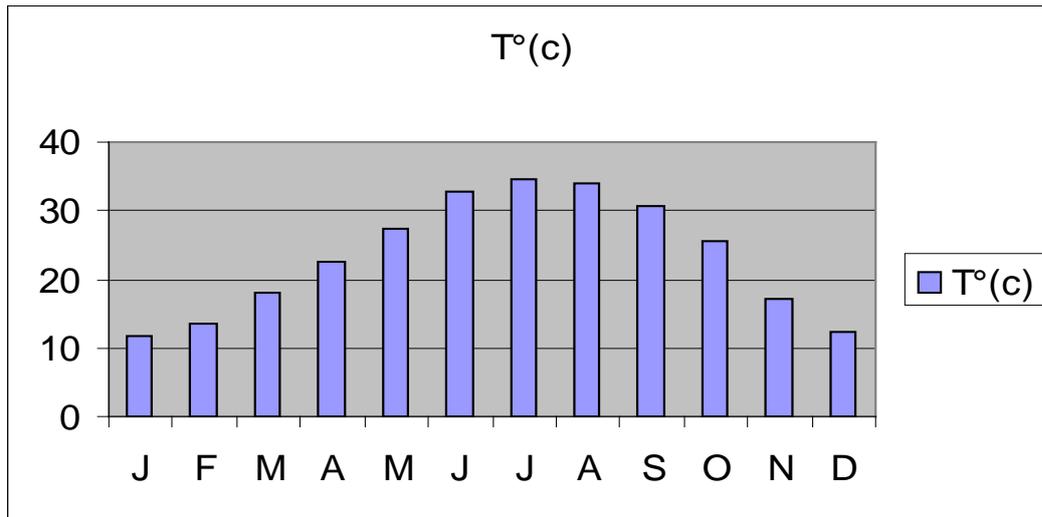


Figure 1. 8 : Température moyenne mensuelle à Ouargla, (Période 1996-2007).

A Ouargla, les températures sont en moyenne très élevées (figure 1.8), le mois le plus chaud est juillet, avec une température moyenne de 34,71°C et le mois le plus froid est janvier, avec 11,86°C.

1.3.2.2. Précipitations

Les précipitations sont très rares et irrégulières dans la région d'étude; elles varient d'une année à l'autre. Elle reçoit une moyenne annuelle de l'ordre de 36,44 mm/an. La répartition est marquée par une sécheresse absolue, de juin jusqu'à août et par deux maxima en octobre 6,93mm, et en novembre avec 7,51mm.

Tableau 1.3: Précipitations mensuelles.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy.	5,55	1,45	4,49	1,75	1,36	0,1	0,64	1,55	2,86	6,93	7,51	2,15

La carte de la répartition spatiale des pluies (Figure 1.9), indique une diminution de la pluviométrie du Nord au Sud, notre région se trouve dans la gamme 30 à 50 mm/an.

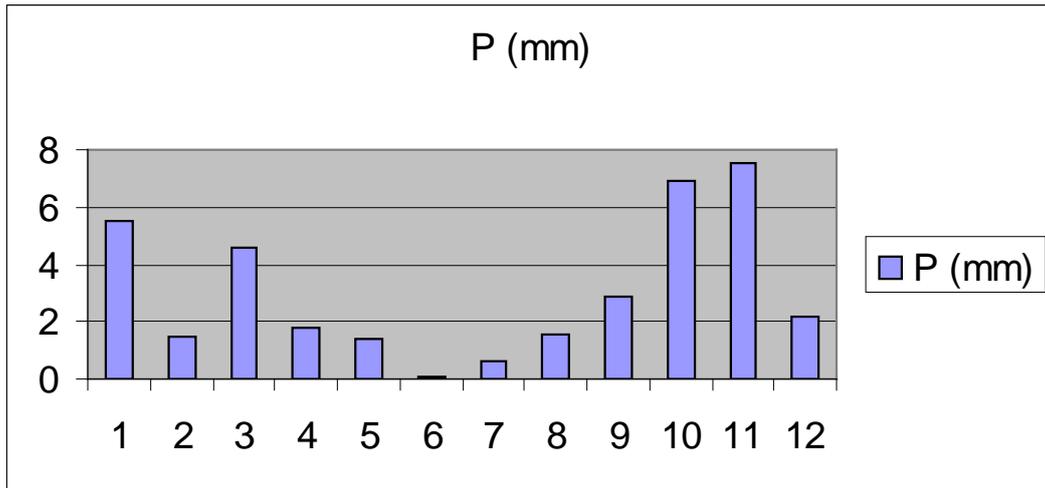


Figure 1.9 : Répartition mensuelle des pluies à Ouargla, (Période 1996-2007).

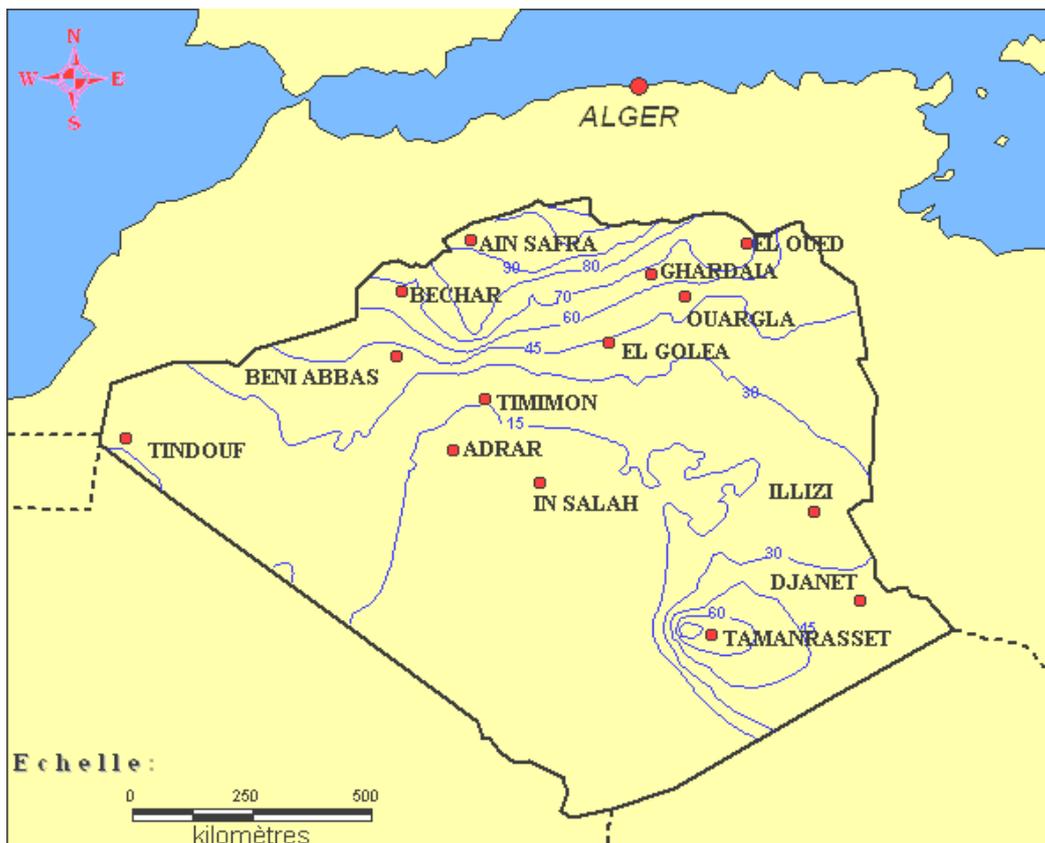


Figure 1.10 : Carte en isohyètes moyennes annuelles du Sahara algérien.

[Source : Cahiers de sécheresse, N°: 1/98 (Internet)].

1.3.2.3. Humidité relative

Tableau 1.4 : Humidité relative moyenne mensuelle en% (Période 1996-2007).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy.	59,75	53,16	42,75	35,91	32,16	26,08	24,75	27,58	37,75	46,08	55,91	61,08

L'humidité relative de l'air (tableau 1.4) est comprise entre les 25% et 61%, sur un intervalle de 11 ans. La moyenne de l'humidité la plus élevée est enregistrée au mois de décembre, avec 61,08% et le taux le plus faible est au mois juillet, avec 24,75%, et une moyenne annuelle de 41,91%.

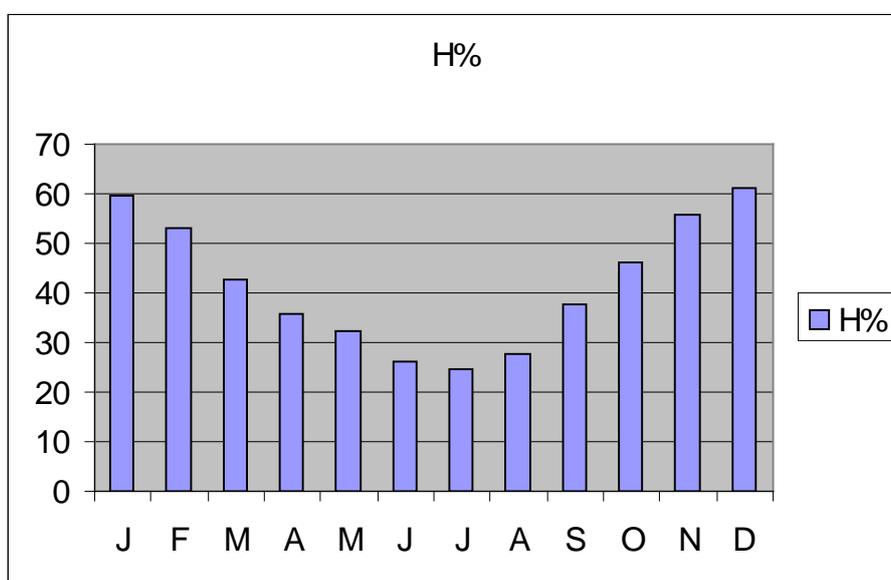


Figure 1.11: Humidité relative moyenne mensuelle en % (Période 1996-2007).

1.3.2.4. Vents

Tableau 1.5 : Vitesses moyennes des vents en m/s, (Période 1996-2007).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy.	3,74	3,3	3,78	4,57	4,75	4,58	4,4	4,04	3,72	3,39	2,71	2,81

Selon (Rouvilis-brigol, 1975), les vents les plus forts (vitesse supérieure à 20m/s) soufflent du Nord-Est et du Sud, les plus fréquents du quart Nord. En hiver, ce sont les vents d'Ouest, au printemps du Nord, du NE et de l'Ouest, en été du quart NE, en automne du quart Nord.

Dans les régions arides, les vents ont joué et jouent encore un rôle primordial dans la formation du relief et des sols, dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols,

par leur vitesse et leur fréquence. Le vent chaud (Sirocco) domine dans la région d'étude en été peut causer des dégâts, surtout en l'absence de couvert végétal Les vents sont de vitesse moyenne de l'ordre de 3,8 m/s, cette vitesse est plus élevée aux mois d'Avril, Mai, Juin et Juillet avec plus de 4 m/s et moins élevée durant les mois d'Hiver (2,7 m/s). La direction dominante des vents est SSW-NNE;

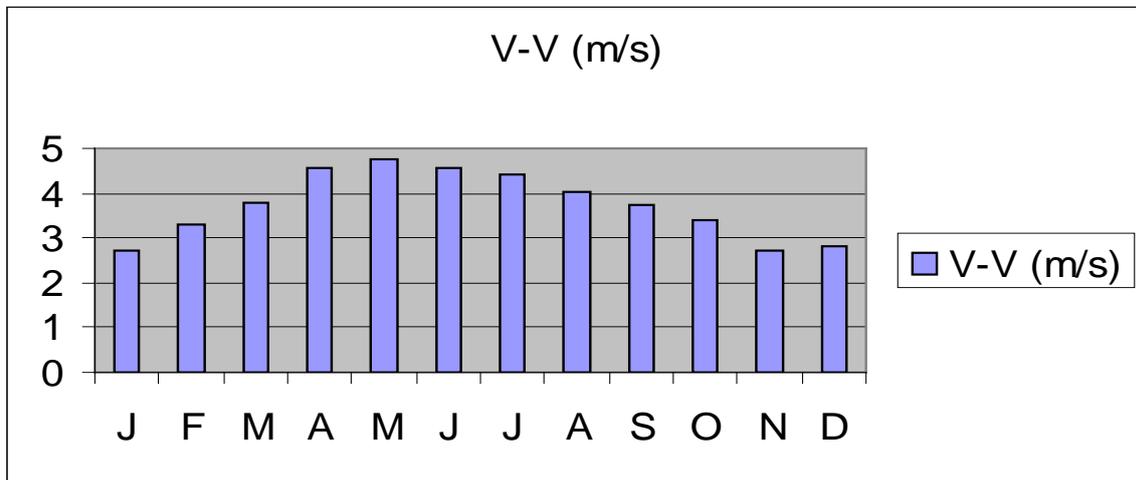


Figure 1.12 : Vitesses moyennes des vents en m/s (Période 1996-2007).

1.3.2.5. Evaporation

Tableau 1.6 : Evaporations moyennes de l'air en mm (Période 1996-2007).

Mois	Jan.	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sep	Oct.	No	Déc.
v.												
Moy.	101,8	135,2	213,2	285,	345,	431,6	471,3	444,6	316	240,2	135	100,9
	3	5	5	5	5	6	3	6		5		1

La région d'étude est caractérisée par une évaporation très importante; son intensité étant fortement renforcée par les vents, et notamment par ceux qui sont chauds (TOUTAIN, 1979). L'évaporation minimum est de l'ordre de 100,91mm, enregistrée au mois de décembre, le maximum est de 471,33mm au mois de juillet, avec une moyenne annuelle de 268,42mm.

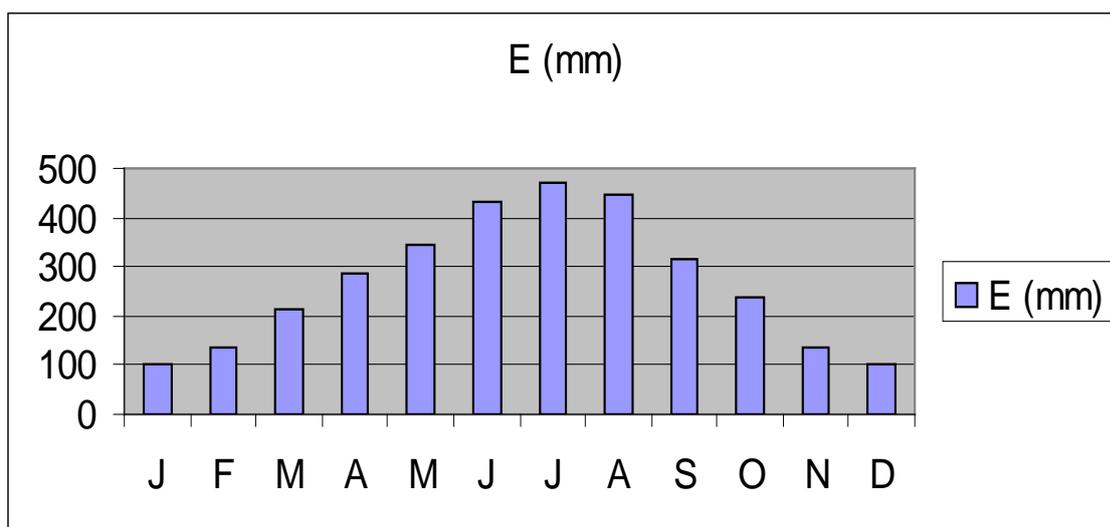


Figure 1.13 : Evaporations moyennes de l'air en mm (Période 1996-2007).

1.3.2.6. Insolation

Tableau 1.7 : Durées d'insolations mensuelles en heures (Période 1996-2007).

Mois	Jan.	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moy.	246,9	234,25	268,33	277,75	275,5	305,58	311,75	319,09	253,54	259,72	239,81	198

La radiation solaire est considérable à Ouargla, car l'atmosphère présente une grande période de pureté durant toute l'année (TOUTAIN, 1979). La durée moyenne annuelle d'insolation est de 265,81 h/mois, avec un minimum de 198 h/mois de décembre et un maximum de 319,09 h/mois en juillet.

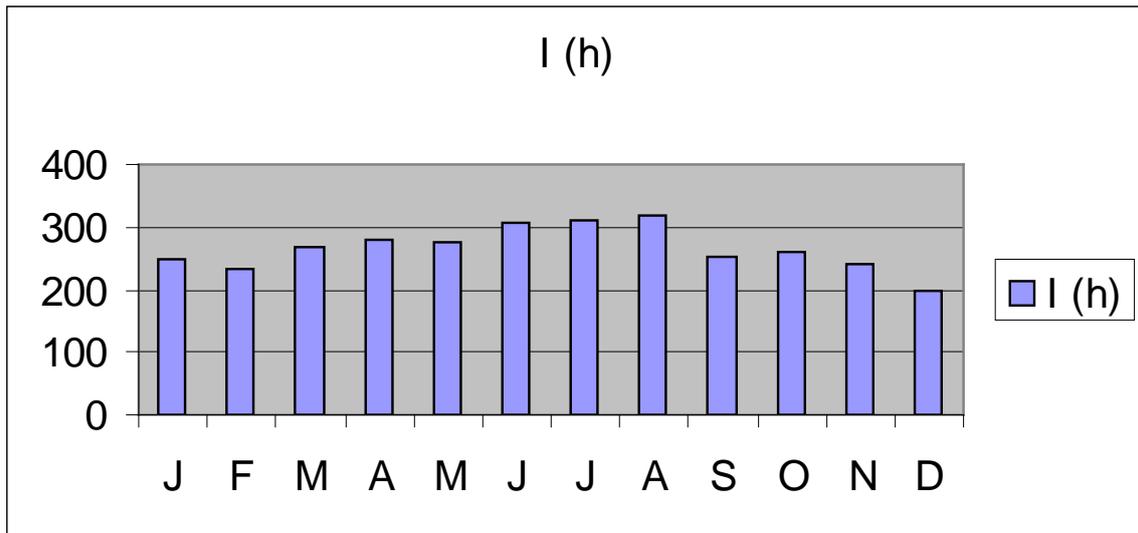


Figure 1.14 : Durées d'insolations mensuelles en heures (Période 1996-2007).

1.3.2.7. Synthèse climatique

Nous synthétisons les données climatiques, en les présentant à travers un diagramme Ombrothermique de GAUSSEN afin d'en définir la période sèche et un climagramme d'EMBERGER pour situer Ouargla dans son étage bioclimatique.

1.3.2.7.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Il est imaginé par GAUSSEN; il consiste à placer en abscisses les mois de l'année et en ordonnées à gauche, les températures et à droite les précipitations avec l'échelle $1^{\circ}\text{C} = 2\text{mm}$ de précipitation. Le diagramme Ombrothermique est utilisé pour mettre en évidence l'importance de la période sèche, en utilisant la moyenne des précipitations et de la température mensuelle selon l'échelle $\mathbf{P} = 2\mathbf{T}$.

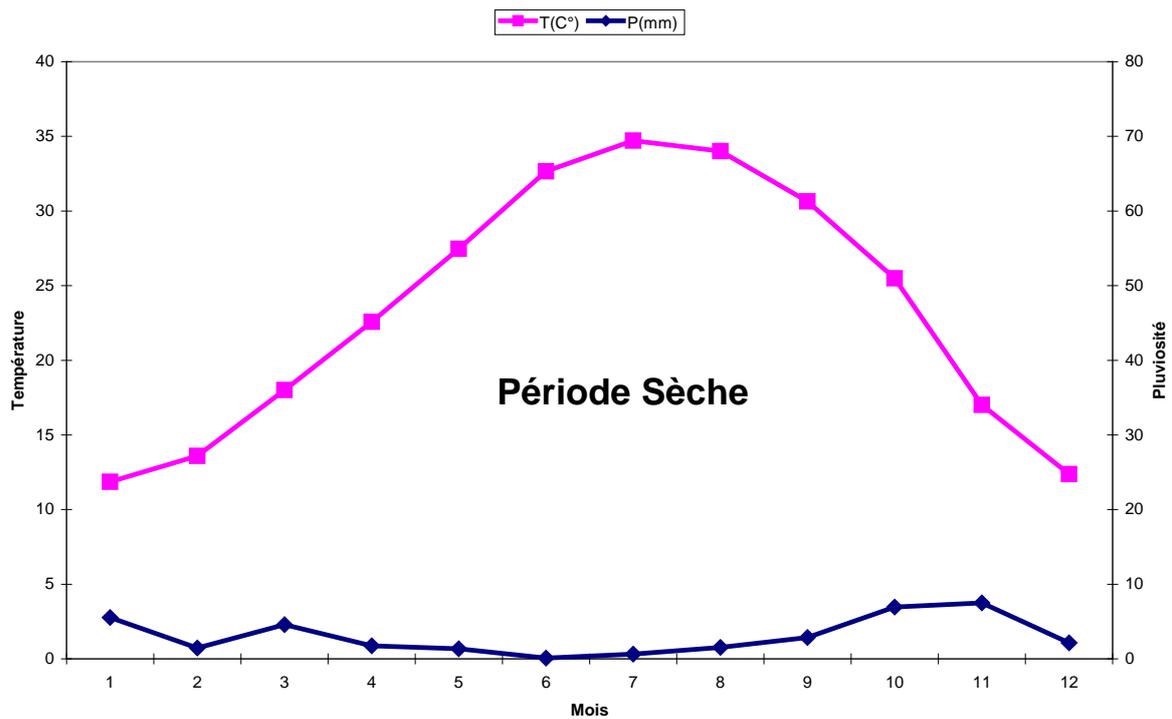


Figure 1.15 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région d'Ouargla.

1.3.2.7.2. Climagramme d'Emberger

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, il est représenté

- En abscisse, par la moyenne des minima du mois le plus froid.
- En ordonnées, par le quotient pluviométrique (Q₂) d'EMBERGER (1933).

Nous avons utilisé la formule de Stewart (1969), adoptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q_2 = 3,43 \cdot P / (M - m) \quad (1.1)$$

Q₂ : Quotient thermique d'EMBERGER.

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : Température maximale du mois le plus chaud en mm.

m : Température minimale du mois le plus froid en mm.

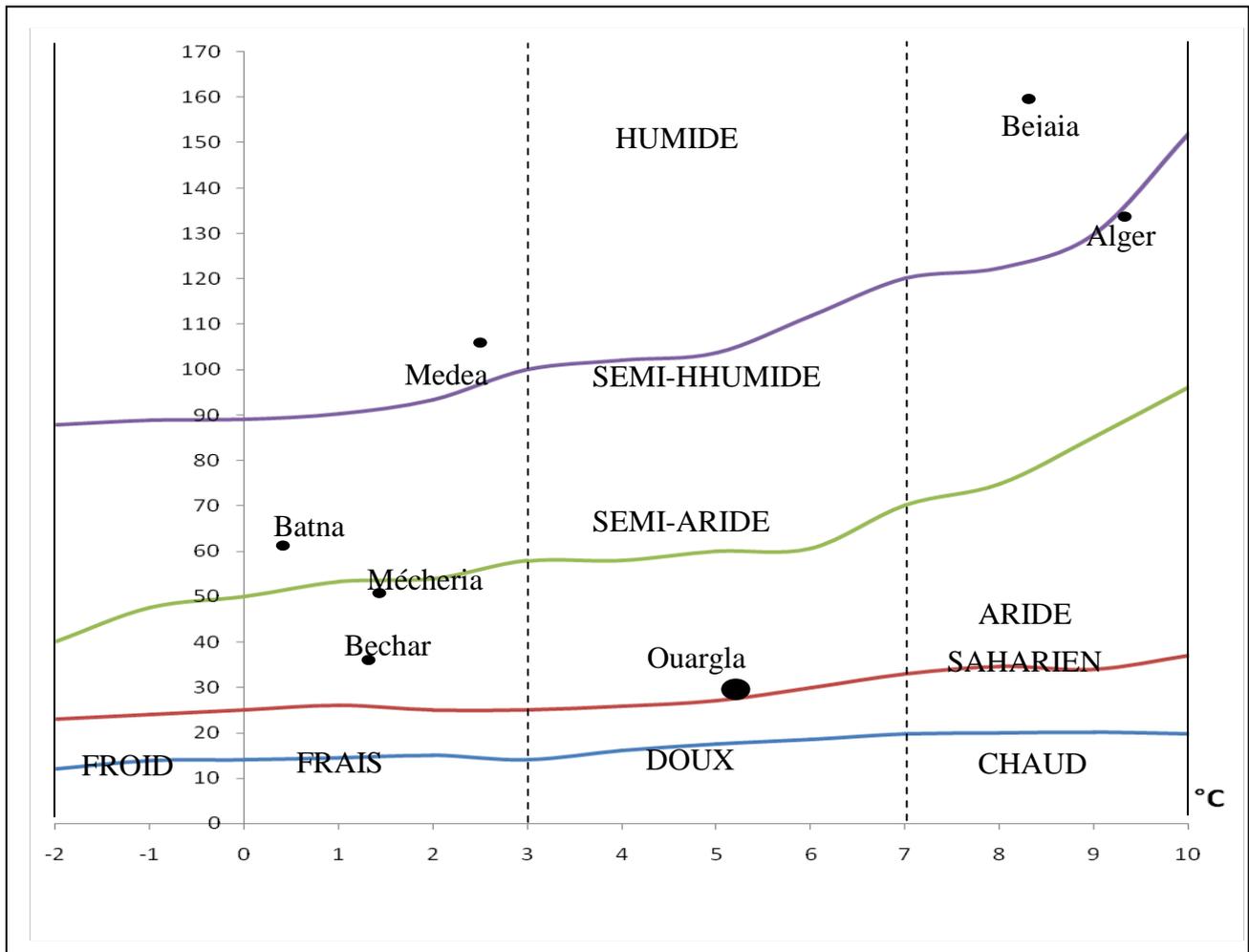


Figure 1.16 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS (1957).

D'après la Figure 16, le quotient thermique (Q_2) de la région d'Ouargla est égal à 3,25 ce qui la place dans l'étage bioclimatique saharien, à hiver doux.

1.4. CADRE GEOLOGIQUE

1.4.1. Cadre géologique local : (Figure 1.17)

1.4.1.1. Introduction

Dans la région d'Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes).

1.4.1.2. Lithostratigraphie

Dans ce qui suit, il n'y a pas d'affleurements, mais des informations fournies par les sondages hydrogéologiques ou pétroliers...

a- Le Barrémien :

Reconnu à partir de 1500 m, Il présente une alternance de grès et d'argiles, avec des intercalations calcairo-dolomitiques.

b- L'Aptien :

Il est constitué par la "barre aptienne" dans la région, qui est formée de marnes dolomitiques, grises, vertes, brunes ou blanches et de dolomies cristallines. Son épaisseur est variable, elle est généralement inférieure à 50 m.

c- L'Albien :

Il correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire; Ce sont des grès, argiles et sables (Figure 1.18).

L'épaisseur de ces formations est variable (>400 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90 %) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois des intercalations de sables grossiers à limons argileux ou carbonatés. On note des passées d'argiles brunes- rougeâtres, elles sont même pélitiques et sableuses dans les puits les plus septentrionaux.

d- Le Vraconien :

L'intercalation albo-cénomaniennne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès de l'Albien et les argiles du Cénomanienn, il est formé de :

- Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques; les épaisseurs y sont de 50 à 100 m;
- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

e- Le Cénomanienn :

Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) :

- La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtres ou grises verdâtres, son épaisseur varie entre 60 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série.

-La série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite et de quelques intercalations dolomitiques; son épaisseur est de l'ordre de 70 m.

f- Le Turonien :

Il se présente sous la forme d'une dalle "*barre Turonienne*" ayant une épaisseur régulière de l'ordre de 70 m. Il s'agit d'une formation essentiellement calcaire : calcaire poreux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique.

g- Le Sénonien :

Il est constitué de deux formations lithologiques superposées

(Figure 18).

- Le *Sénonien lagunaire* à la base qui est constitué par une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomie, d'argile et de sel. Les proportions de ces formations varient d'un point à un autre.

- L'anhydrite forme des bancs qui peuvent atteindre 250 m.

- La dolomie constitue parfois des barres d'environ 60 m.

- Les niveaux d'argile et de marne ne dépassent généralement pas 120 m d'épaisseur.

- Le *Sénonien carbonaté* au sommet (200 m environ) : Calcaire blanc, tendre à moyennement dur, parfois crayeux à vacuolaire et passées de marne gris tendre à pâteuse dolomitique.

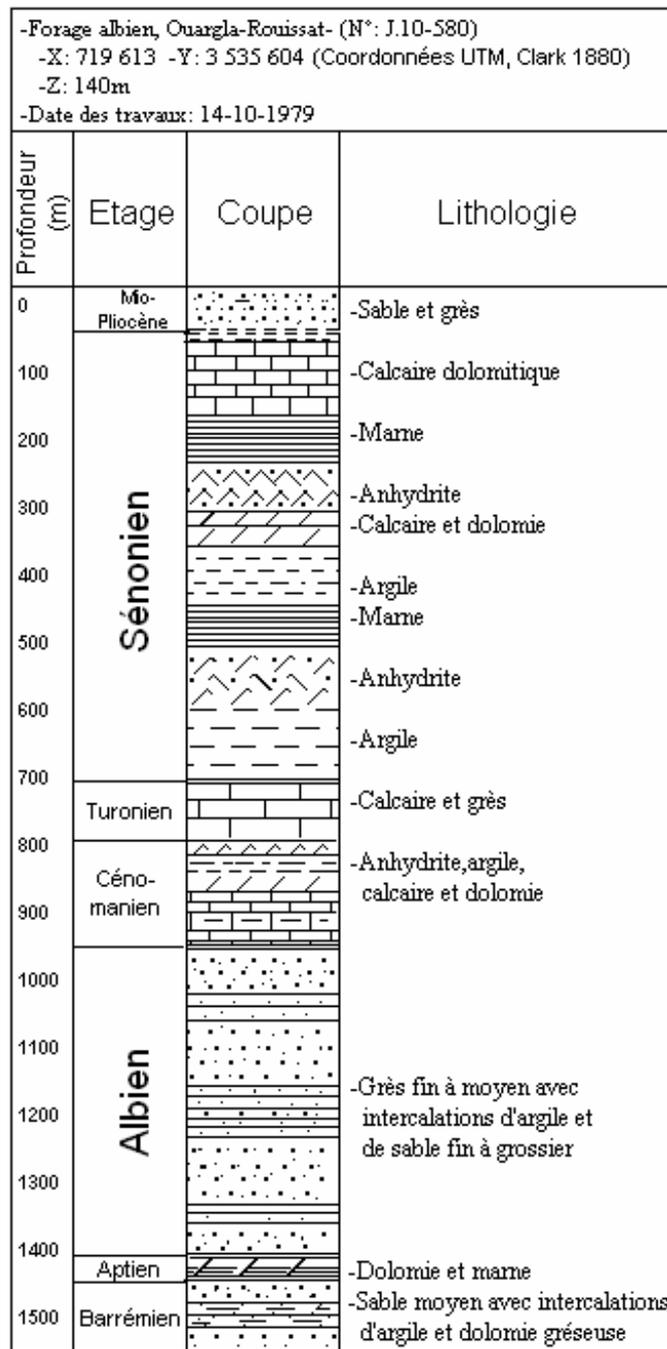


Figure 1. 17 : Colonne stratigraphique du sondage J.10-580

h- Le Sénon-Eocène :

Il est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 et 200 m. Il s'agit de calcaires dolomitiques cristallins ou microcristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux.

i-Le Mio-Pliocène :

Il correspond au Continental Terminal tel qu'il a été défini par Kilian (1931), c'est un puissant ensemble de sables et d'argiles, qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénon-Eocène. On distingue successivement quatre niveaux dans le Mio-Pliocène à Ouargla (Figure 1.18) qui sont du bas vers le haut :

- Un dépôt argileux peu épais (<10 m) qui, dans la partie centrale de la cuvette, recouvre le Sénono-Eocène selon une bande Nord-Sud;
- Un niveau grés-sableux devenant argileux vers le sommet, il s'agit du niveau le plus épais (>30 m) et le plus constant;
- Un niveau argilo-sableux dont les limites inférieure et Supérieure sont assez mal définies. Cette couche n'apparaît que dans Certains endroits;
- Un niveau très épais (30 m) dans la zone des chotts, son sommet affleurant sur de grandes surfaces est souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne).

j- Le Quaternaire :

À la base, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Le niveau le plus superficiel est constitué de sable éolien parfois gypseux et de produits de remaniement des terrains du Mio-pliocène.

Les sondages superficiels effectués dans différentes localités de la cuvette, ont permis de rencontrer les ensembles suivants :

- Sur le plateau, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du Mio-pliocène, c'est le sol le plus pauvre en gypse dans la région. À 10 m de profondeur, il ne présente aucun niveau d'encroûtement. En surface, entre 20 et 70 cm de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers ;
- Sur les chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de nebkas associés à une végétation gypso-halophiles. De 10 à 20 cm de profondeur, on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. Plus en dessous, un tuf présente une teneur de gypse décroissante.

D'après les cartes géologiques de l'Algérie, il est constaté que la région d'Ouargla est constituée géologiquement par des formations sédimentaires qui occupent les dépressions de la région :

- Dunes récentes : ce sont des dépôts sableux qui ont été déposés dans la vallée d'Ouargla ou on les rencontre uniquement au Nord- Est et au Sud- Est près du lit de l'Oued M'ya.

- Poudingues calcaires : ce sont des formations importantes de plus de 250m. Elles reposent sur des schistes, leurs parties supérieures passent à des grés riches en fossiles.
- Alluvions actuelles (lacs et chotts) : ce sont des formations récentes qui occupent les dépressions de la vallée d'Ouargla (partie Nord).
- Alluvions des regs : ce sont des formations caillouteuses ou le pourcentage de cailloux est dominant, ces formations occupent la partie Nord-Ouest et Sud-Ouest. (BOUTMEDJET, 2004).

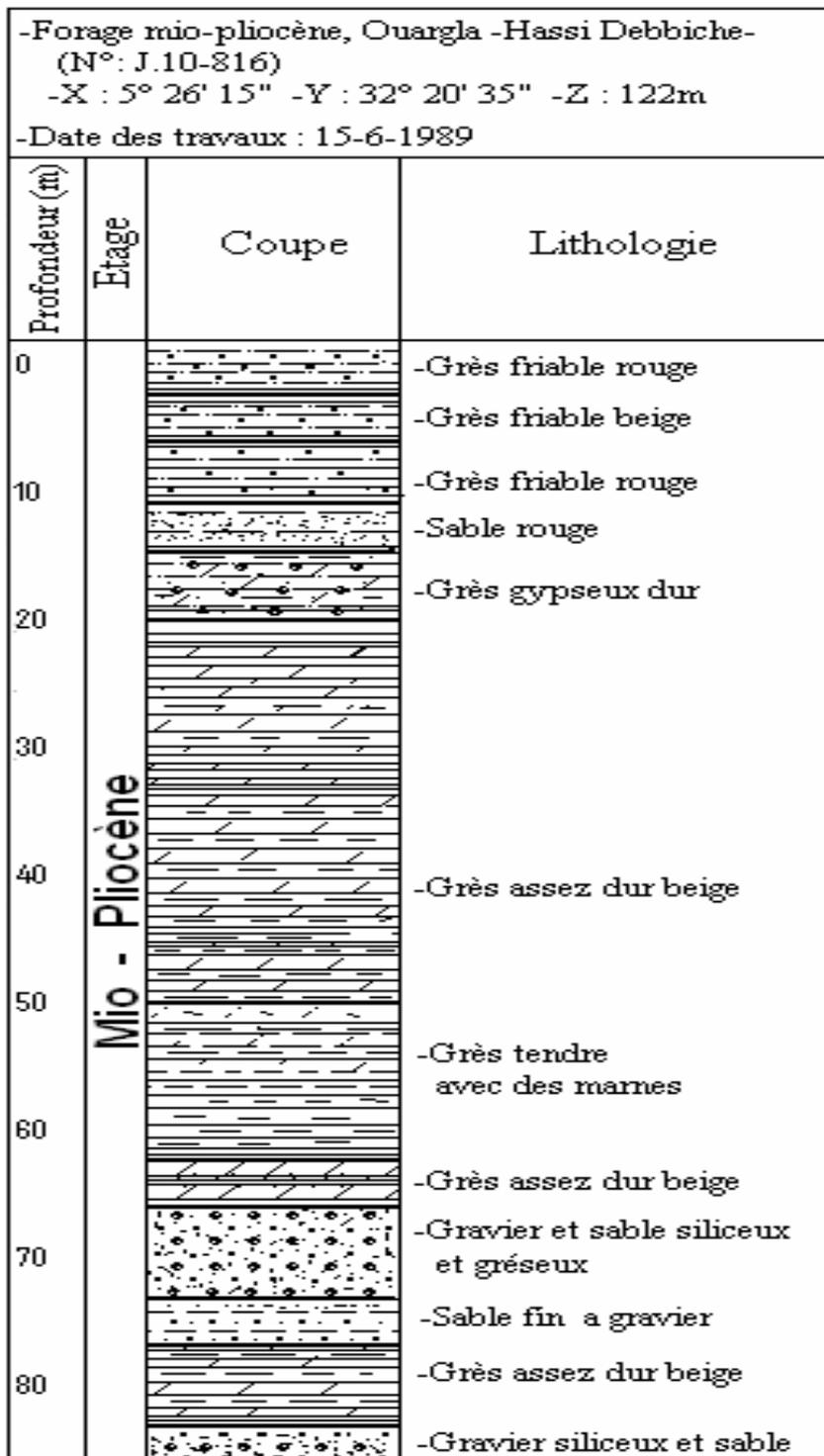


Figure 1. 18 : Colonne stratigraphique du sondage J.10-816.

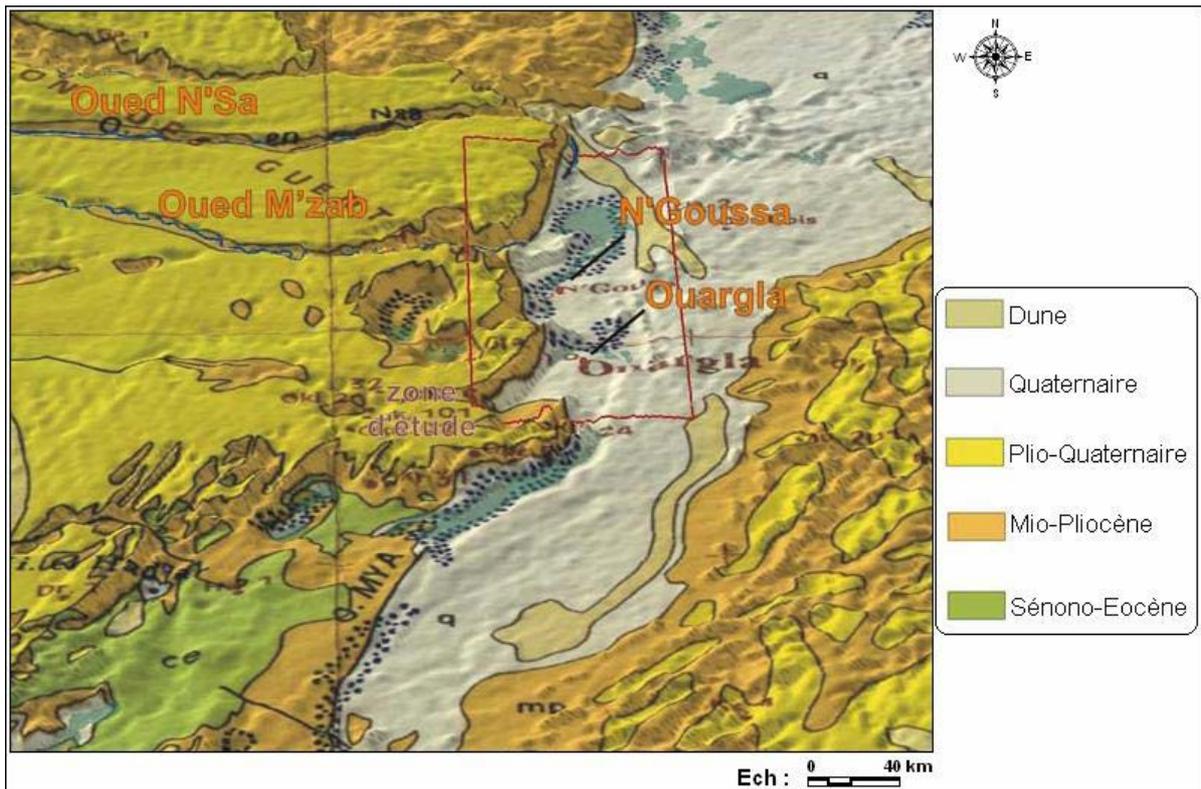
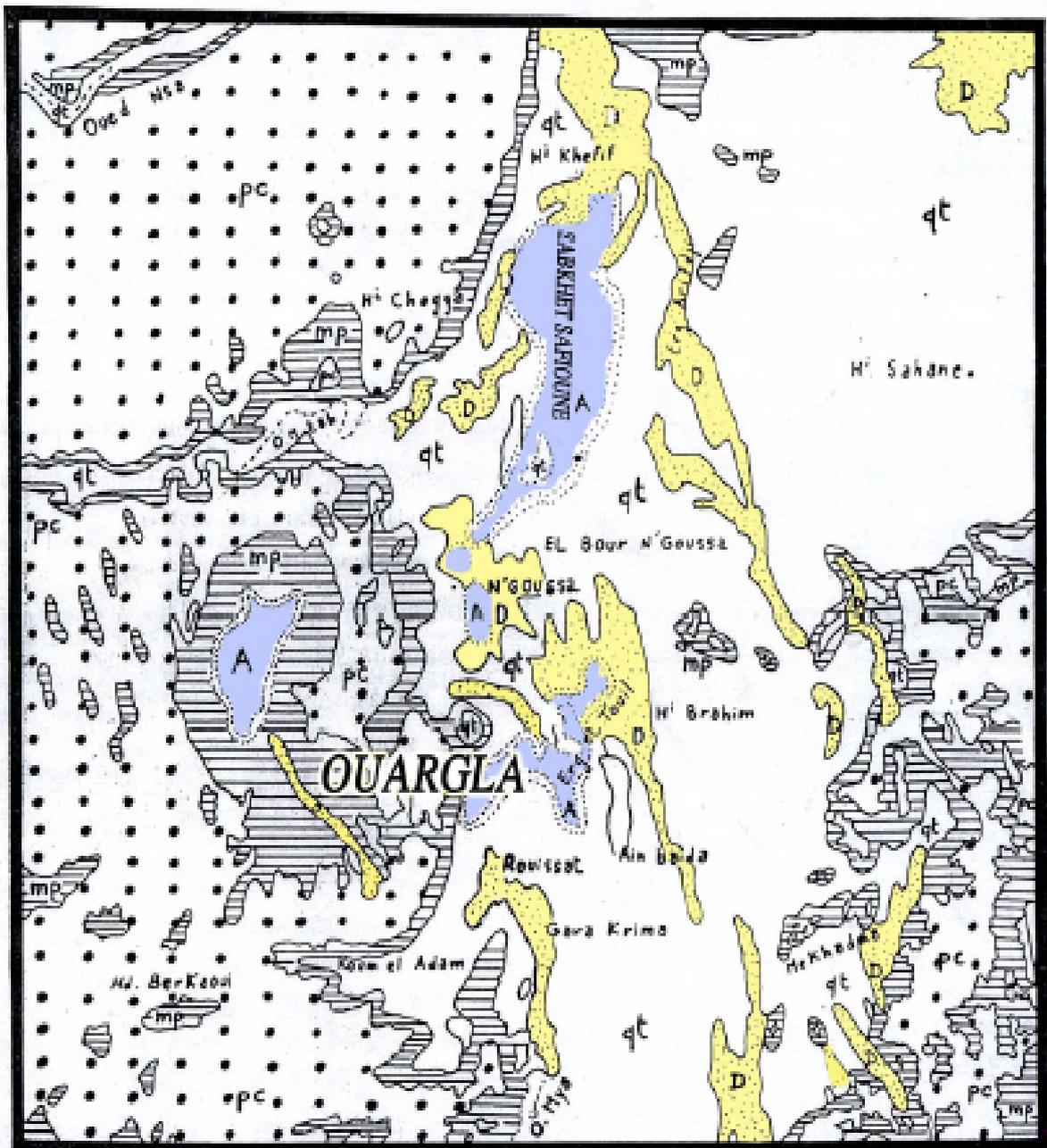


Figure 1.19 : Carte géologique locale

(Source: BG " Bureau d'étude suisse, " Bonnard Gardel Ingénieurs conseils SA – Avenue de Cour 61 – Case postale 241 –CH- 1001 Lausanne", 2004)



Carte N°06 : Carte géologique de la région de Ouargla.
(FABER, 1960 in ABDERRAHMANE, 1997. A.N.R.H)

-  Alluvions actuelles : Chott, sebknas, croûtes gypso-salines
-  Dunes récentes
-  Quaternaire Continental : Sable, regs, terrasses
-  Pliocène Continental : Poudingues, calcaires lacustres
-  Mio-Pliocène : Sable-gréseux

Figure 1.20 : Carte géologique de la région d'Ouargla.

1.4.2. Ressources hydriques

Dans le Sahara les lits d'Oued recèlent quelques nappes phréatiques souvent saumâtres : Ghir, M'Zab, Saoura, etc., sinon se sont des nappes profondes semi -fossiles ou fossiles comme celle de l'Albien et qui sont très peu utilisées (ARRUS, 1985).

1.4.2.1. Hydrographie

Le réseau hydrographique qui abouti à la sebkha Safloune, au Nord de la cuvette d'Ouargla. Parmi les oueds les plus importants on peut citer: oued M'ya, oued N'sa et oued M'Zab. (Figure 23)

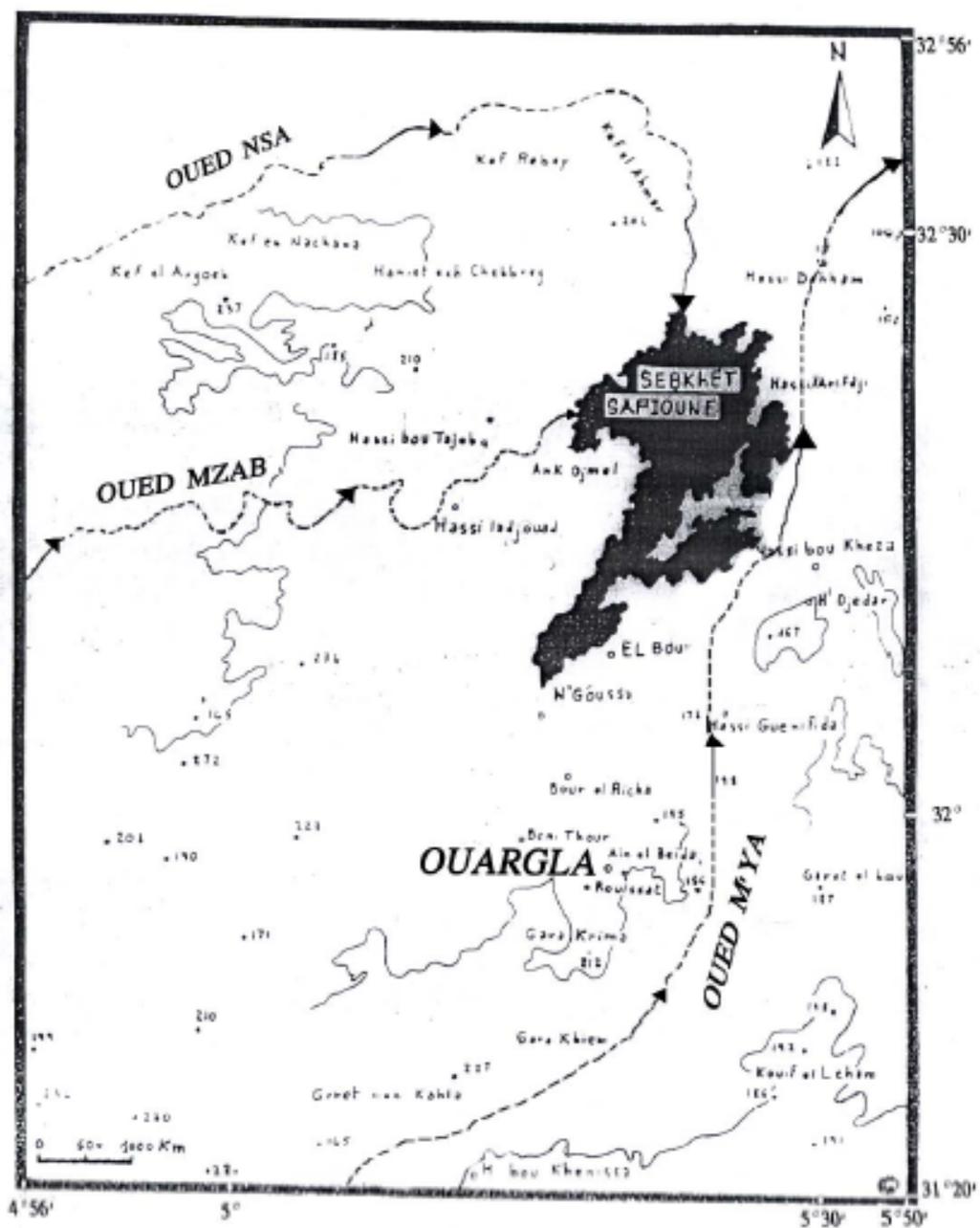


Figure 1.21 : Le réseau hydrographique de la région d'Ouargla, (ANRH, 1997)

1.4.2.2. Oued M'ya

Au sud de l'Oued May, créant dans le temps la grande ligne de talweg de la région de Tadmit, travers en long la cuvette et s'achemine vers la vallée de l'Oued Righ en passant par Chegga pour aboutir à la zone des chotts (chott Melghir) (KHELAF, 1996).

La wilaya d'Ouargla, qui occupe sur une soixantaine de kilomètres le lit quaternaire de l'Oued M'ya, depuis les ruines de Sedrata au sud jusqu'à Hassi Khefif au nord. Son cadre naturel est très bien délimité dans le paysage. L'Oued M'ya draine tout le versant nord-est du Tademaït et sa vallée suit une direction générale SSW-NNE pour se terminer dans la Sebkhét Safioune. C'est la direction d'ensemble de « l'Oued d'Ouargla », comme l'appellent les nomades, si l'on excepte un tronçon central orienté sud-nord de Bour El Aïcha à N'goussa. L'altitude décroît avec quelques contre-pentes de 150m au sud à 103m au nord. À l'ouest cette vallée est dominée par une haute falaise, (**le Baten**), rebord du plateau des **Ganntra** (altitude 200 à 230 m en moyenne) qui borne l'horizon de façon continue jusqu'aux confluences de l'Oued Mzab et de l'Oued en-N'sa et au-delà tout au long de l'Oued Righ. À l'est la limite est moins nette : le plateau, très fragmenté, ne dépasse pas 160m d'altitude et son rebord disparaît souvent sous les sables : Erg Etouil, Erg Arifidji. Très étroite au sud, à la hauteur de la Gara Krîma, la vallée s'élargit ensuite, passant de 12 à 18 km. Au nord elle est séparée de la cuvette d'El Hadjira, première oasis de l'Oued Righ, par un seuil de 125m d'altitude.

1.4.2.3. Oued N'sa

Au nord de la cuvette se trouve Oued N'sa. Il couvre une superficie de 7800 km². Il débute dans la région de Tilrhemt (Wilayat Laghouat) pour aboutir à sebkha Safioune. Il atteint la cuvette d'Ouargla lorsque la crue est importante. Les périodes de crue de cet oued sont considérables et comptées une fois tous les 3 à 6 ans.

1.4.2.4. Oued M'zab

Il s'étale sur une superficie de 5000 km². Son écoulement de l'Ouest à l'Est aboutissant à sebkhet safloune. Il connaît des écoulements moins importants que le précédent. Et les plus part des crues sont arrêtées par le barrage de M'ZAB.

En note que ces deux Oueds (N'SA et M'ZAB) sont fonctionnels ; ils peuvent avoir une ou deux crues par an. Ils alimentent la nappe phréatique de la région d'Ouargla par un écoulement souterrain; après avoir traversés des sédiments anciens salés alcalinisés.

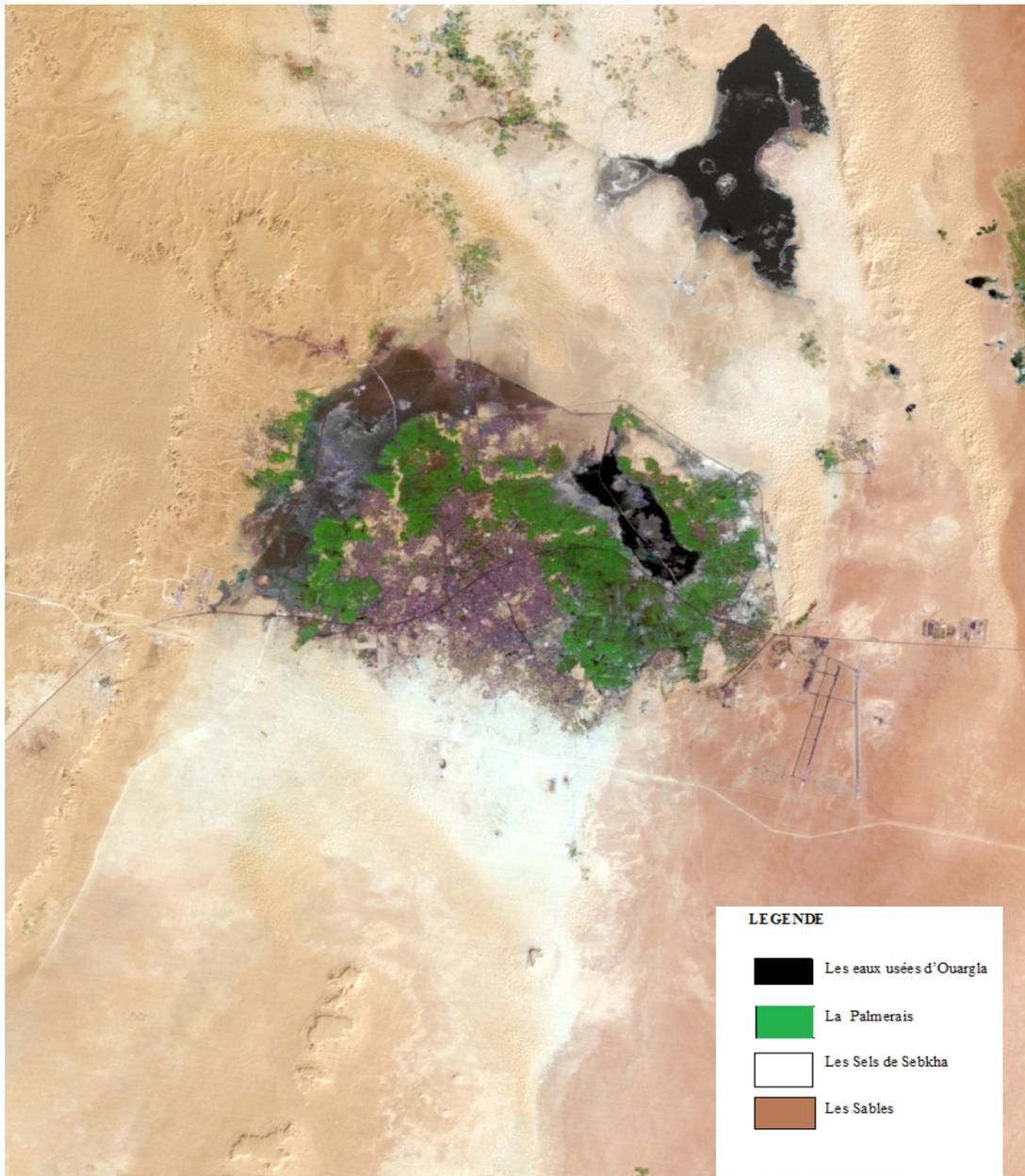


Figure 1.22: Carte de risque de salinisation de la cuvette d'Ouargla

1.5. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

1.5.1. Topographie

Selon (Rouvillos-Brigol, 1975), la pente générale de la vallée est légèrement inférieure à 1%.

Dans les limites de la zone d'Ouargla, on distingue trois paliers de pentes :

- Du pied du Djebel Abbad à la rive de la sebkha de Ouargla, la pente est de 2‰
- Du nord de la sebkha jusqu'à la palmeraie de N'goussa, la pente est régulière, elle est de l'ordre de 1,80‰
- Après le seuil de N'goussa, la topographie devient pratiquement plane jusqu'aux rives de sebkhat Safioune où la pente réduite à 0,60‰.

1.5.2. Tectonique

Les données sismologique recueillies à l'occasion des recherches pétrolières, montrent que la dépression est structurellement affectée par les failles hercyniennes du Hoggar à partir du Cambrien jusqu'au Sénonien inférieur (**Figure 1.29**). Ces failles sont orientées Sud-est Nord-Ouest et traversent la région de Ouargla par l'est. Elles seraient à l'origine des apports profonds dans cette zone (GUENDOUIZ et MOULA, 1995).

La cuvette d'Ouargla fait partie de la dépression d'Oued M'ya. Cette dernière, occupe la plus grande partie du bas-Sahara. L'épaisseur totale de la couverture sédimentaire atteint 400m dans la partie Sud et l'Ouest de la partie dépression d'Oued M'ya est une structure dissymétrique assez plate (ALIEV, 1972).

5.3. Géomorphologie

Selon (ROUVILLOIS-BRIGOL M., 1975), la région d'Ouargla est marquée sur le plan géomorphologique d'Ouest en Est par quatre grands ensembles :

- Les Hamadas (le Plateau)
- Les glacis (buttes ou sommet de la bordure du plateau)
- Les dépressions (dayas, chotts et sebkha)
- Les dunes

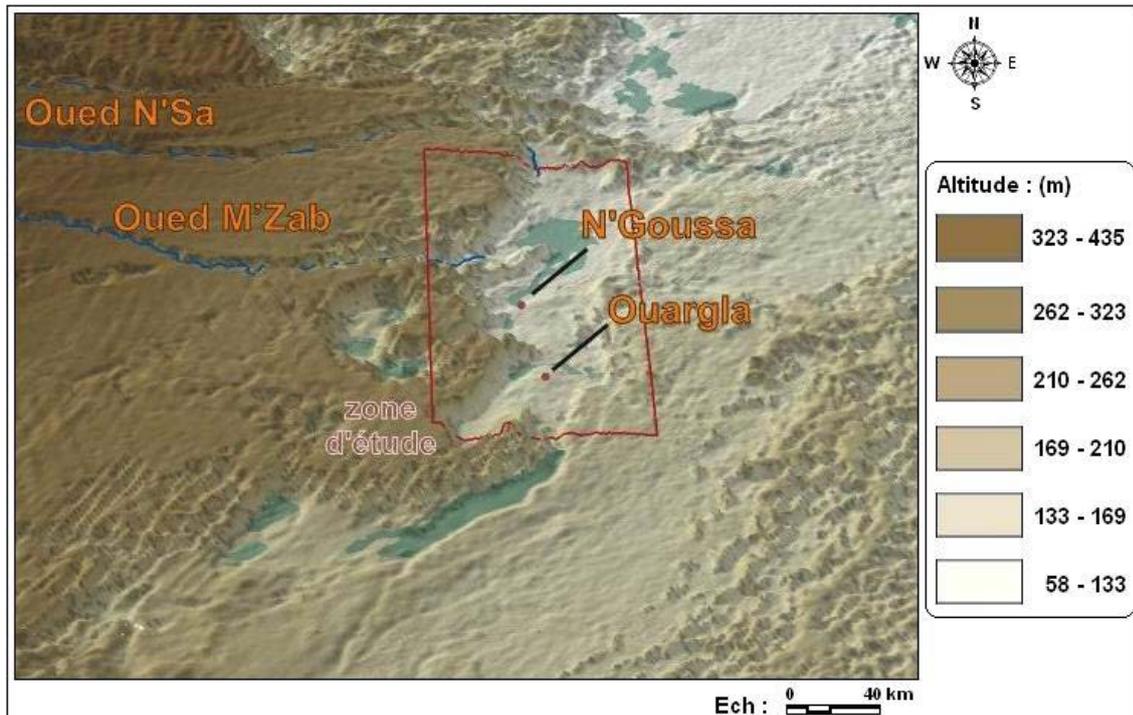


Figure 1.23: Relief de la région d’Ouargla (BG, 2004)

1.5.3.1. *La Hamada (le Plateau)*

A l’ouest d’Ouargla, la vallée est limitée par le plateau de la pliocène (CAPOT-REY ,1952) de 200 à 250m d’altitude, appelé localement «plateau de GANNTRA».

La hamada Mio-Plio-Quaternaire (BELLAOUEUR A., 2008), est un plateau où l’affleurent de grandes dalles rocheuses, est une formation continentale détritique, fortement érodée, laissant une série de buttes témoins (**Goures**).

Il s’abaisse légèrement d’Ouest en Est. Il est interrompu par une vaste dépression ovale de la sebkha Mellala (30km de long, de 6 à 11km de large, 80 à 90m de profondeur) qui s’étend parallèlement à la vallée de l’Oued M’ya.

La dissymétrie de la vallée de l’Oued M’ya est marquée par la présence d’une falaise gréseuse occidentale (le Baten), particulièrement nette et continue avec une pente très abrupte, tandis que la limite orientale est beaucoup plus imprécise.

Ce sont des plateaux rocheux à topographie très monotone, souvent plate à perte de vue (MONOD, 1992).

1.5.3.2. *Les glacis*

Le versant Ouest de la cuvette présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques, le plus ancien découpe en buttes le sommet de la bordure du plateau. Sa couverture très caractéristique est une croûte gypso-calcaire épaisse de 1.5 m dont l’altitude s’abaisse de 225

m à l'Ouest à 200 m environ à l'Est; sa faible extension le rend souvent difficile à distinguer de la surface du plateau de la hamada; c'est à ce niveau qu'il faut rattacher certain Goures de la vallée (djebel abbad, gara krima et bab el-hattabat et les buttes de trois pitons sur la route de Touggourt etc.).

Le second glacis, beaucoup plus visible, est à une altitude de 180 m environ, comme le troisième niveau à 160 m d'altitude, il est caractérisé par l'affleurement du substrat gréseuse de mio-pliocène (Rouvillois-brigol M., 1975) et (Bellaoueur A., 2008), ce dernier est souvent recouvert de sable, gravier gréseux plus ou moins encroûtés de gypse, sa pente est faible

Le glacis de Bamendil (LEGHRIEB A., 2007) est constitué par des terrains gréseux, localement recouverts de sable et de gravier. De par sa position en retrait par rapport à la zone de fluctuation du niveau de la nappe phréatique (entre 135,08 m en ville et 127.95 m entre le chott et la Sebkhha de Ouargla), le glacis de Bamendil offre à priori des conditions favorables pour une extension de l'agglomération d'Ouargla.

La zone centrale de la cuvette, (HLASSA Y., 2007) est représentée par le bas fond limoneux et sableux du lit quaternaire de Oued M'ya, dont la pente faible (1% environ) est à l'origine de la formation d'un chapelet de Sebkhhas (Ouargla, Raneb, Sefioune, N'goussa...) qui alternent avec des accumulations de sables dunaires.

La carte topographique d'Ouargla (échelle 1 /100.000e) montre que l'altitude qui atteint 147 m peut descendre à 102 m sur une distance de 45 km dans la Sebkhha Sefioune où est prévue l'évacuation des rejets d'eaux de la ville de Ouargla.

L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial sableux situé à 150 m d'altitude (cartes topographiques d'Ouargla et Sidi Khouiled).

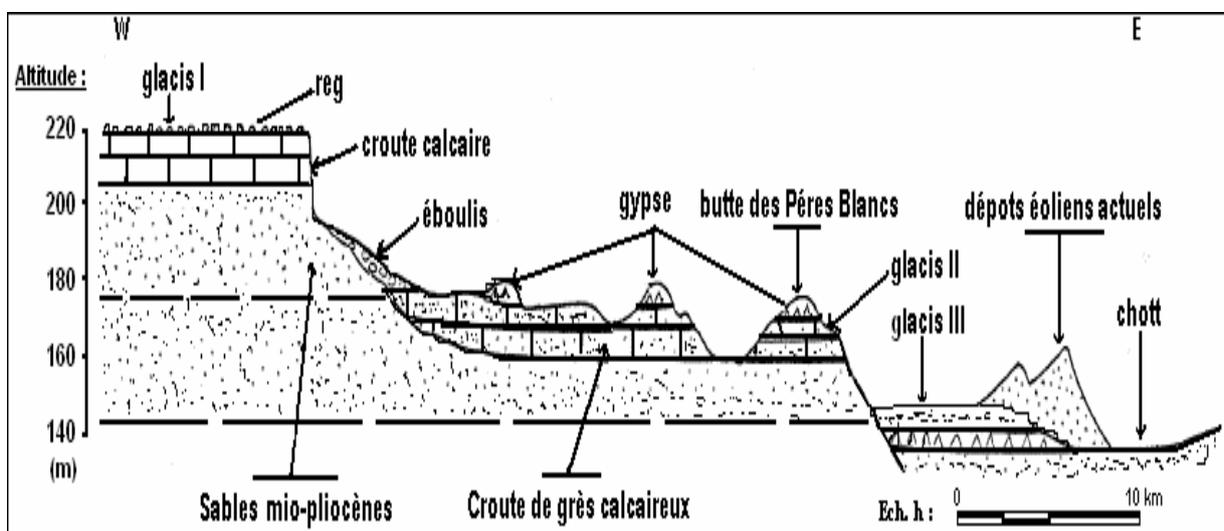


Figure 1.24 : Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette d'Ouargla (d'après Lelievre, 1969).

1.5.3.3. Les dépressions

1.5.3.3.1. Les dayas

Dans les régions planes des hauts plateaux et du Nord Sahara, on appelle Daya; le point bas d'un bassin fermé. Le terme est plus spécifiquement appliqué aux dépressions de faibles dimensions pouvant varier de un à quelques dizaines d'hectares, que l'on trouve un peu partout en milieu aride ou subaride.

Il s'agit le plus souvent de petites cuvettes plates, nées d'un creux topographique originel, puis exposées à une alternance d'inondation (qui favorise la désagrégation du substrat) et de déflation, qui assurera l'exportation des produits les plus fins (Monod, 1992).

On peut donc considérer les Dayas comme des points bas recevant encore actuellement de grandes quantités d'eau qui s'infiltrent assez rapidement dans les formations géologiques sous-jacentes; ces eaux contiennent des particules minérales en suspension constituant un alluvionnement fin, à base de sable et limons principalement. Elles offrent ainsi le caractère de sédiments récents et actuels reposant sur un substrat perméable (Dutil, 1960).

1.5.3.3.2. Les lits d'Oueds

Les oueds sont des cours d'eau à écoulement visible temporaire. La majorité du temps, ils sont à sec; en profondeur des poches d'eau durables peuvent persister. Des crues violentes peuvent parfois se produire surtout dans les massifs montagneux. La partie amont naît du rassemblement de chenaux de ruissellement, la partie médiane forme un lit large et dont les limites sont parfois difficiles à reconnaître en plaine et la partie aval peut se diviser en plusieurs bras sur un cône étendu d'alluvions. C'est le long des oueds qu'on observe les seules formations arborées un peu denses dans le Sahara. Les précipitations y sont très faibles (environ 5mm par an).

1.5.3.3.3. Les Sebkhha et les Chotts

1.5.3.3.3.1. La Sebkhha

La sebkhha est un terme arabe utilisé pour désigner une dépression fermée submergée d'eau salée en hiver, desséchée et couverte d'efflorescences salines en été à celle ne reçoit pas de cours d'eau importants: la salure provient soit de l'évaporation des eaux qui se sont plus ou moins chargées de sel par ruissellement sur des affleurement salifères, soit de la présence de

terrains salés dans la dépression elle-même où les eaux se salent avant de disparaître⁴, soit encore d'infiltration sous terre. Lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhas (Monod, 1992).

Au Nord de la ville de Ouargla (136 m d'altitude), diverses sebkas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à la sebkha Safioune (103m d'altitude). La Sebkha d'Ouargla, est séparée des sebkhas de l'oued Mya par un groupe d'avant buttes auquel appartient la Gara Krima (voir Figure 1.21). Le fond de la dépression qui entoure une éminence portant la ville et la palmeraie, présente trois aspects différents; l'essentiel de la surface est occupé par des sols salés, non inondables passant à l'Est à des sols salés encroûtés; seuls les deux extrémités fonctionnent comme une sebkha (Aumassip et al. 1972).

Ainsi si la sebkha de Ouargla fonctionne partiellement c'est grâce à l'intervention de l'homme qui en suralimentant la nappe phréatique a provoqué une remontée de son niveau. Au néolithique cependant, la sebkha de Ouargla a fonctionné naturellement (Aumassip et al. 1972).

1.5.3.3.2. *Le Chott*

Le Chott (On trouve aussi quelquefois l'orthographe chotte, au féminin) est une dépression souvent plus étendue, et bordure de falaise dans laquelle aboutissent des cours d'eau; il peut être partiellement ou totalement desséché pendant les mois sans pluie; le sol en est souvent fluide même en été; parfois le terme chott est utilisé pour désigner les rives des sebkhas, moins salées que la dépression elle-même et généralement enherbées.

1.5.3.3.4. *Dunes*

Ce sont des formations éoliennes récentes d'origine provenant de la Hamada Mio-Pliocène, en petits cordons d'environ 150 m d'altitude, elles occupent la partie Est et le Sud de la cuvette, et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'Oued M'ya, elles envahissent aussi les talwegs et les versants rocheux.

1.6. L'HYDROGEOLOGIE

Au Sahara septentrional, le bassin sédimentaire (Idder, 1998) constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780 000 Km², avec un maximum d'épaisseur de 4000 à 5000 m (Castany, 1982). Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une

⁴ C'est la définition donnée par (Lozet et C, 1990), par le dictionnaire de science du sol.

vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Le domaine du SASS (Système Aquifère du Sahara Septentrional) couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouvent en Algérie, 24 % en Libye et 6 % en Tunisie (FIGURE 25) et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées « chotts et sebkhas » et le plateau de la Hamada El Hamra.

Selon (Latrech, 1997), ce grand bassin comporte deux vastes aquifères profonds et superposés, relativement indépendants en Algérie, qui sont :

1.6.1. Continental intercalaire (CI)

Le terme « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- À la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne;
- Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

La formation du "CI" est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche dont la profondeur atteint localement 2000 m et dont la puissance varie entre 200 et 400 m, à Ouargla, il est exploité entre 1 150 m et 1 350 m (Bellaoueur A, 2008) de profondeur.

A Ouargla, elle est située entre 1000 et 1500 m. La wilaya d'Ouargla recèle des potentialités en eau souterraines, estimées à 2381.5 Hm³/an (Boutmedjet, 2004).

Au Nord-Est de la dorsale de M'Zab, le toit de l'aquifère, constitué d'argile et d'évaporites du cénomanien est continu, sur tout le bassin (Unesco, 1970).

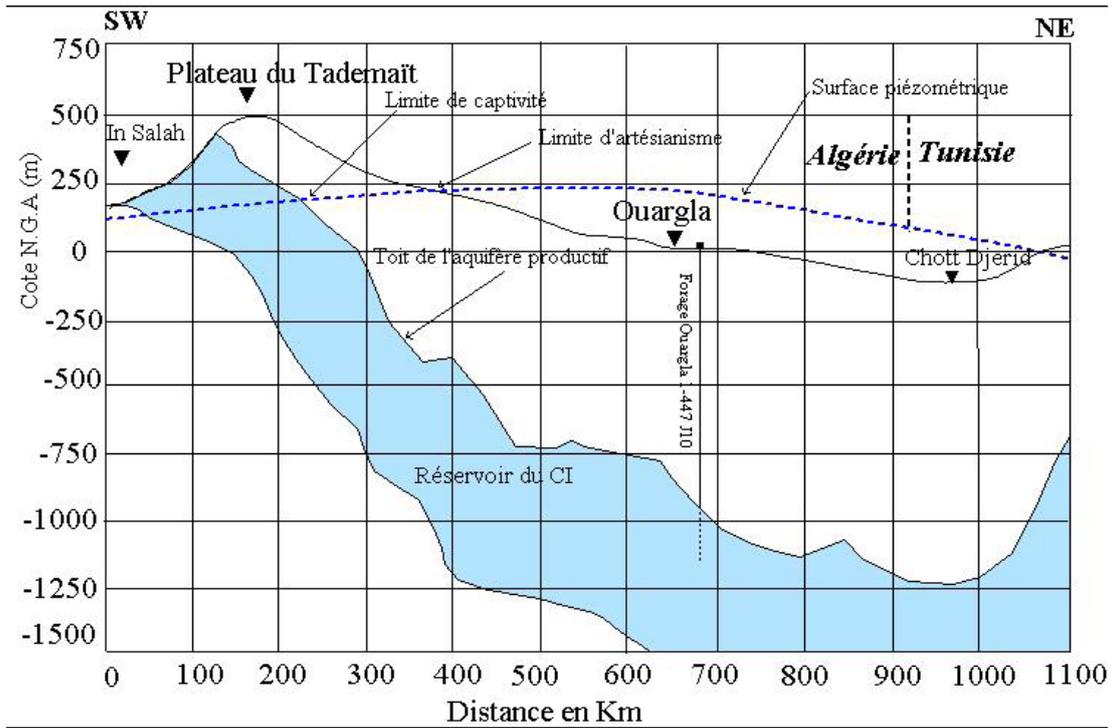


Figure 1.25: Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)

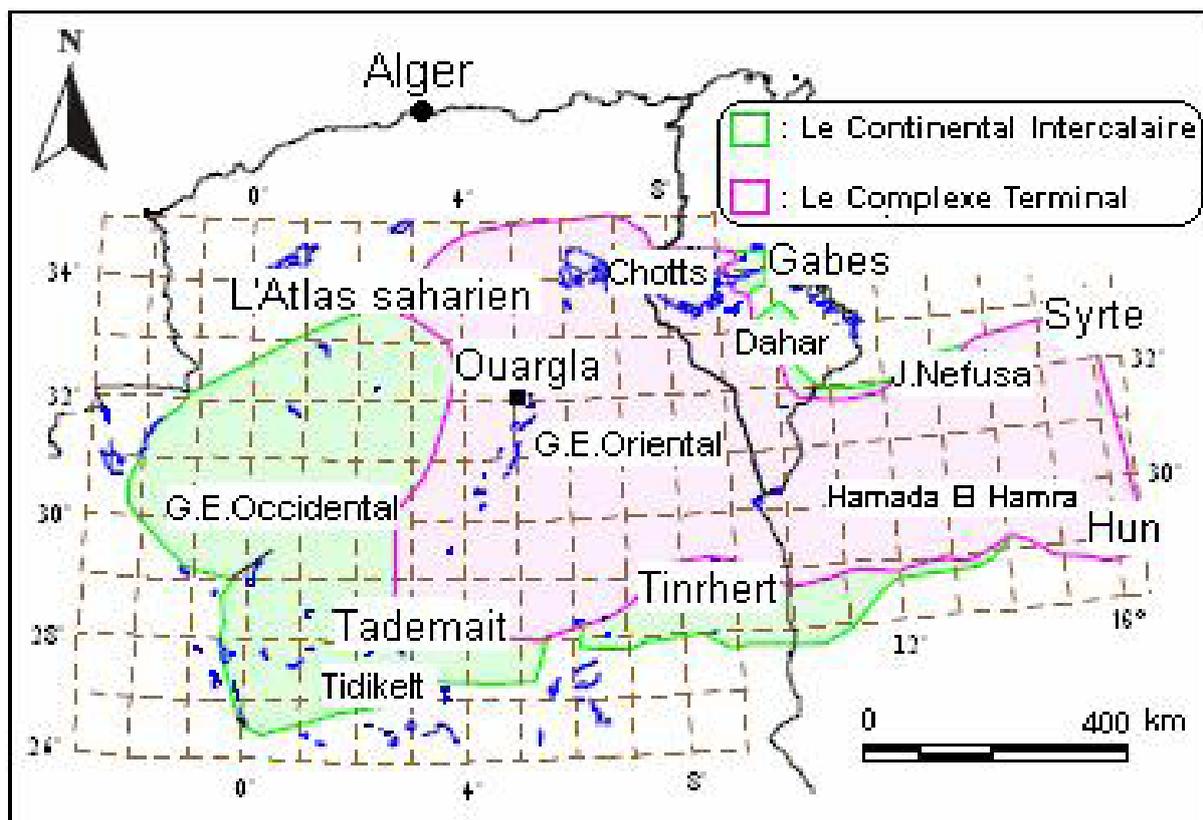


Figure 1.26 : Délimitation du "SASS" (OSS, 2003)

Cette nappe est selon ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), s'écoule du sud vers le Nord suivant la pente de la vallée, sa profondeur varie de 1 à 8 m en fonction du lieu et de la saison.

Les eaux de la nappe sont hyper-chargées en sels (50 g/l), soit une salinité moyenne de 32.27dS/m, à faciès chimique chloruré sulfaté (HAMDI AISSA ,2001).

Elle est essentiellement alimentée par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux urbaines (IDDER, 1998).

1.6.2. Complexe terminal (CT)

Le Complexe Terminal (CT), au sommet, est plus hétérogène, il comprend Les nappes suivantes citées de haut en bas :

a) La nappe phréatique;

Cette nappe est selon Rouvillois-Brigol (1975), s'écoule du sud vers le Nord suivant la pente de la vallée, sa profondeur varie de 1 à 8 m en fonction du lieu et de la saison.

Les eaux de la nappe sont hyper-chargées en sels (50 g/l), soit une salinité moyenne de 32.27dS/m, à faciès chimique chloruré sulfaté (Hamdi Aissa ,2001).

Elle est essentiellement alimentée par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux urbaines (IDDER, 1998).

b) La nappe du mio-pliocène;

Dite nappe des sables, elle fut à l'origine des palmeraies irriguées, elle s'écoule du sud sud-ouest vers le nord- Est, en direction du chott Melghir (Zergoun, 1997). La salinité de cette nappe varie de 1.8 à 4.6 g/l. (Boutmedjet, 2004).

c) La nappe du sénono-éocène;

Elle est peu exploitée, vu son faible débit, sa profondeur d'exploitation varie entre 140 à 200m (Rouvillois- Brigol, 1975).

d) La nappe du turonien.

Les potentialités du Sahara algérien en termes de ressources⁵ en eau, sont évaluées à 5 milliards de m³.

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970; Fabre, 1976).

Il est noté dans l'étude OSS 2003 b (Observation du Sahara et du Sahel) que classiquement, et selon la définition de (Kilian, 1931), le terme «*Continental Terminal* » désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Mio-Pliocène. Mais d'après (Bel et Demargne, 1966) « *La nappe du Continental Terminal* contenue dans les sables du Mio-Pliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe.

La nappe du Continental Terminal - par opposition au Continental Intercalaire ».c'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion de «Complexe Terminal », appellation publiée pour la première fois par (Bel et Cuhe 1969).

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m (Figure 1.28).

Le Complexe Terminal affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens;
- À l'Est, le long du flanc oriental du Dahar;
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït;

⁵

Par l'A.N.R.H (AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRIQUES, 2000).

- À l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab.

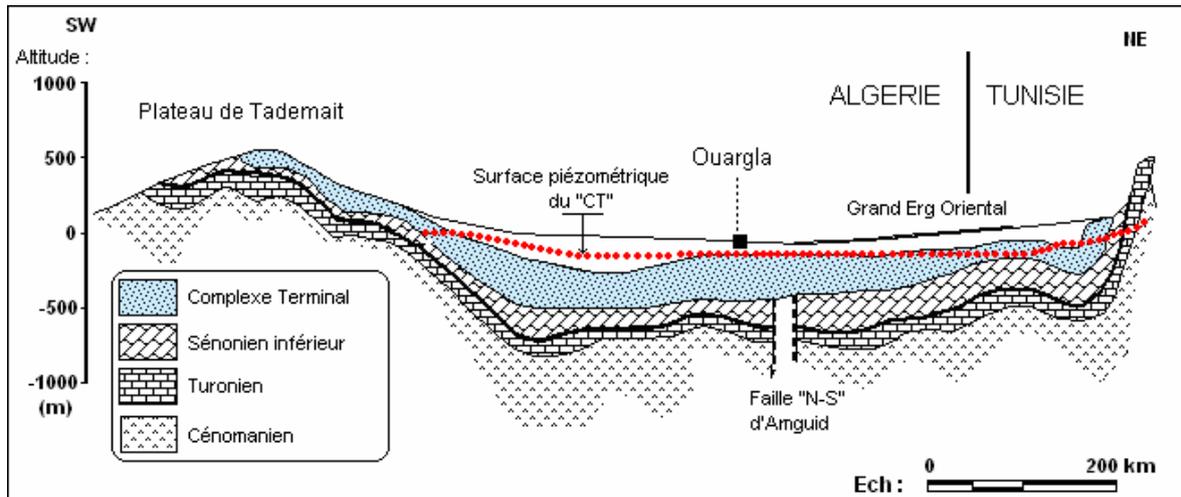


Figure 1.27: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

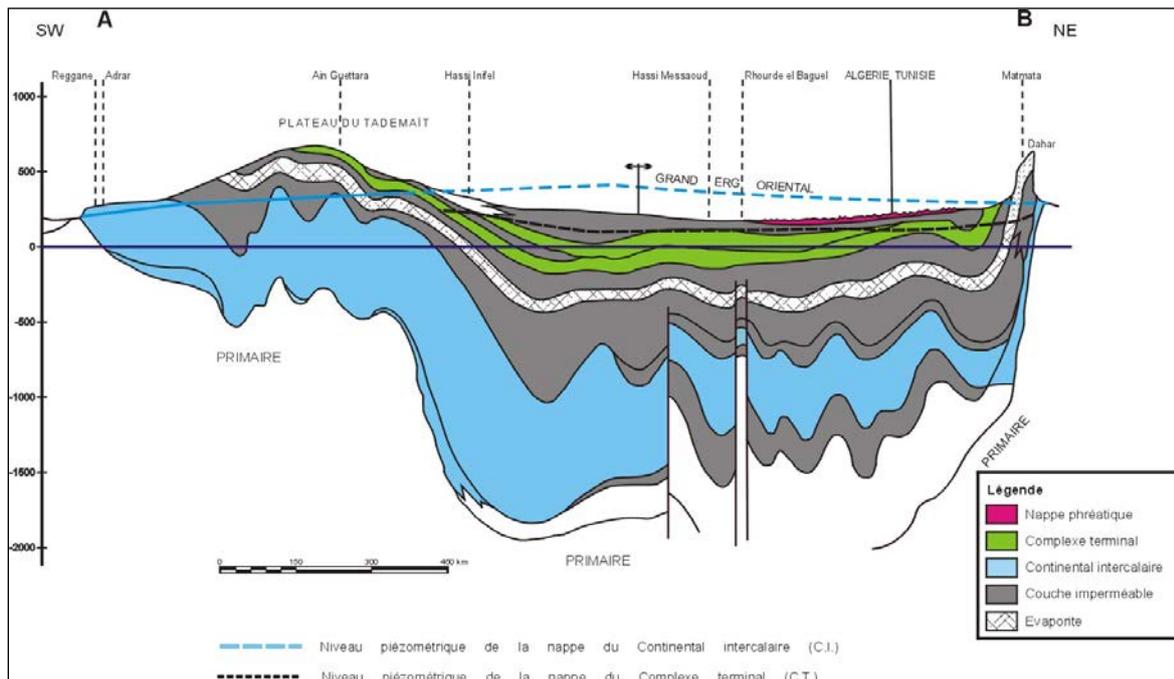


Figure 1.28: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (D'après UNESCO 1972)

1.7. PEDOLOGIE

Les conditions climatiques sont en effet telles, que tous les phénomènes d'altération qui ont pour résultat de transformer l'épaisseur superficielle des terrains à l'affleurement en

une couche meuble bien individualisée, organisée en horizon dotés de leurs caractéristiques physiques propres et d'une activité géochimique ou biochimique originale, sont, au moins aujourd'hui, quasiment inexistantes dans les conditions naturelles.

Faute d'humidité suffisante, les processus fondamentaux de la transformation des roches mères comme l'hydrolyse, la dissolution, l'hydratation, même l'oxydation, sont réduits à leur plus simple expression. L'absence de végétation ou sa rareté font également que ces sols sont dépourvus de matière organique et d'humus, ils sont pour toutes ces raisons sensibles à l'érosion, surtout éolienne. Il convient néanmoins de préciser qu'il n'en a pas toujours été ainsi et qu'il existe au Sahara des paléosols qui se sont constitués à des époques antérieures.

Selon la carte pédologique simplifiée de l'Algérie, Ouargla est située dans une zone où l'on trouve des sols de regs (autochtones, allochtones) et de plaines caillouteuses et sableuses.

Des études détaillées (Leghriebe, 2007) ont été réalisées en 1993 (Gueddachi et Hassi ben Abdallah sur 6300 ha) et en 1996 (Belhirane et Gassi Touil sur 12000 ha) dans des zones où dominent des sols peu évolués d'apport éolien et des sols peu évolués subdésertiques modaux développés sur des roches gréseuses, parfois sur des encroûtements calcaires. Ces sols sont le plus souvent profonds et sont aptes à l'agriculture irriguée, sous réserve de les irriguer en contrôlant l'évolution de leur salinité liée à la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation.

On peut dire que dans la wilaya d'Ouargla, on retrouve pratiquement toutes les classes de sols, leur répartition et leur localisation dépendent des conditions physiques locales:

- Géologie du substratum;
- Morphologie, topographie;
- Régime hydrique;
- Proximité des grands Ergs.

Les sols de la cuvette d'Ouargla, à l'exception de certains sols qui se situent dans la périphérie nord de la région d'Ain Moussa - Bour El Haicha, présentent un caractère fortement salin à très fortement salin, (Halassa Y., 2007) dominé par le chlorure de sodium.

La distribution de la salinité dans le profil pédologique est caractérisée par une augmentation de bas en haut. Les horizons de surface présentent toujours en effet les plus fortes valeurs de la conductivité électrique.

Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une activité biologique faible et une forte salinité.

Dans les régions les plus arides les sols ne peuvent être classés indépendamment de la nature des sels qu'ils renferment et de leur degré d'évolution (HALILAT, 1998).

Dans les parties mal drainées des régions méditerranéennes et arides (cas de la région d'Ouargla et Oued Righ au sud-est algérien) alimentées par des eaux ayant traversé des sédiments anciens salés, on trouvera surtout des sols chlorurés sodiques, rarement alcalinisés. La couverture pédologique (HALILAT, 1998) des sols sahariens selon la classification française (CPCS, 1967) présente une grande hétérogénéité et se compose de principales classes décrites dans le tableau 1.7.

Tableau 1.8 : les principaux sols au Sahara Algérien

classes	Sous classes
Sols minéraux bruts	<ul style="list-style-type: none"> - Lithosols ou formations rocheuses - Sols minéraux bruts d'ablation ou regs - Sols minéraux bruts d'apport
Sols peu évolués	<ul style="list-style-type: none"> - Sols des dayas - Sols des buttes à Tamarix - Sols des Oasis
Sols halomorphes	<ul style="list-style-type: none"> - Sols salés - Sols sodiques - Sols salsodiques
Les paléosols	<ul style="list-style-type: none"> - Les paléosols peu évolués - Les paléosols calcimagnésiques - Les paléosols halomorphes

CHAPITRE 2 : LES SABLES

2.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons aborder les sables d'une manière générale et plus particulièrement le sable de Ouargla: définition ; échantillonnage et caractérisation.

2.2. MATERIAUX GRANULAIRES

La famille des matériaux granulaires est proprement vaste ; s'y trouvent rassemblés sous le même vocable tous les matériaux indépendants (grains non liés) les uns des autres Appelés « matériaux divisés ».

Peu importe que ces grains soit:

- de verre ou de métal ;
- petit (comme le sable). ou gros (comme les boules) ;
- rugueux ou lisse ;
- légers ou lourds ;
- conducteurs ou isolants...

Exemples : le riz, le sable, le sucre, le gravier, le ciment. ..

Tableau 2.1: Classement des granulats minéraux.⁶

Nom de la Particule	Diamètre (mm)	Sédiment	Roche Sédimentaire
Bloc	>200	Blocs à Gravier	Conglomérat
Galet	2 à 200	Gravier	Conglomérat
Sable	0.062 à 2	Sable	Grés, arkose
Silt	0.005 à 0.0062	Silt	Shale
argile	< 0.005	argile	Argilite (schiste)

Ces matériaux divisés partagent un bon nombre de propriétés physiques et mécaniques. Ils sont à mi-chemin entre fluides-solides.

⁶ (جغرافية الصخور والمعادن) لمحمود مصطفى 84 ط.اولى 2006 عمان-الاردن

TRADUCTION :

(Géographie des roches et minéraux), MAHMOUD MOSTAPHA, 84 , première édition 2006 Amman - Jordanie,

Tableau 2.2: Etat physique des sables (D'après : LEGHRIEB. Youcef)

	L'AIR	L'EAU	LE SABLE	GRANITE
VOLUME	<i>n'a pas de volume</i>	<i>a un volume</i>	<i>a un volume</i>	<i>a un volume</i>
FORME	<i>n'a pas de forme</i>	<i>n'a pas de forme</i>	<i>n'a pas de forme</i>	<i>a une forme</i>
ECOULEMENT	<i>coule</i>	<i>coule</i>	<i>coule (avalanche)</i>	<i>ne coule pas</i>
COMPRESSIBLE	<i>OUI</i>	<i>NON</i>	<i>OUI</i>	<i>OUI</i>

Le tableau 2.2 montre que le comportement physique des sables est plus proche des liquides (eau) que des solides (le granite), mais la vérité est que le sable est un solide à l'échelle microscopique et individuelle et presque fluide, s'il était incompressible ; à l'échelle macroscopique.

1. LES SABLES

2.3.1. Définition des sables

Le Sable (M. Morceau, G. Brace, 2000) c'est une roche sédimentaire meuble constituée de petits fragments juxtaposés provenant de la désagrégation de roches de nature diverse (notamment silice).ou bien, sédiment détritique meuble dont les grains sont en majorité compris entre 1/16 mm (62.5µm) et 2 mm (classe des arénites).

Le sable est composé fréquemment du quartz dont la granulométrie est comprise entre (0.067 et 2mm) ; avec un diamètre (B.G. Cvijanovich ,1952) dominant de (0.3 à 1.5mm).

2.3.1.1. Quartz :

C'est la cristalline la plus commune de la Silice (SiO₂) et le constituant essentiel de la plupart des sables. Le quartz de néoformation (quartz authigène), toujours représenté par la forme basse température (C. Pomerol, R. Fouet, 1965). Il dérive de la calcédoine ou se forme par croissance sur un fragment de quartz détritique, donne des beaux cristaux bipyramides, parfois métrique.

Sous le nom de silice cristallisée, on distingue plusieurs minéraux polymorphes (même formule chimique SiO_2 , avec un physique différent) : quartz, tridimite, cristobalite, calcédoine, opale, jaspé, agate.

Caractères : substance cristalline (rhomboédrique) incolore (et peut être coloré par la présence d'impuretés quartz violet, (améthyste), rose, jaune, noirâtre, etc...) limpide, insoluble, inattaquable par les acides (sauf l'acide fluorhydrique), a un point de fusion très élevé. Le quartz est formé chimiquement par dioxyde de Silicium SiO_2 , c'est le minéral le plus répandu de l'écorce terrestre, il se trouve dans la nature sous forme de roche séparée (sable et verre quartzes, cristal de roche), ou comme composant de roches poly-minérales. La densité du quartz est de 2650 Kg /m³, sa dureté est 7 (d'après l'échelle minéralogique de dureté), tenace, raye le verre et l'acier, sa résistance à la compression d'environ 2000 MPa et se distingue par une haute résistance aux intempéries. Eclat vitreux. (G. Auber – C. Guillemin – R. Pierrot, 1978) Poussière blanche. Fréquentes inclusions gazeuses, liquides ou cristallines. La silice pure avec parfois des traces de Li, Na, Al, Ti.

A la température de 18 C° à 20 C° le quartz ne réagit pas avec la chaux Ca(OH)_2 , mais en présence de vapeurs d'eau saturées et à la température de 150 à 2000 C°, il réagit avec la chaux formant *les hydrosilicates* ; cette propriété du quartz est utilisée pour obtenir les matériaux de pierre artificielle, composé de sable de quartz et de chaux, que l'on appelle matériaux *silicates*. L'élévation de la température du quartz provoque des modifications physiques ainsi, de 575 C° le quartz passe à β modification et son volume augmente par bonds de 1.5 %, à la température de 870 C° le quartz change en *tridimite*, son volume augmente sensiblement parce que la densité de la tridimite est de 2260 Kg /m³, alors celle de β quartz est à 2650 Kg/m³, puis le cristobalite à la température de 870 C° à 1470 C°. A la température de 1710 C° le quartz fond et après un brusque refroidissement, se transforme en *verre*. Sa dureté élevée, le quartz raye facilement le verre et l'acier. Pas de clivage, cassure lisse et conchoïdale (courbe), donnant aux fragments l'aspect d'éclat de verre. Les petits grains de quartz, des limons ne sont visibles qu'à la loupe, la présence de quartz dans une roche meuble à grain très fin se relève par un crissement caractéristique ou la dent.

Le sable est un sol spécial, « agrégat fin » considéré comme un matériau de construction (A. Komar, 1989) très important, (briques. Barrages pour radiations. remblais. Routes. carrelages...).

Les couleurs des minéraux :

- Sable clair, c'est un sable granitique (Arène) ;

- Sable noir, c'est un sable basaltique ;
- Sable rouge, c'est un sable formés de petits grains de Grenats.

2.3.2. Formation des sables

Le sable qui provient de la roche est dit abiogène (Hervé Chamley, 2000) parce qu'il est le produit de la désagrégation mécanique et de l'abrasion. La désagrégation mécanique résulte de forces physiques exercées sur les roches, la pression par exemple. La roche subit des pressions quand les racines d'un arbre poussent dans une fissure, ou quand cette dernière se remplit d'eau qui gèle rapidement, pour fondre ensuite aussi rapidement. Il y a abrasion quand des éclats et des morceaux de roche se retrouvent dans une rivière. En roulant dans l'eau, ces minuscules morceaux s'usent et frottent contre le lit de la rivière. Ce mouvement abrasif contribue à réduire en sable les petites roches que l'eau bouscule.

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation. Le sable est érodé et pris en charge par le vent. Il est transporté au ras du sol par saltation puis s'accumule quand la compétence du vent chute. Le même processus peut se produire sous l'eau à la faveur d'un courant marin (dune hydraulique).

2.3.3. Origine du sable

Lorsque le sable est apporté par les courants marins et que son accumulation sur le rivage est importante, il forme des dunes maritimes ou littorales. Lorsqu'il provient de l'intérieur des terres, il forme des dunes continentales. Pour ce dernier cas, l'origine du sable :

- peut être lointaine et on dit que le sable est allochtone
- peut être locale et on l'appelle sable autochtone.

2.3.3.1 Le sable allochtone

Le sable peut être transporté par le vent et emporté très loin. Ce transport à grande distance porte exclusivement sur des particules dont le diamètre est inférieur à 0,05 mm. Le sable local est plus grossier.

2.3.3.2. Le sable autochtone

Le sable d'origine locale peut provenir :

- de la décomposition de grés que constituent les roches de montagnes;

- de la désagrégation des sols de plaines alluvionnaires mis à nu par la disparition du couvert végétal;
- des limons charriés par les oueds et qui résultent d'une érosion hydrique dans les bassins versants de ces cours d'eau.

Le sable autochtone a une couleur brunâtre assez foncée tandis que celui d'origine allochtone est plus clair, jaunâtre.

2.3.4. Les différentes formes d'accumulations sableuses

Selon la forme et les dimensions des accumulations, la dune ou l'édifice sableux portera une désignation spécifique.

De plus selon les conditions du milieu, ces accumulations peuvent être soit isolées soit regroupées dans des champs dunaire (Derruau, 1967).

2.3.4.1. Les nebkas

Elles traduisent la direction du dernier vent efficace et existent uniquement derrière des obstacles, et plus particulièrement sur les aires à couverture végétale faible. Leur taille, liée à celle de l'obstacle, ne dépasse pas 50 cm de long et 20 cm de haut (Figure 2.1). La

Variabilité directionnelle des vents contrarie à l'évolution de ces formes en déplaçant à chaque fois la charge sableuse déposée lors de la tempête précédente, ce qui ne leur permet pas d'augmenter de taille (Amel, 2003).



Figure 2.1 : Nebkha

2.3.4.2. Barkhanes

Ce sont des accumulations dunaires en forme de croissant qui atteignent dix mètres de hauteur et 30 à 50 m de diamètre le sens du déplacement des barkhanes est celui de la direction de leurs cornes (Figure 2.2), (Derruau, 1967). Les barkhanes, dunes en croissant avec concavité abrupte sous le vent.



Figure 2 .2 : Barkhane

2.3.4.3. Dunes paraboliques

Ce type de dune est lié à un apport sableux plus important que pour les barkhanes, peut atteindre plusieurs centaines de mètres de long (Figure 2.3)

Ces formes dunaires se disposeraient presque perpendiculairement à la direction des vents efficaces mais avec une variabilité directionnelle plus complexe, favorisant l'accolement des dunes par leurs ailes au cours des changements de direction du vent (Boudad, 2003). Les dunes paraboliques sont de forme arquée, mais à l'inverse des barkhanes, leur face convexe est orientée sous le vent.

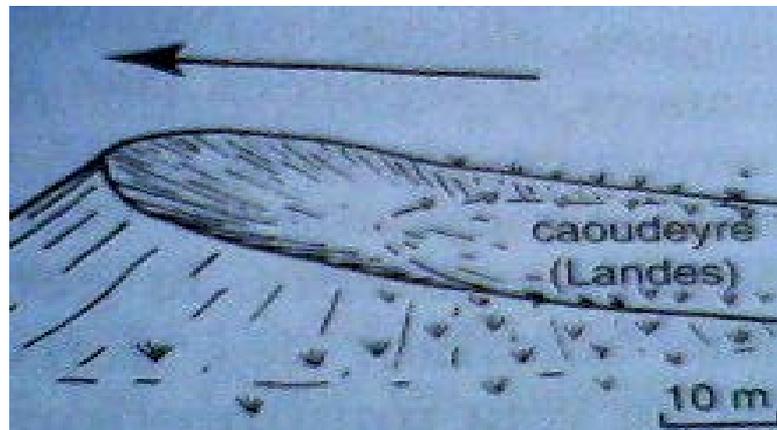


Figure 2.3 : Dune parabolique

2.3.4.4. Dunes longitudinales

Les dunes longitudinales (seif dunes) sont rectilignes (Figure 2.4), allongées parallèlement à la direction du vent (Boudad, 2003).

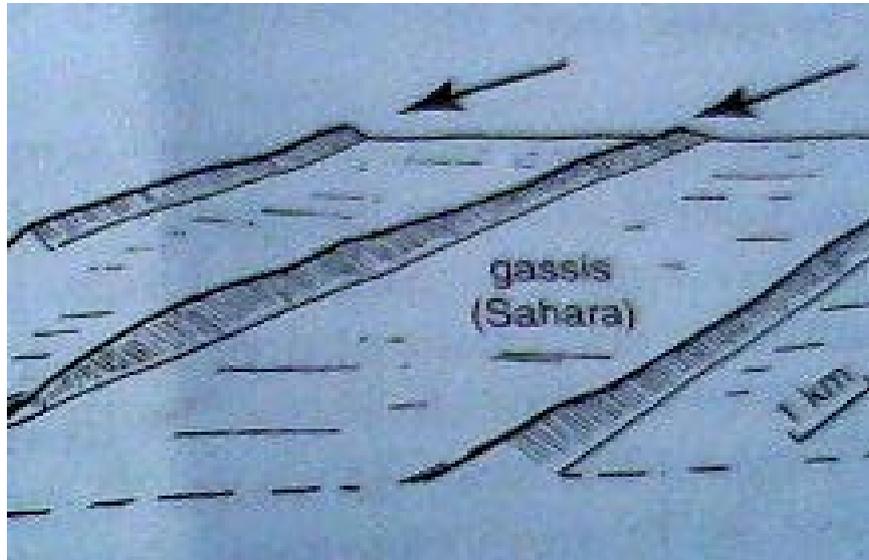


Figure 2.4 : Dunes longitudinales

2.3.4.5. Les dunes en dômes

Les dunes en dômes ont une forme circulaire et aplatie ne montrant pas de dissymétrie morphologique nette, bien que dues à un vent unidirectionnel, violent (Belhaj, 1994)

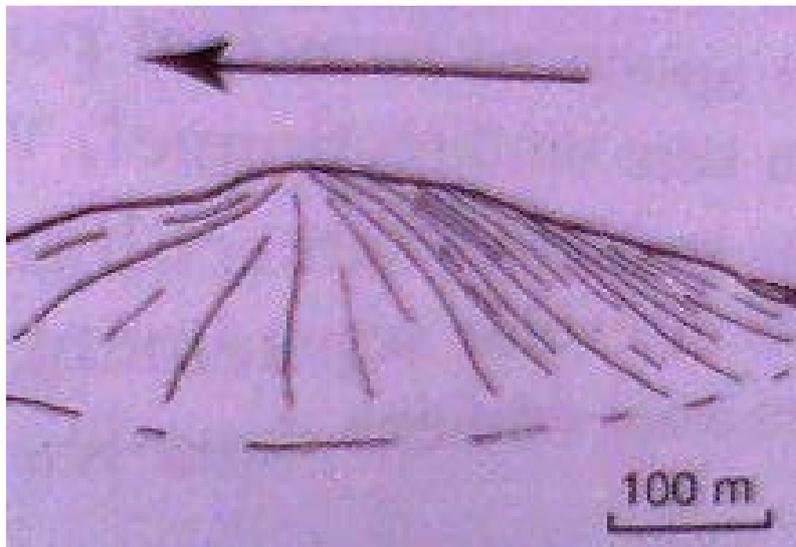


Figure 2.5 : Dune en dôme

2.3.4.6. Dunes pyramides ou étoile

Ce sont de sortes de pitons pyramidaux qui se forment dans les zones où le vent n'a pas de direction privilégiée. Ils peuvent atteindre 100 m de haut (Figure 2.6). Leurs bras sont appelés zemoula et leurs couloirs intermédiaires oued (Derruau, 1967).

Les dunes en étoiles sont constituées d'au moins trois rides subrectilignes convergeant un point élevé

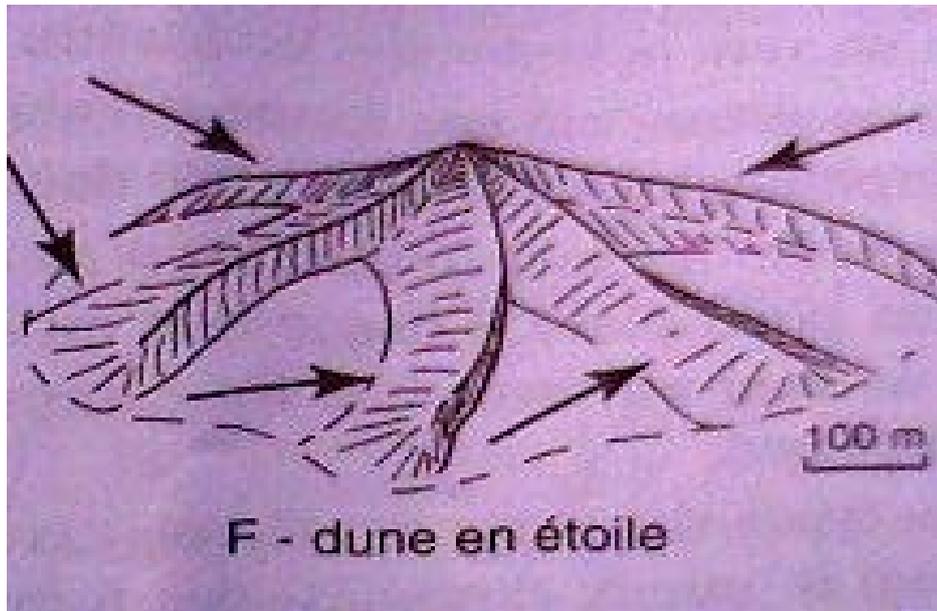


Figure 2.6 : Dune pyramide ou en étoile

2.3.4.7. Couvertures sableuses

Dans certaines régions, les sables éoliens forment une couverture peu épaisse, ne montrant pas de morphologie dunaire caractéristique. L'inhibition de la forme dunaire peut avoir plusieurs causes:

- la présence d'une certaine humidité,
- une végétation clairsemée et régulièrement distribuée.
- la présence de blocs rendant la surface du sol rugueuse,
- couloir de vent complètement dégagé (aucun obstacle).

2.3.5. Quantité de sable déplacée

Derruau (1967), signale que les matériaux déplacés sont de deux types :

- du type de 0,2 à 1 mm de diamètre.
- et les poussières de moins de 0,2 mm de diamètre.

La quantité de sable déplacée dépend évidemment de la taille des particules, mais aussi de la vitesse du vent. Théoriquement, elle obéit à la relation suivante :

$$S = 3,25 \cdot 10^3 \cdot N/P \cdot \frac{(V-V_t)^3}{\log\left(\frac{Z}{K'}\right)} \quad (2.1)$$

La valeur "S", étant la valeur de sable transporté annuellement à travers une ligne de mètre de longueur tracée normalement à une direction quelconque de la rose des vents.

- N : la fréquence des vents soufflant dans la direction considérée;
- V : la vitesse exprimée en milles/heure;
- V_t : la vitesse seuil;
- Z : hauteur des mesures au-dessus d'un sol supposé dégagé;
- K' : l'équivalent de 1 centimètre exprimé dans la même unité que Z (hauteur au K' dessus de laquelle le vent en moyenne a une vitesse constante, quelle que soit la vitesse de l'air dans les couches supérieurs) (Oldache, 1988).

La susceptibilité du sol à l'érosion éolienne est en rapport avec la teneur en humidité du sol (les sols humides ne sont pas emportés), sa rugosité (un sol ayant en surface des mottes stables est moins attaqué), ses caractères propres, cette susceptibilité (C.I. Grandet 1948) dépend aussi de la vitesse du vent (la saltation existe quand la vitesse du vent atteint 25 Km/h) et bien entendu avec la combinaison de plusieurs de ces facteurs.

Les mesures à prendre contre l'érosion éolienne tiendront compte des observations précédentes, en réduisant la susceptibilité des sols au vent :

- On diminue la vitesse du vent au niveau du sol et de la végétation, c'est le problème des brise-vent.
- On augmente la rugosité du sol, c'est la question des dunes.

D'ailleurs, ces deux moyens de lutte seront fréquemment combinés.

2.4. ECHANTILLONNAGE

L'opération de prélèvement des échantillons joue un rôle aussi important que les essais d'analyse au laboratoire, du fait que les résultats de ces derniers dépendent de la valeur de la première.

La valeur de l'échantillon, (C. Mathieu et F. Pieñam 1998) sa qualité, sa fraîcheur et sa représentativité dépendent des conditions de prélèvement ; de conservation de transport ainsi que du stockage des échantillons prélevés.

Ces conditions dépendent des techniques de l'échantillonnage et de la compétence du responsable de l'échantillonnage. Le responsable doit avoir une connaissance ; des études de laboratoire qui seront à faire sur chacun des échantillons récoltes ; des conditions de prélèvement requises par chaque type d'analyse et d'avoir une vue étendue sur l'ensemble géologique du terrain à étudier pour qu'il voit lors du prélèvement toute la forêt non seulement l'arbre.

Par ailleurs la valeur de l'échantillonnage et sa représentativité dépendent également de son prix de revient et celui des analyses qui lui seront appliquées ainsi que du but de l'échantillonnage qui dépend directement de la caractérisation physico-chimique de la plus grande quantité du sable du Sahara en vue d'une utilisation industrielle (brique de sable par exemple).

Tableau 2.3 : La hauteur des dunes dans le monde

	Hauteur	Longueur	Largeur	Localisation	Notes
Avenage Highest Area Dunes	465 m	~1 980 m	?	Mer de sable de Isouane-n-Tifernine, Sahara algérien	Plus haute d'Afrique
Big Daddy/Dune 7	383 m	?	?	<u>Dunes de Sossusvlei</u> , Désert Namibien, Namibie	
Star Dune	230 m	2 730 m	?	<u>Great Sand Dunes National Park</u> , Colorado, USA	Plus haute du continent nord-américain
<u>Dune du Pyla</u>	114 m	3 000 m	500 m	<u>Bassin d'Arcachon</u> , Aquitaine, France	Plus haute d'Europe
Mont Tempête	280 m	280 m	?	Moreton Bay, Brisbane, Australia	Plus haute d'Australie
Dunes de Ming-Sha	?	1 725 m	?	<u>Oasis de Dunhuang</u> , Désert de Taklamakan, Gansu, Chine	
Dune de Medanoso	~ 380 m	> 6000 m	~ 3000 m	<u>Désert d'Atacama</u> , Chili Cette dune culmine à 1555 m d'altitude	Plus haute d'Amérique du Sud (?)
Dunes de Badain Jaran	500 m	2 020 m	?	<u>Désert Badain Jaran</u> , Alashan Plain, Mongolie, Désert de	Plus haute dune du monde (?)

Pour avoir une meilleure représentativité et pour mieux voir la répartition des sables autour de la ville ; nous avons divisé la région étudiée en quatre zones, en prenant la ville d'Ouargla comme origine ou centre : (voir carte de prélèvement, Figure 2.7)

- zone A : c'est le cadran Nord Est (N.E.) ;
- zone B : c'est le cadran Sud Est (S.E.) ;
- zone C : c'est le cadran Sud Ouest (S.O.) ;
- zone D : c'est le cadran Nord Ouest (N.O.).

Le prélèvement des échantillons a été effectué dans chaque zone en prenant en compte les paramètres suivants:

- La couleur ;
- L'abondance ; et
- Le changement sensible de la granulométrie.

Chaque zone peut être représentée par un à plusieurs dunes selon les paramètres cités ci-dessus. Cependant ; chaque dune sera représentée par un seul échantillon.

L'échantillonnage de la dune se déroulait de la façon suivante :

- Plusieurs points de prise pour chaque dune (amont. aval. crête. ailes et centre) ;
- Deux à cinq mains de chaque point. du haut vers le bas (fonction de l'importance de la dune) ;
- Chaque échantillon pesé de 2 à 5kg.

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage est le suivant :

- Sacs plastiques ;
- Etiquettes en papiers cartonnés ;
- Marqueurs et crayon ;
- Loupe ;
- Flacon d'acide « HCl » dilué à 15 % ;
- Petite pelle; et
- GPS

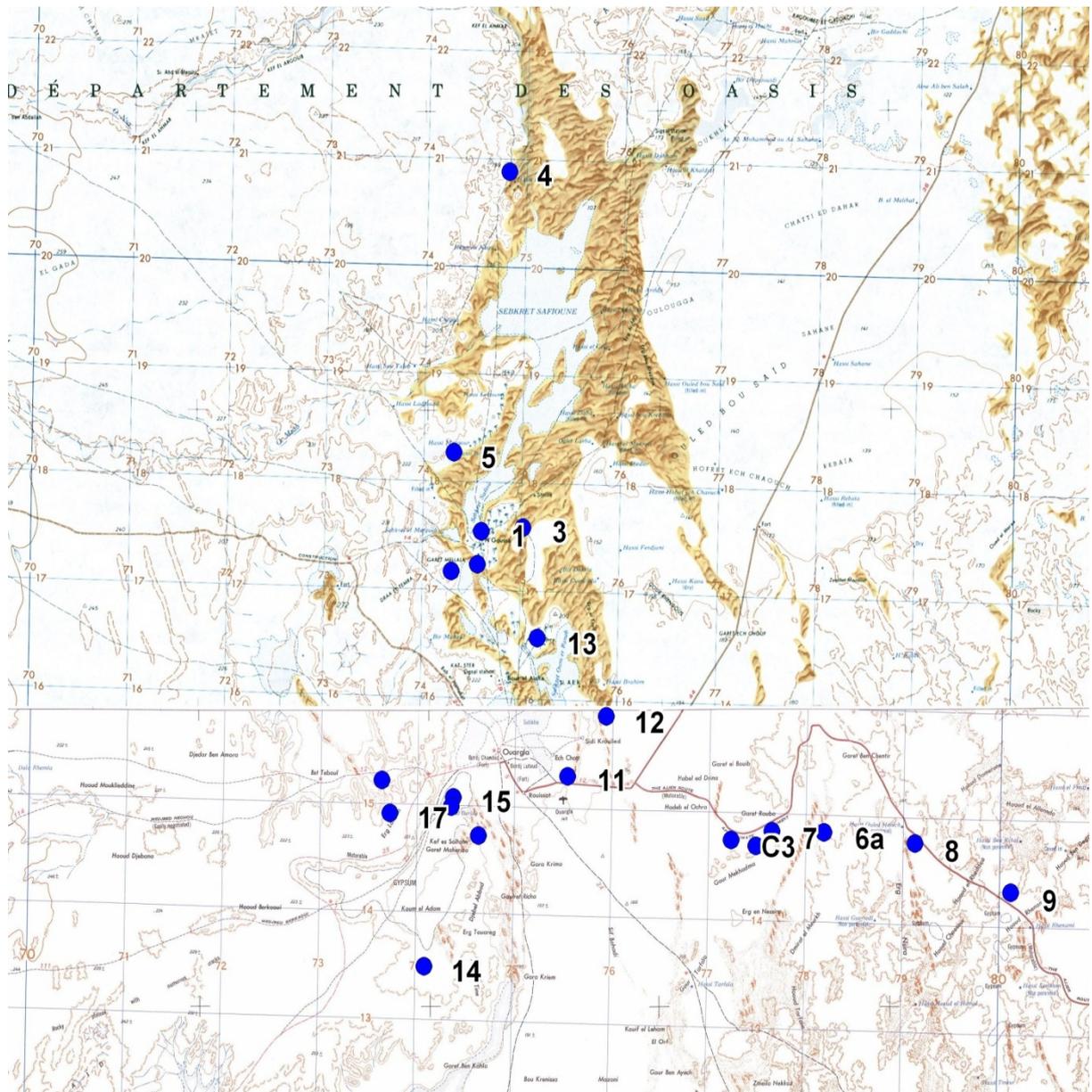


Figure 2.7 : Carte des coordonnées des points d'échantillonnage

2.5. ETUDE DES SABLES

2.5.1. L'analyse morphométrique

La mesure des dimensions des grains de sable et des galets dont la connaissance, donne des informations sur leur milieu de formation. En géologie cette étude est beaucoup plus utilisée pour les galets (J. Aubouin. R. Brousse. J.P. Lehman 1975) que pour les sables car la granulométrie des sables fournit cette information, voir la difficulté de mesurer de la taille d'un grain de sable par un pied à coulisse

2.5.2. L'analyse morphoscopique

Consiste à examiner à la loupe binoculaire l'état de surface des grains. On distinguait quatre types de grains (J. Aubouin. R. Brousse. J.P. Lehman 1975) :

- Emoussés luisants : grain à surface propre et éclat vif. implique grain transporté par l'eau.
- Non usés : grain à forme esquilleuse et souillé d'impureté. implique grain peu ou non transporté.
- Ronds-mats : grain rond ayant l'aspect d'un verre dépoli. implique transport éolien.

L'étude morphoscopique menée sur nos échantillons de sable au laboratoire de géologie de l'université d'Ouargla, a permis de vérifier une évidence connue chez les spécialistes du domaine, à savoir que les grains de sables éoliens sont en quasi-totalité ronds mats, c'est-à-dire transportés par le vent.

2.5.3. L'analyse exoscopique

Elle consiste en l'examen de la surface des grains (quartz en particulier) au microscope électronique à balayage (MEB). Elle permet de déterminer le mode de transport et le milieu de dépôt.

On distingue d'habitude les :

- Sables marins : sont généralement caractérisés par des éléments de forme anguleuse.

Les grains présentent généralement un aspect luisant.

- Sables fluviatiles : sont caractérisés par des éléments de forme anguleuse non usée d'aspect peu luisant.

- Sables glaciers : sont très anguleux.

- Sables éoliens : les grains sont très arrondis ou très peu arrondis et ne sont pas décolorés (aspect mat).

Pour notre étude on n'a pas fait recours à l'analyse exoscopique car le résultat attendu est connu au préalable et n'est pas très important pour notre sujet.

2.5.4. L'analyse granulométrique

C'est l'étude de la répartition des éléments d'une roche selon leur taille. On étudie généralement des roches meubles. La plus part du temps, on les tamise à sec. On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des refus cumulés sur les tamis dont « D », diamètres des mailles sont indiqués en abscisse selon une graduation logarithmique.

Les étapes du tamisage de nos échantillons (réalisé au laboratoire LEGEM, université de Perpignan, France) sont :

- Lavage à l'eau,
- Séchage des échantillons dans l'étuve (110°C) pendant 24h ;
- Homogénéisation (bien mélanger l'échantillon) et quartage ;
- La pesé. 500g pour chaque essai ;
- Le tamisage :

On a utilisé une colonne de 15 tamis échelonnés de haut en bas (2500. 2000.1250. 1000. 800. 630. 500. 400. 315. 250. 200. 160. 125. 100. 50 μ m), pendant 10 minutes.

Dans l'opération de tamisage, les tamis successifs utilisés (J. Aubouin, R. Brousse, J.P. Lehman 1975), forment une colonne dont les mailles sont décroissantes du haut en bas (en progression géométrique de raison $^{10}\sqrt{10}$, dite série de Renard, dans les tamis normalisés A.F.N.O.R.).

2.5.4.1. Les données d'analyse granulométrique

Les données de l'analyse granulométrique sont présentées sur les tableaux suivants, en annexes :

Tableau 2.I: Les pourcentages des refus cumulés (voir Annexes chapitre 2a) ;

- **Tableau 2.II:** Les pourcentages des fréquences relatives (voir Annexes chapitre 2a).

La suite de toutes les courbes des tableaux 2.2 et 2.3 sont présentées sur l'annexe.

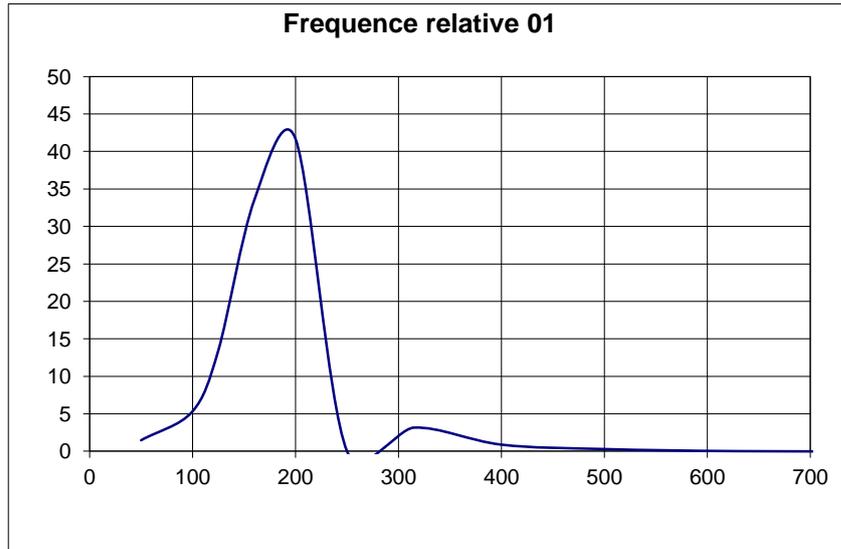


Figure 2.8 : Courbe de fréquence relative de l'échantillon 01.

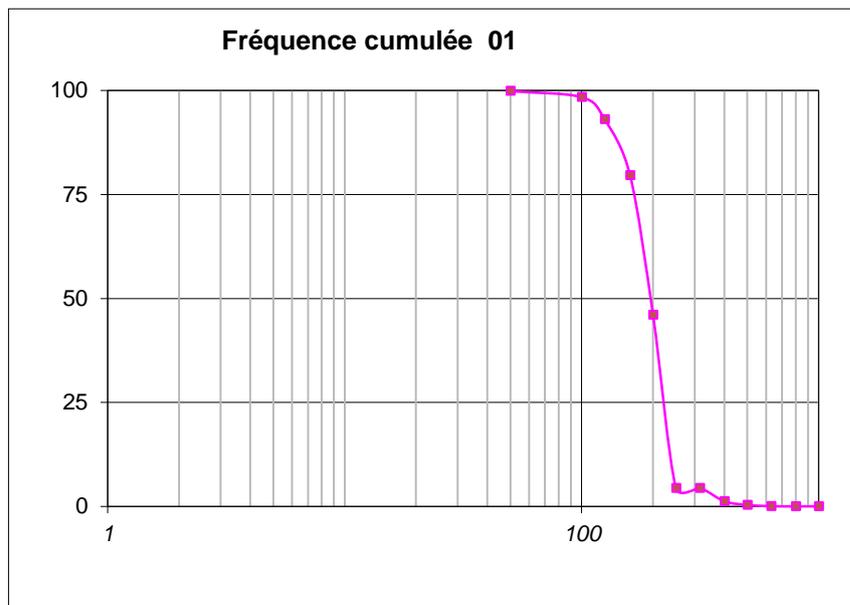


Figure 2.9 : Courbe granulométrique de l'échantillon 01.

2.5.4.2. Calculs des paramètres statistiques

Le mode "M" : C'est l'abscisse (le diamètre) qui correspond au pic (voir courbes des fréquences relatives en annexe). Dédit de la courbe de la fréquence relative,

Les quartiles (Q_1 et Q_3), déduit de la courbe de la fréquence cumulée.

Q_1 , est égal à l'abscisse qui correspond à 75 % du poids de l'échantillon.

Q_3 , est égal à l'abscisse qui correspond à 25 % du poids de l'échantillon.

La Médiane'' Md'', déduit de la courbe de la fréquence cumulée. C'est l'abscisse (le diamètre) qui correspond à 50 % du poids cumulé de l'échantillon. (Voir courbes des fréquences cumulées).

TABLEAU 2.4: Paramètres statistique déterminant les genres de sable (voir annexe)

ZONES	NUMEROS D'ECHANTS	M	Q1	Q3	Md	Hq	Asq
Zône A. (le cadran NE)	E.01	180	165	220	160	27.5	2.5
	E.02	180	150	260	180	55	5
	E.03	190	150	220	190	35	25
	E.04	300	180	380	270	100	10
	E.05	200	180	380	270	100	10
	E.10	315	205	390	310	92.5	- 12.5
	E.11	315	270	410	340	70	00
	E.12	195	150	200	195	25	-20
	E.13	200	200	235	220	17.5	-2.5
Zône B. (le cadran SE)	E.06a	710	710	925	830	107.5	-12.5
	E.06b	200	175	270	215	47.5	7.5
	E.07	195	135	235	190	50	-5
	E.08	300	200	370	280	85	5
	E.09	250	150	320	255	85	-20
Zône C. (le cadran SO)	E.14	125	125	200	150	37.5	12.5
	E.15	120 250	130	295	240	82.5	-27.5
	E.16	200 310	160	300	265	70	-35
Zône D. (le cadran NO)	E.17	200	170	290	215	60	15
	E.18	200	160	240	210	40	-10

$$Hq = (Q_3 - Q_1) / 2$$

(2.2)

"Hq" indice d'hétérométrie interquartile. (Pomerol, R. Fouet, 1965)

TABLEAU 2.5: Classement des sables selon l'énergie de l'agent de transport

Hq	<0.2	[0.2 à 0.5]	>0.5
Qualité de classement	mauvais	moyen	bon

L'indice "Hq" caractérise l'importance du classement au cours du transport par les agents de tri.

$$Asq = (Q_1 + Q_3 - 2M_d) / 2 \quad (2.3)$$

"Asq" indices d'asymétries (remplace le SKEWNESS), obtenue (Pomerol, R. , Fouet, 1965) par la formule de KRUMBEIN (2.2).

TABLEAU 2.6: Classement selon la Forme de la courbe de fréquence relative.

Asq	< 0	= 0	> 0
L'asymétrie de courbe fréquence relative	La fraction fine est la mieux classée	La courbe est symétrique	La fraction grossière est la mieux classée

2.5.4.3. Analyse des résultats

On a divisé la région d'échantillonnage en quatre zones, en prenant la ville d'Ouargla comme origine des axes qui divisent la région comme le montre le croquis suivant (voir figure 2.10):

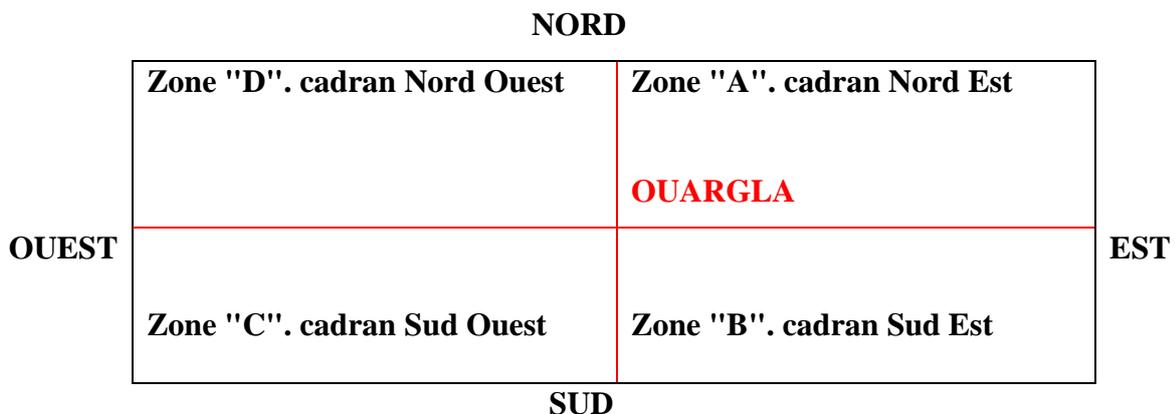


Figure 2.10: Croquis montrant la division de la région d'étude en 4 zones.

D'après les valeurs des modes, nous remarquons sur 19 échantillons:

- 12 échantillons (63.15 %) dans leurs diamètres dominants. sont fins.
- 06 échantillons (31.58 %) dans leurs diamètres dominants. sont moyens. et
- 01 échantillon (05.16 %) dans son diamètre dominant. est grossier.

D'après les valeurs des médianes, nous remarquons sur 19 échantillons:

- 11 échantillons (57.89 %) dans leurs diamètres dominants. sont fins.
- 07 échantillons (36.84 %) dans leurs diamètres dominants. sont moyens. et
- 01 échantillon (05.16 %) dans son diamètre dominant. est grossier.

Les valeurs des modes et médianes nous donnent presque les mêmes conclusions, c'est-à-dire que les sables de la région d'Ouargla sont à majorité fins, avec des vents très variables a pro-dominance de soufflement:

- du Sud vers le Nord. et
- de l'Ouest vers l'Est.

Toutes les valeurs de l'indice d'hétérométrie "**Hq**" sont strictement supérieur à 0.5, ce qui signifie un bon classement des sable. A noté que le sable seul n'est pas considéré comme sédiment complet, c'est pourquoi "**Hq**" est toujours supérieur à 0.5.

D'après les valeurs des indices d'asymétries "**Asq**" qui remplace le SKEWNESS, nous remarquons sur 19 échantillons:

- 09 échantillons. $Asq > 0$. La fraction grossière est la mieux classée.
- 01 échantillon. $Asq = 0$. La courbe est symétrique.
- 09 échantillons. $Asq < 0$. La fraction fine est la mieux classée.

2.6. LA DENSITE DES SABLES

Le tableau 2.7 représente la variation de la masse volumique des échantillons de sable prélevés.

TABLEAU 2.7: Masse volumique

Numéro d'échantillons	Masse moyens brut d'éch. M (g)	Masse du moule en (g)	Masse moyens Net d'éch. (g)	Volume du moule V (Cm ³)	Masse Volumique MV=M/V
1	311.00	29.1	281.90	193	1.46
2	308.97	29.1	279.87	193	1.45
3	297.02	29.1	250.77	193	1.39
4	322.40	29.1	293.30	193	1.52
5	308.75	29.1	273.65	193	1.49
6a	324.30	29.1	295.20	193	1.53
6b	316.10	29.1	287.00	193	1.34
7	312.05	29.1	282.95	193	1.47
8	324.75	29.1	295.60	193	1.53
9	321.80	29.1	292.70	193	1.52
10	322.32	29.1	293.22	193	1.44
11	307.32	29.1	278.22	193	1.44
12	306.97	29.1	277.87	193	1.44
13	308.00	29.1	276.87	193	1.43
14	305.97	29.1	276.87	193	1.47
15	312.82	29.1	283.72	193	1.43
16	304.77	29.1	275.67	193	1.52
17	322.02	29.1	292.92	193	1.49
18	317.00	29.1	287.90	193	1.17
C1	331.00	29.1	301.90	193	1.62
C2	342.25	29.1	313.15	193	1.56
C3	356.45	29.1	227.35	193	1.46

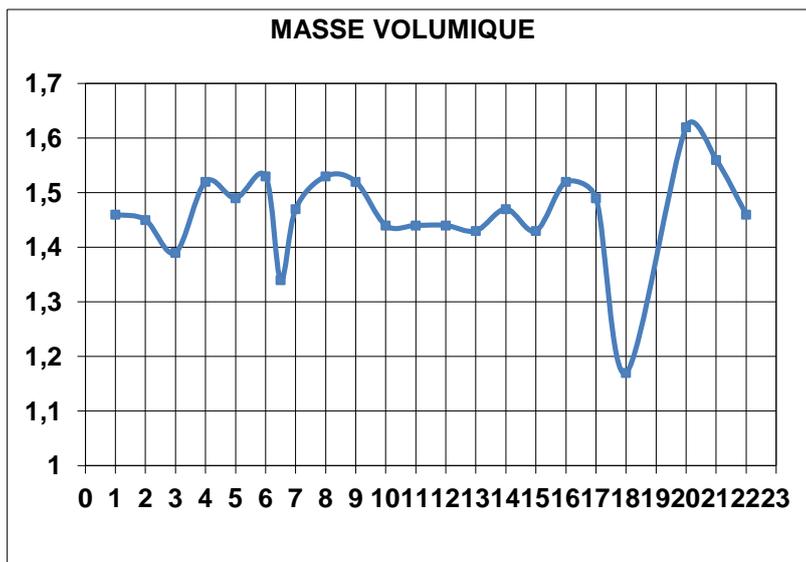


Figure 2.11 : Variation de la masse volumique des échantillons de sable du Sahara

La courbe de la figure 2.11 représente la variation de la masse volumique (en ordonné) des numéros d'échantillons de sables (en abscisse) d'Ouargla. Si nous prenons comme densité moyenne des sables d'Ouargla 1,46, nous remarquons que la courbe présente des maximums (échantillons C1. E16. E8. 6a et E4) et des minimums (échantillons E18. 6b et E3). La variation de la densité des sables est décroissante du Sud vers le Nord, chose qui confirme également le sens de soufflement des vents dominants dans la région. Le taux des minéraux lourds trouvé dans ces sables détermine et explique les densités maximales de ces derniers, par contre les densités minimales signalent une rareté des minéraux lourds outre le remplacement d'une fraction de quartz par une autre fraction de minéraux plus légers comme le gypse.

2.7. EQUIVALENT SABLE

L'équivalent de sable suivant la norme NF EN 933 – 8 ; est réalisé à LTPS (Laboratoire des travaux publics sud, Ouargla).

Principe de l'essai:

- Procéder à un quartage afin que l'échantillon soit représentatif;
- Tamiser l'échantillon au tamis de 5mm (passant);
- Verser une prise d'essai de 120g dans chacune des deux éprouvettes contenant une solution laveuse et les laisser au repos pendant 10 mn;

- Boucher l'éprouvette puis la fixer sur le dispositif d'agitation de sorte qu'elle subisse 90 cycles en 30 s;
- Laver le mélange en ajoutant la solution, jusqu'à ce que le niveau atteigne le deuxième trait du haut (repère);
- Laisser reposé pendant 20 mn;
- Procéder aux mesure à l'aide d'une règle, la hauteur h1 (niveau supérieur = sable + suspension) et h2 (niveau inférieur = sable);
- Le h2' (niveau inférieur = sable), mesurer également par un piston descendu jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment solide;
- On détermine deux équivalents sable:
 - Esv (équivalent sable visuel),
 - Esp (équivalent sable piston).

L'équivalent sable ES (valeur moyenne donnée par la formule 2.5 ci-dessous) sera la moyenne des deux: (voir tableau 2.9)

$$\mathbf{Esv (visuel) = 100 \times h2/h1} \quad \mathbf{(2.4)}$$

"Esv", c'est l'équivalent de sable visuel.

$$\mathbf{Esp (piston) = 100 \times h2'/h1} \quad \mathbf{(2.5)}$$

"Esp", c'est l'équivalent de sable piston.

$$\mathbf{ES = (Esv + Esp) / 2} \quad \mathbf{(2.6)}$$

Les préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons sont données dans le tableau 2.8. :

En ce qui concerne le béton routier, qu'il s'agisse d'un béton balayé, strié, imprimé, désactivé ou bouchardé, les préconisations sont les suivantes : SE > 60.

TABLEAU 2.8: Echelle de classement des sables d'après l'équivalent sable

ES	Nature et qualité du sable
ES < 60	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
$70 \leq ES < 80$	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES > 80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

TABLEAU 2.9: Valeurs d'équivalent de sable **visuel**

ECHANTIL- LONS	HAUTEUR "h1"	HAUTEUR "h2"	EQUIVALENT SABLE visuel
1	10.2	9.1	89.21
2	8.4	7.3	86.9
3	11.7	4.4	38.59
4	11.7	6.1	52.14
5	10.6	7	66.1
6a	9	8.6	95.55
6b	10	8.82	88.2
7	10.4	7.7	74.04
8	9.9	8.2	82.82
9	10.1	8.2	81.18
10	11.3	7.3	64.6
11	9.1	8.8	96.7
12	10.50	8.2	78.09
13	10.6	9.1	85.85
14	10.5	7.5	71.43
15	9.9	9.1	91.91
16	12.8	6.8	53.12
17	9.6	8.10	84.37
18	10.5	8.1	77.14
C1	10.8	8.7	80.55
C2	11.5	8.1	70.43
C3	23	5	21

TABLEAU 2.10: Valeurs d'équivalent de sable piston

ECHANTIL- LONS	HAUTEUR "h1"	HAUTEUR "h2"	EQUIVALENT SABLE piston
1	10	8.8	88
2	10.5	7.8	74.3
3	12.2	3.5	28.7
4	10.4	7.3	70.2
5	11	6.2	56.36
6a	9	8.7	96.66
6b	10.2	8.3	81.37
7	10.4	6.9	66.35
8	10.2	8.3	81.37
9	10	8.7	87
10	11.9	7	58.82
11	9	8.5	94.44
12	10.7	8.2	76.63
13	10.6	9.5	89.62
14	10.5	7.7	73.33
15	10.1	8.4	83.17
16	13.4	6.1	45.52
17	10.2	8.20	80.39
18	10.3	7	67.96
C1	10.3	8.6	83.49
C2	22.8	6	26.31
C3	11.5	7.9	68.69

TABLEAU 2.11: Valeurs moyennes d'équivalent de sable

ECHANTILLONS	EQUIVALENT SABLE	OBSERVATIONS
1	88.60	Sable très propre
2	80.6	Sable très propre
3	33.64	Sable argileux
4	61.17	légèrement argileux
5	61.23	légèrement argileux
6a	96.1	Sable très propre
6b	84.78	Sable très propre
7	70.19	Sable propre
8	82.09	Sable très propre
9	84.09	Sable très propre
10	61.71	légèrement argileux
11	95,57	Sable très propre
12	77.33	Sable propre
13	87.73	Sable très propre
14	72.38	Sable propre
15	87.54	Sable très propre
16	49.32	Sable argileux
17	82.38	Sable très propre
18	72.55	Sable propre
C1	82.02	Sable très propre
C2	69.56	légèrement argileux
C3	23.65	Sable argileux

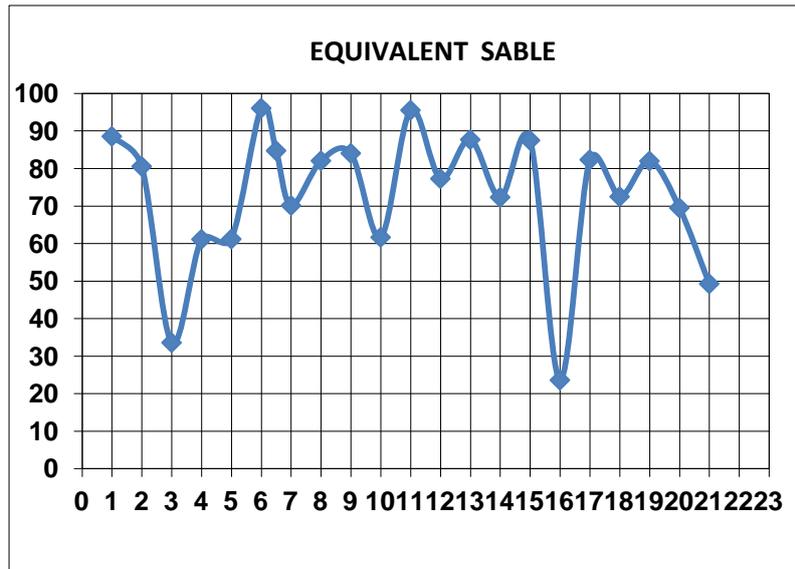


Figure 2.12: Variation de l'équivalent sable des échantillons de sable du Sahara

La courbe de la figure 2.12 représente la variation de l'équivalent sable (en ordonné) des numéros d'échantillons de sables (en abscisse) d'Ouargla. Si on considère comme seuil fictif le trait horizontal correspondant à $E_s = 70$, comme limite entre les sables propres au dessus et moins propre au dessous, je constate que 16 échantillons sur 22 échantillons ont un équivalent sable haut de la de $E_s=70$. Nous concluons que les sables dunaires sont en générales propres à très propres.

On a choisi l'échantillon 11 (sable d'Ain el Baida), pour les raisons suivantes:

- Sa propreté élevée $E_s = 95,57$;
- Plusieurs travaux ont été menés sur ce sable;
- Faciès de sables très abondants dans la région d'étude ; c'est-à-dire meilleur représentant de la quasi-totalité des sables échantillonnés.

NB : Le sable 6a est meilleur (plus propre avec une granulométrie plus grosse) que le sable 11, cependant, on a opté pour le sable 11, car le sable 6a présente une grande rareté en surface (se trouve dans une seule zone, et forme une couche superficielle de 1cm d'épaisseur au maximum). C'est-à-dire que son exploitation ultérieure pour des fins de valorisation est conditionné par une contrainte quantitative.

2.8. ANALYSES CHIMIQUES DES SABLES

2.8.1. Les insolubles

Les insolubles sont les silicates y compris le quartz qui est un minéral principal et majoritaire dans la composition des sables. La figure 2.13, montre que l'échantillon 16 est relativement le plus pauvre en silice (+ 84%), et cela s'explique par la présence d'une quantité sensible de sulfate (gypse), voir figure 2.14.

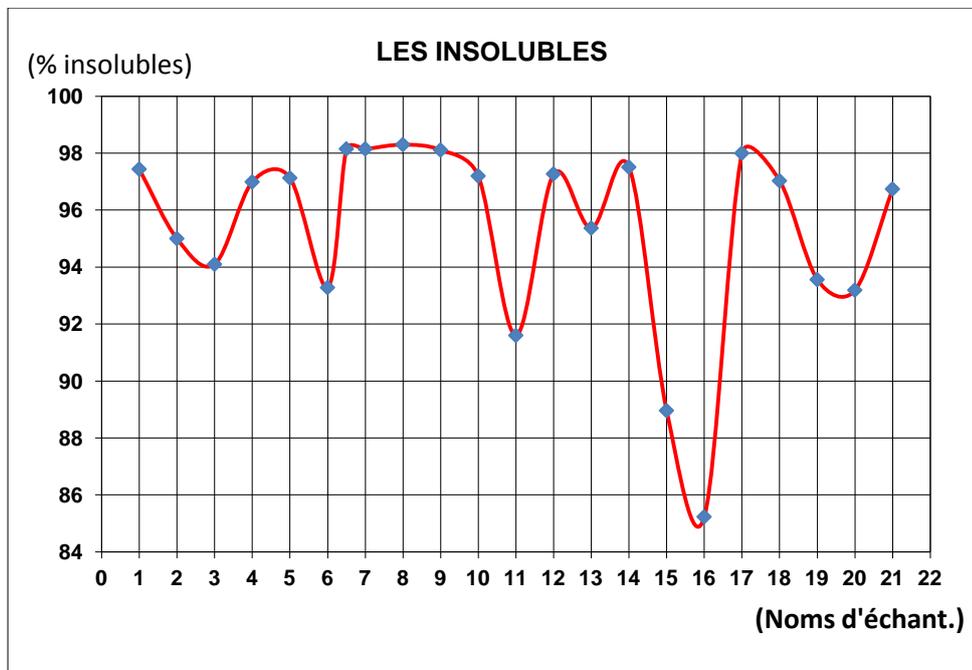


Figure 2.13: Variation des pourcentages des insolubles et des échantillons de sable du Sahara

TABLEAU 2.12 : Analyses chimiques

Essais Nom d'échant.	INSOLUBLES (g)	SULFATES (g)	CARBONATES (ml)	SELS (ml)
01	97.44	1.92	0.86	0.74
02	95.00	3.64	1.73	0.78
03	94.10	2.17	2.60	0.87
04	96.99	0.66	0.44	0.70
05	97.13	00	0.44	0.64
06a	93.28	1.82	3.47	0.70
06b	98.15	00	0.86	0.75
07	98.15	00	1.30	0.43
08	98.30	00	0.86	0.51
09	98.11	00	0.86	0.51
10	97.20	00	/2.17	/0.90
11	91.60	6.13	0.44	1.87
12	97.27	3.07	1.30	6.26
13	95.37	1.88	1.30	0.82
14	97.51	3.10	0.86	0.85
15	88.96	10.57	0.86	0.70
16	85.23	12.06	1.30	0.64
17	98.00	00	0.86	0.87
18	97.03	1.86	1.30	1.11
C1	93.56	4.53	1.30	0.73
C2	93.19	4.00	2.60	0.70
C3	96.74	3.59	0.44	0.64

2.8.2. Les sulfate

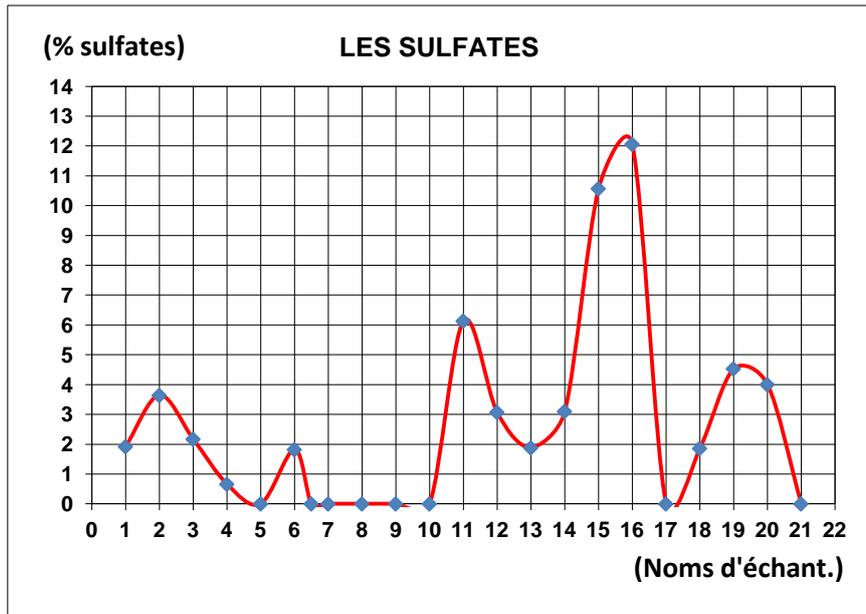


Figure 2.14: Variation des pourcentages des sulfates des échantillons de sable du Sahara

2.8.3. Les carbonates

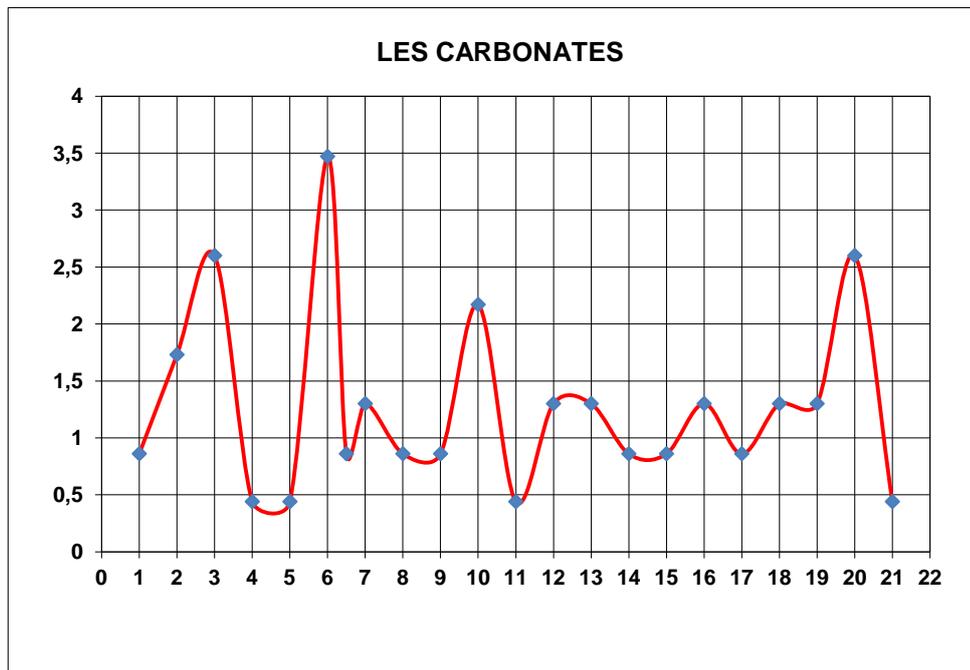


Figure 2.15: Variation des pourcentages des carbonates des échantillons de sable du Sahara

2.8.4. Les sels

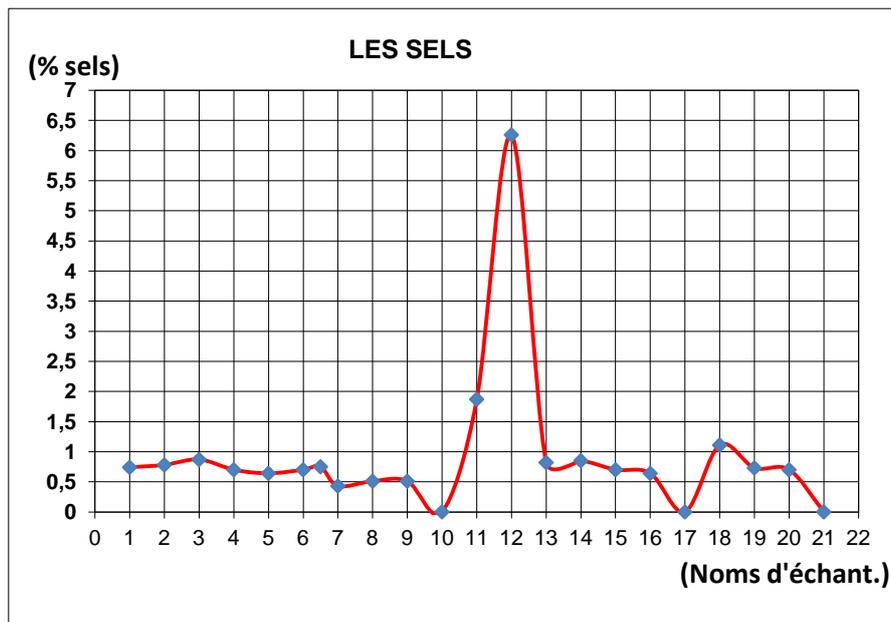


Figure 2.16: Variation des pourcentages des sels des échantillons de sable du Sahara

2.9. CLASSIFICATION

Les sables sont classés d'après :

- la genèse ;
- la granulométrie ;
- la minéralogie ;
- l'origine.

2.9.1. Classification d'après la genèse

Cette classification est basée sur l'étude morphoscopique (voir 5.2 au dessus) des grains de sables et leurs modes de transport:

- **Sable éolien :**
Ce sont des sables transportés par l'air. Au microscope les grains de sables sont ronds et mats suite à de nombreux chocs entre eux.
- **Sable marin ou fluvial :**
Ce sont des sables transportés par l'eau. Au microscope les grains de sable sont émoussés et luisants témoignage d'un transport fluvial ou marin. L'eau amortit les chocs ; certains grains restent non usés.

2.9.2. Classification d'après la granulométrie

Cette classification est basée sur l'intervalle des tailles des grains. Les bornes supérieures et surtout inférieures varient en fonction des auteurs (ou ouvrages) et des disciplines (géologie ; génie civil ; pédologie ;...). A titre d'exemple je cite les intervalles granulométriques des sables:

- d'après l'ouvrage (J.-M. Destrac , D. Lefaiivre , Y. Maldent et S. Vila ; 1996) :
[0.08 à 5mm] ;
- d'après l'ouvrage (Cailleux, 1965) :
[0.2 à 2mm] ;
- d'après l'ouvrage (Ch. Pomerol et A. Blondeau ; 1980) : [0.1 à 2mm] ;
- d'après l'ouvrage (Ch. Pomerol, Yves Lagabrieller et Maurice Renard ; 2005) :
[0.06 à 2mm] ;

NB : Les normes sont différentes selon les disciplines (sédimentologie, pédologie, mécanique des sols, sciences de l'ingénieur, etc...), l'usage ou l'application des mesures n'étant pas les mêmes. Néanmoins, il peut y avoir quelques différences selon les pays.

On tend aujourd'hui à s'appuyer sur les anciennes divisions américaines qui portent le nom de leur auteur (Wenworth), Arenites (=sables) avec sable très fin entre 64 et 125 microns, sable fin entre 125 et 250 microns, sable moyen entre 250 et 500 microns, sable grossier entre 500 microns et 1 mm, sable très grossier entre 1 et 2 mm

L'ouvrage (Ch. Pomerol, Yves Lagabrieller et Maurice Renard ; 2005) récapitule les granulométries sur le tableau 2.13:

Les sables sont classés en 02 ; 03 et 05 classes, suivant les auteurs et les besoins :

- En 02 classes : sables (grossiers ; fins) ;
- En 03 classes : sables (fin ; moyen ; grossier) ;
- En 05 classes : sables (très fins ; fins ; moyens ; grossiers ; très grossiers).

TABLEAU 2.13 : Echelles et classifications granulométrique

Unités Φ	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N.M Strakhov	Blocs 100mm		Galets 10mm		Graviers 1mm			<i>Sables</i> 100 μ m		Aleurites 10 μ m					Pélites				
A. Cailleux	Blocs 200mm		Galets et Cailloux 20mm		Gravillons 2mm			<i>Sables</i> 200 μ m		Sablons 20 μ m		Limons 2 μ m			Pré-colloïdes				
C.K. Wentworth	Boulders (blocs) 256mm		Cobbles (gros cailloux) 64mm		Pebbles (graviers, petit cailloux) 4mm			Granulés 2mm			<i>Sands (sables)</i> 1/16mm= 62,5 μ m					Silts 1/256 mm= 3,9 μ m		Clays (argi- les)	
	Rudites							ARINITES			LUTITES								

2.9.3. Classification d'après la minéralogie

Du point de vue minéralogique, la quasi totalité des sables éoliens du Sahara sont composés de (Ch. Pomerol et A. Blondeau ; 1980) quartz (silicate), et un complément de minéraux en faible pourcentage, comme le gypse; calcaire, mica ; feldspath ; magnétite ;... etc..

Les sables sont aussi classés en fonction d'un minéral accompagnant la silice (M. Morceau, G. Brace, 2000) :

- Feldspath sable feldspathique ;
- Micas sable micacés ;
- Glauconie sable glauconieux (souvent vert) ;
- L'or sable aurifère ;
- Calcite sable calcaire ;
- Gypse sable gypseux ;
- Diamant sable diamantifère ;...etc.

2.9.4. Classification d'après l'origine

D'après l'origine, les sables sont classés, en sable naturel et sable artificiel.

La classification géologique traditionnelle repose sur un critère génétique.

On distingue (J. Etourneur et R. Michel 1971) :

- Les sables alluvionnaires :

* Fluviale

* Estuarien

- Les sables du littoral (plage, dune)

- Les sables marins (comme par exemple les plates-formes continentales prolongement parfois sous-marin des cours d'eau)

- Les sables continentaux :

* sable industriel ou fabriqué, et

* sable naturel :

. Sable aquatique (transporter par l'eau) :

- Dépôt alluvionnaire : les sables rencontrés au Sahara sont des sables de rivières

- Sable éolien ou du Sahara (transporter par l'air).

Dans les sables sahariens on distingue :

Sables éoliens : on peut caractériser par ceci les sables de dunes.

Sables de regs : sous l'action du vent a balayé de sable fin et enrichie la surface d'éléments plus cailloux, gravier, gros sable qui se trouve disposés d'une manière régulière.

Sable géologique en place : les formations continentales des sols fins, tel que les sables argileux du continentale intercalaire.



Figure 2.17 : Sables sahariens.

Autre types des sables :

- Un sable bitumineux (ou bitumeux) est un mélange de bitume brut, qui est une forme semi-solide de pétrole brut, de sable, d'argile minérale et d'eau.
- Les sables mouvants composés de sable, d'argile et d'eau.

D'après (André Cailleux 1965), on distingue :

- **Sables de rivière :**

C'est un sable de dragages, qui se présente sous forme de sable siliceux (bon sable et trop demandé) ; sable gypseux ou vaseux (mauvais).

- **Sables de mer :**

Généralement, c'est un bon sable riche en sels bon pour les travaux en mer (quai ; brise vague ;...); mauvais pour les travaux d'élévation (murs. bâtiments.); suite à l'hygroscopie des sels qui tient l'humidité. Il est conseillé de les laver à l'eau douce pour purifier.

- **Sables de dune :**

C'est une variété de sable de mer, ce sable est de qualité médiocre pour la construction, car il est constitué d'éléments très réguliers et très fin.

- **Sable de carrière :**

Ce type de sable est généralement composé de grains enrobés d'argiles, ce qui empêche l'adhésion des grains aux liants hydrauliques. N'empêche qu'on peut l'utiliser en maçonnerie.

- **Sable de concassage :**

Ce type de sable issu du concassage de roche très dures tel que:

- calcaire dur ; grés ; quartzites ; laves ; ces sables sont bons pour la confection du béton de ciment. ou matériaux enrobés pour chaussés. il faut seulement maîtriser le pourcentage des fines.
- Déchets de briques ou tuiles, c'est un excellent sable. à caractéristiques pouzolaniques.
- Déchets de hauts fourneaux (laitier) concassé. pour assises de chaussées stabilisées.

2.9.5. Classification d'après la couleur

Les sables sont rencontrés dans la nature sous plusieurs couleurs sables (blanc. brun. jaune paille. vert. noir. rouge), d'où l'extraction des pigments pour les peintures.

2.9.6. Classification d'après l'utilisation

Chaque produit finis nécessite un type de sable bien spécifique et qui répond à des caractéristiques bien spécifiques :

- sables industriels (fonderie) ;
- sables des verres ;
- sables des briques ;
- sables d'abrasion ; etc.

2.9.7. Classification naturelle

Un classement naturel s'effectue ainsi suivant la densité de sables, leur grosseur. Le transport (J.Etourneur et R. Michel 1971) modifie leur forme (usure mécanique), leur état de surface, leur composition (altération chimique).

2.10. DOMAINES D'UTILISATION

Le sable est un matériau qui présente au tant d'avantages que d'inconvénients.

2.10.1. Avantages

Les avantages des sables sont représentés par leurs utilités:

- domaines des verres : les verres normaux, optiques, colorés, de construction, pyrex, armés ...
- domaines électroniques : Le QUARTZ. est une pièce électronique dans le quasi totalité des instruments électroniques (montre, TV, Radio, commande, vidéo, récepteur de signal, PC,...) ;
- domaine d'énergie solaire : Les cellules photoélectriques sont fabriquées à base de silice ;
- domaine de filtration des eaux usées : Vue la grande stabilité chimique des sables dunaires. Ils sont utilisés comme filtre des eaux usées, afin de les réutiliser pour irrigation et autres ;
- fonderie : Moules ;
- Tourisme : aires de jeux et de plaisance, paysage, petits randonnés ;
- Construction : remblai, ciment, enduit, brique, mortier ;

- Abrasion positive: jet de sable, meule, disque coupant, papier verre, patte à rodé,
- Domaine sanitaire : Bain de sable ;
- Peinture : extraction des pigments des sables colorés pour peinture; barrage pour balles (guerre). radiation ($\alpha.\beta.\gamma$) avec une (épaisseur) > 27 cm. crues d'eaux...
- Pédologie : sable + sol \Rightarrow \uparrow perméabilité \Rightarrow bon drainage \Rightarrow \downarrow salinité ;
- Fabrication de silicones sanitaires et industrielles.
- Matière première pour l'extraction du Silicium (Si);
- Céramique : peintures, faïences ;
- Construction des pyramides (Egypte) et dans le monde ;
- Mesure du temps : montre classique ;

2.10.2. Inconvénients

- l'ensablement des sols fertiles. routes. villes....;
- L'abrasion négative des métaux. verres et toutes choses de dureté moindre;
- Provoque parfois quelques maladies des yeux, des poumons.
- Obstacle parfois pour la projection de routes et voies ferrées;
- Désertification. envahissement des terres fertiles

CHAPITRE 3 : LES MATERIAUX **DU MORTIER**

3.1. INTRODUCTION

Le mortier à base de sable de dunes est un mélange composé de sable, de liant (ciment, chaux hydraulique) et d'eau de gâchage. La qualité de ce mortier est sans doute, liée aux caractéristiques de ses constituants.

Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition du mortier à savoir :

- la masse volumique,
- la granulométrie,
- le taux d'absorption d'eau,
- la composition chimique,
- les propriétés physiques.

3.2. LE SABLE DES DUNES

On a choisi le sable des dunes d'Ain EL-BAIDA (OUARGLA), pour les raisons suivantes :

- Sa qualité et quantité ;
- Son abondance; et
- Sa proximité relative de l'Université Kassedj Merbah.

Dans ce chapitre, le mot sable des dunes est synonyme de sable d'Ain El Baida. Ce sable est caractérisé par une granulométrie serrée (A. S. Al-Harthy, M. Abdel Halim, R. Taha, K. S. Al-Jabri ; 2007).

3.2.1 Caractérisation du sable d'Ain Baida

3.2.1.2. Masses volumiques

Les résultats des essais de la masse volumique apparente (ρ_a) et la masse volumique absolue (ρ_s) des dunes sont :

$$\rho_a = 1441 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 2564 \text{ kg/m}^3$$

3.2.1.3. Analyse minéralogique du sable d'Ain Baida

La figure 3.1 présente le diffractogramme de l'analyse minéralogique du sable des dunes d'Ain Baida, effectué au niveau du laboratoire LEGEM ; Perpignan, France. On peut constater ce qui suit :

- Le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80 %.
- Le gypse se trouve sous forme des grains fins de couleur blanchâtre avec un pourcentage de l'ordre de 3 %.
- Le feldspath et la calcite sont trouvés avec des pourcentages faibles au tour de 10 %.

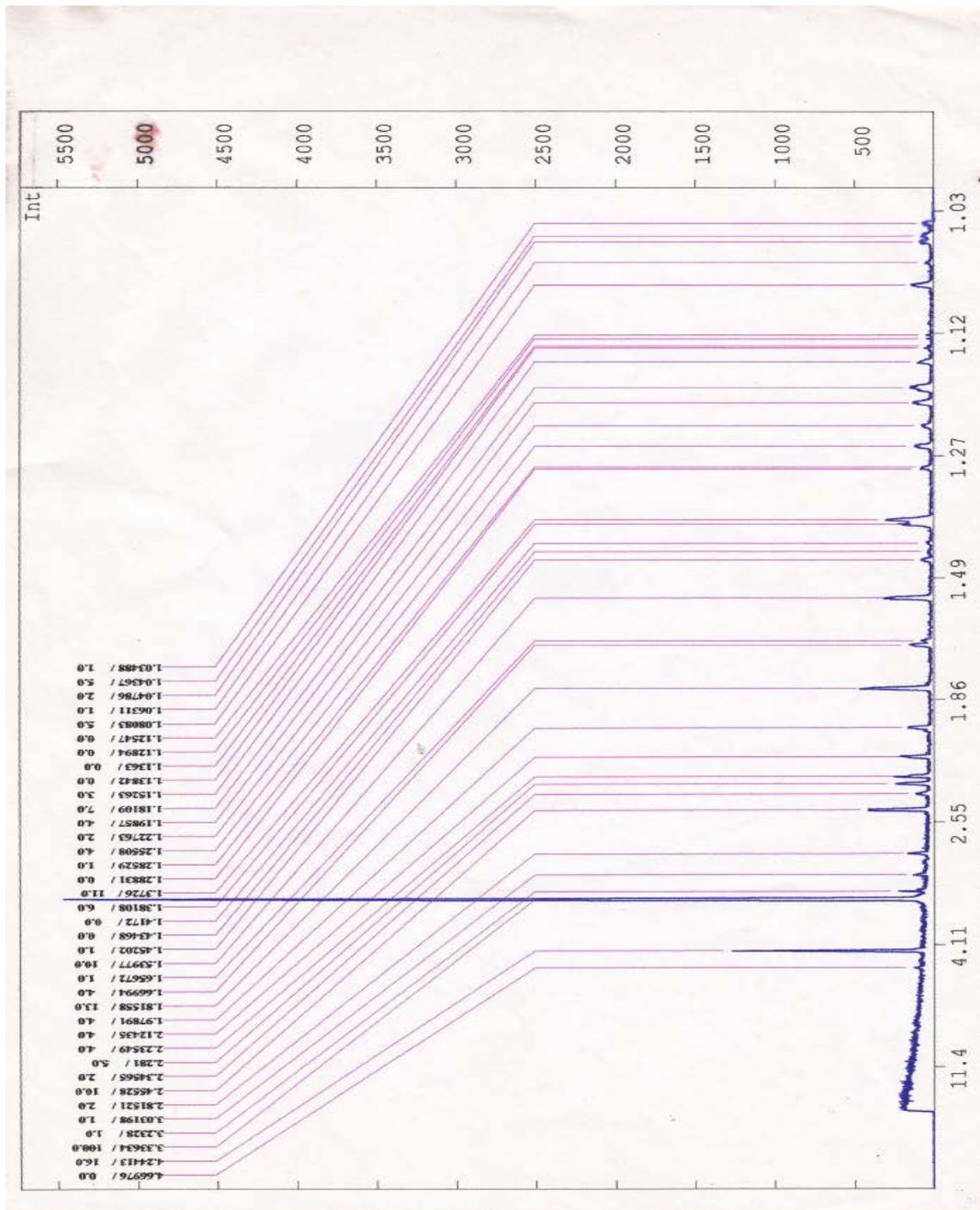


Figure 3.1: Diffractogramme du sable des dunes

3.2.1.4. Analyse chimique

Le tableau 3.1 montre les pourcentages des composants chimiques du sable de dune. Cette analyse est réalisée au laboratoire LTPS de Ouargla.

Tableau 3.1 : Compositions chimique du sable

Composants	% Teneurs
% Fe 2O ₃ - AL ₂ O ₃	0,25
% Ca SO ₄ . 2H ₂ O	2,78
% SO ₄	6,13
% Ca CO ₃	0,44
% Insoluble	86,60
% Na Cl	1,87
% Perte au Feu	1,16

3.2.1.5. Analyse granulométrique

Cet essai est réalisé suivant la Norme NF P18 560. L'échantillon a une masse de 200g. Les résultats obtenus sont présentes dans le tableau 3.2 et sur la figure 3.2.

Tableau 3.2 Analyse granulométrique du sable de dune

Module des tamis	38	35	32	29	26	23	20	/
Ouvertures des tamis (mm)	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08	0
Masses cumulées (g)	0	0	0	0	146.1	171.87	181,62	190,62
Refus cumulés (%)	0	0	0	0	73.05	85.93	90.81	95.31

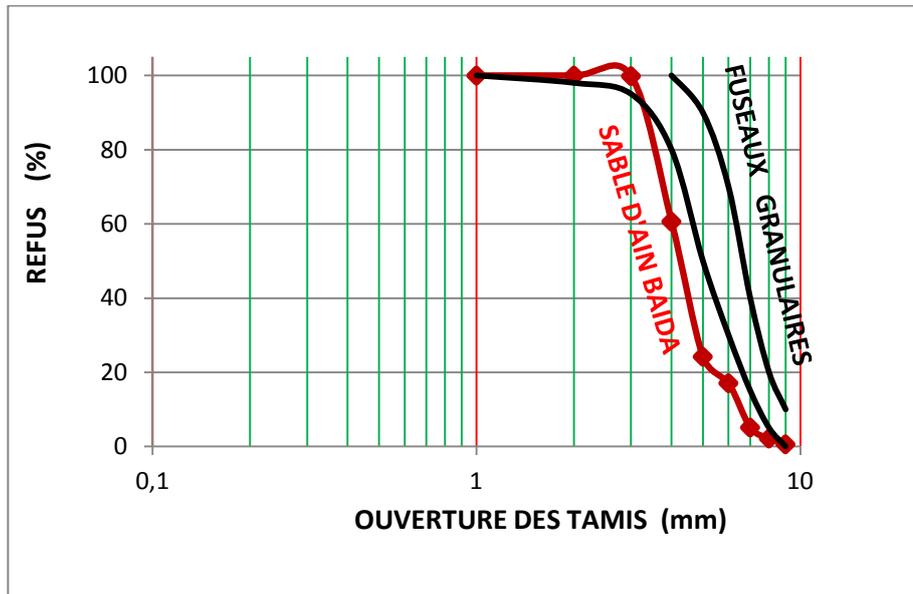


Figure 3.2: Analyse granulométrique du sable d'Ain Baida

La courbe 3.2 montre bien que la granulométrie du sable de dune utilisé a une fourchette serrée, et coupe partiellement la zone du fuseau granulaire admise pour un béton ordinaire caractérisé par une granularité discontinue.

3.2.1.6. Modules de finesse (Norme NF P18 304)

Le module de finesse d'un sable est égal au $1/100^e$ de la somme des refus cumulés des tamis de 0.16 à 5 mm (R. Dupain, R. Lanchon, J. C. Saint- Arromman1995). Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35, 38 (voir tableau 3.2). Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

Dans le cas de la courbe granulométrique du sable normal présenté sur la figure 3.2, son module de finesse est égal à:

$$MF = \sum \text{refus cumulés des tamis de modules (23 + 26 + 29 + 32 + 35 + 38) / 100.} \quad (2.1)$$

Pour le sable utilisé la valeur du module de finesse est la suivante:

$$MF = (7,87 + 00 + 72,17 + 99,86 + 00 + 00) / 100 = 1.80$$

$$MF = 1.80$$

Le module de finesse est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables.

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 1.7 et 2.8.

Notre sable a un module de finesse plus petit que la limite inférieure c'est à dire qu'une majorité de ses éléments sont fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau.

3.2.1.7. Equivalent de sable : (Norme NF P 18 598)

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propriété des sables. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable ; l'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants (R. Dupain, R. Lanchon, J. C. Saint-Arromman 1995) :

- hauteur h_1 : sable propre + éléments fins (floculat).
- hauteur h_2 : sable propre seulement.

On détermine l'équivalent de sable par l'expérience suivante, (Figure 3.3)

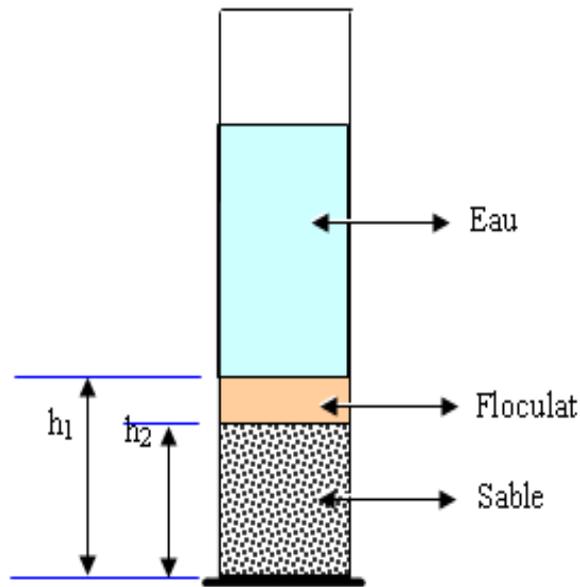


Figure 3.3: Essai équivalent de sable

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (2.2)$$

Les résultats obtenus sont les suivants :

Equivalent de sable visuel	:	$E_{SV} = 97.4$
Equivalent de sable au piston	:	$E_{SV} = 93.8$

Donc ce sable est très propre et acceptable pour la composition du mortier et béton.

3.2.1.8. Coefficient d'absorption d'eau :(Norme NF P 18 555)

Par cet essai, le résultat obtenu est le suivant :

Coefficient d'absorption d'eau = **2,70 % > 2.50**

On remarque que le sable de dune présente un coefficient d'absorption d'eau qui dépasse un peu la valeur admissible, c'est à dire qu'il faut déterminer la valeur d'eau de gâchage nécessaire pour ce type de sable lors d'un gâchage, afin que la fluidité du mortier ne sera pas gêné.

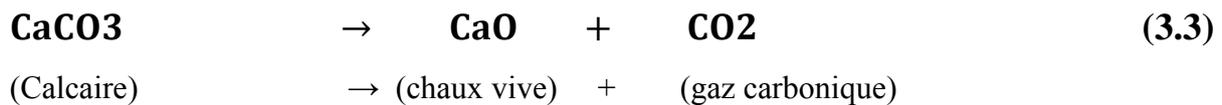
3.3. LA CHAUX

3.3.1. Histoire

La chaux a été découverte par l'Homme préhistorique, à partir du moment où il a maîtrisé le feu. Des pierres calcaires entourant un foyer, et le feu brûlant nuit et jour, celles-ci ont fini par se décarbonater. Sous l'action de la pluie, ces pierres se sont re-hydratées se transformant ainsi en chaux. Les premières traces de la fabrication organisée de la chaux remontent à 10 000 ans avant JC en Mésopotamie. La plupart des peuples de l'antiquité connaissaient la chaux : égyptiens, étrusques, phéniciens, grecs, romains.

3.3.2. Définition

La chaux, substance caustique, solide, est blanche lorsqu'elle est pure, Elle est obtenue par calcination du calcaire et d'autres formes de carbonate de calcium. Selon la formule chimique suivante:



La chaux pure, également appelée chaux vive ou chaux caustique, est constituée d'oxyde de calcium (CaO). Le produit commercial (A. Komar 1978), contient en général des impuretés telles que des oxydes d'aluminium, de fer, de silicium et de magnésium. La chaux traitée par l'eau (M. Duriez, J. Arrambide 1962) dégage une grande quantité de chaleur et se transforme en hydroxyde de calcium, vendu dans le commerce en fûts métalliques et se présente sous forme de morceaux ou de poudre blanche et sous le nom chaux éteinte ou chaux hydratée ou chaux hydrauliques naturelles. Il existe des chaux hydrauliques artificielles qui résultent du broyage (Réunion D'ingénieurs, 1979) simultané de clinker de ciment et de fillers calcaires.

3.3.3. Différents types de chaux

En résumé, selon la roche et le traitement subi, on obtient les différentes chaux citées sur le tableau 3.3 :

Tableau 3.3: Différentes types de chaux ; (M. duriez, J. Arrambide 1962)

TRAITEMENT MATIERE PREMIERE	Calcination au dessus de 900	Extinction par hydratatio	Après tamisage et broyage, produits commercialisés	Nature de la chaux
Calcaire pur	Chaux vive	Non	Chaux vive	Chaux vive
		Oui, Chaux éteinte	Chaux aérienne pour bâtiment CAEB Hydrate de chaux. chaux blutée, fleur de chaux	Chaux aérienne(ou grasse)
Calcaire argileux	Chaux vive + silicates et aluminates	Oui, Chaux éteinte +silicates et aluminates	chaux hydraulique naturelle(XHN)	chaux hydraulique
Clinker +fillers calcaires	Non	Non	Chaux hydraulique artificielle (XHA)	

Parmi les chaux aériennes (Réunion D'ingénieurs, 1979 ; and Gérard baud, 1981), on distingue :

a. La chaux grasse

Obtenue par cuisson de calcaire pur, puis extinction. La densité apparente est de 0.400 et masse volumique 2250 Kg/m^3 , elle dissout dans l'eau. Ceci est un très grave inconvénient.

b. La chaux maigre

Elle est obtenue par cuisson de calcaire marneux ; c'est-à-dire contenant des matières étrangères.

La densité apparente est de 0.500 et sa masse volumique 2300 Kg/m^3 .

3.3.4. Fabrication

3.3.4.1. Extraction

Les roches calcaires sont extraites de carrières à ciel ouvert ou souterraines par abattage à l'explosif, les roches sont chargés par des pelles en butes, puis transportées par camions vers des ateliers de concassage et criblage (Réunion D'ingénieurs, 1979).

3.3.4.2. Fabrication des chaux hydrauliques naturelles

a. Matière première

Ce sont des calcaires argileux (teneur en argile entre 15 et 20%) (Réunion D'ingénieurs, 1979).

b. La cuisson

La cuisson s'effectue dans des fours verticaux, dans lesquels un mélange de pierre et de charbon est introduit à la partie supérieure.

La pierre descend lentement, en traversant une zone de préchauffage (vers 200°) Elle traverse ensuite une zone de calcination (à partir de 900°C).

La zone de cuisson se situe à une température variant entre 1000 et 1200°C la chaux vive recueillie à la sortie du four passe par un traitement destiné à éteindre complètement la chaux libre.

Lorsque aucune addition n'est effectuée, à l'exception facultative de celle du grappiller, le terme pur (Réunion D'ingénieurs, 1979) peut être appliqué à la chaux hydraulique naturelle (XHN pur) ; (A. Komar 1978).

3.3.4.3. Fabrication des chaux hydrauliques artificielles

Les chaux hydrauliques artificielles sont des liants fabriqués à partir de clinker et de fillers calcaires.

3.3.4.4. Extinction des chaux hydrauliques

- par immersion : on met la chaux dans des paniers qu'on plonge dans l'eau; ce procédé est exactement le même que celui utilisé pour éteindre la chaux grasse.

- Par aspersion : on étale la pierre cuite en couche de 15 à 20 cm, on l'arrose légèrement, puis on la retourne et on l'arrose à nouveau de manière que toute la masse soit bien humectée (Réunion D'ingénieurs, 1979).

3.3.4.5. Les caractéristiques physiques retenues par les normes sont

- **La résistance**

Les chaux hydrauliques appartiennent à l'une des trois classes de : 30, 60 et 100. (Norme NF P 15 310 et NF PIS 312) ; (Réunion D'ingénieurs, 1979).

Tableau 3.4: Classes de résistance de la chaux hydraulique

Classe	Résistances à la compression en MPa	
	7 jours	28 jours
30	1	3
60	3	6
100	5	10

- **la masse volumique apparente**

* 650 et 900 Kg/m³ pour les XHN 60 et XHN 100

* 600 et 750 Kg/m³ pour les XHN 30

- **la masse volumique absolue**

Elle varie entre 2600 - 2900 (kg/m³)

- **la couleur**

La chaux hydraulique en poudre est jaune claire avec des nuances grisâtres ; elle est plus claire que les ciments et contient au moins 10% de chaux libre.

- **la granulométrie**

Sa granulométrie doit être telle que refus au tamis d'ouverture de maille 200µm < 10%.

- **la surface spécifique Blaine**

Elle varie entre 3000 -8000 cm²/g.

- **le début de prise**

Elle ne peut pas avoir lieu avant 150 minutes.

3.3.4.6. Les emplois de la chaux

La chaux est utilisée dans la préparation des ciments et des mortiers, ainsi que pour neutraliser les terrains acides en agriculture. Elle est également utilisée dans la fabrication du

papier, du verre, du badigeon (lait de chaux), dans le tannage du cuir, le raffinage du sucre et comme agent adoucissant dans l'eau.

L'eau de chaux, solution alcaline de chaux éteinte dans l'eau, est principalement utilisée en médecine comme anti-acide pour neutraliser les intoxications.

- ***Les emplois de la chaux hydraulique***
 - les enduits
 - les badigeons : eau de chaux
 - mortier de pose et de jointement
 - béton de remplissage
- **Les emplois de la chaux aérienne**
 - les enduits
 - les badigeons : lait de chaux
 - mortier de pose et de jointement
 - les matériaux de construction : brique silico-calcaires (sable+ chaux), les bétons cellulaires.
 - Verre à base de soude et de chaux
 - Mortier (maçonnerie).

3.3.4.7. La chaux d'Ouargla

Le calcaire abonde dans notre région (calcaire de KEM EL ADHEME et de SEBKHAT MELLALA). KEM EL ADHEME située à environ 12 Km sud-ouest de la wilaya passe par la route d'ELGOULIA et a une superficie de 10 Km².

Le calcaire de KEM EL ADHEME est d'âge crétacé, à des bonnes propriétés géophysiques et mécaniques (dure, blanchâtres.) ; (Rapport direction des mines N° 34, wilayat d'Ouargla).

3.4. LE CIMENT

3.4.1 Définition du ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est à dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente (ATHIL, 1998) sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps.

Ce durcissement (Georges Deux Joan Festa 1998) est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

Le ciment est l'élément actif du mortier et du béton; mélangé à l'eau, il constitue une pâte qui enrobe les granulats (Cimbéton , 1997) et joue le rôle de lubrifiant et de colle.

3.4.2. Principe de fabrication des ciments

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes (ATHIL, 1998) :

- Extraction
- Concassage
- Préparation du cru
- Pré -homogénéisation
- Broyage du mélange
- Homogénéisation
- Cuisson
- Refroidissement du clinker
- Broyage du ciment

3.4.3. Le ciment utilisé

Le ciment utilisé est un ciment CEM II – A/32.5 disponible sur le marché, fabriqué par la cimenterie d'AIN TOUTA. Les résultats des essais de la masse volumique et de la masse volumique absolue du ciment utilisé sont ; (**fiche technique**) :

- La masse volumique apparente : $\rho_a = 2120 \text{ kg/m}^3$
- La masse volumique absolue : $\rho_s = 3034 \text{ kg/m}^3$

3.4.3.1. Surface spécifique

Elle est mesurée par comparaison avec un ciment de référence dont la surface spécifique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une poudre de ciment, plus la surface spécifique de cette poudre est importante et plus le temps mis par l'air pour traverser la poudre est longue. Dans les conditions normalisées, la surface spécifique est proportionnelle à \sqrt{t} . L'appareil d'essai est appelé « Perméabili-mètre de Blaine »

La surface spécifique de Blaine est donnée par la formule suivante (**Norme NF P 15 442**) :

$$SSB = \frac{K \sqrt{e^3} \sqrt{t}}{\rho (1-e) \sqrt{\eta}} \quad (3.4)$$

t : temps de passage de l'air dans la couche de la poudre en seconde

η : viscosité de l'air à la température de l'essai

ρ : masse volumique absolue en g/cm³

k : constante de l'appareil

e : porosité

La surface spécifique du ciment utilisé, d'après les essais réalisés au laboratoire de la cimenterie d'Ain Touta est de 3859 cm²/g ; [fiche Technique].

3.4.3.2. Temps de prise

Le temps de prise constitue une indication précieuse pour la mise en œuvre des mortiers et des bétons normaux. Il varie en fonction de la nature du ciment (à prise lente ou rapide), de la finesse de mouture qui favorise l'hydratation et de la température qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et accélère la prise. Il est généralement supérieur à 90 mn pour les ciments courants à une température de 20°C. L'essai de prise est réalisé avec l'appareil de Vicat. Le temps de prise du ciment utilisé est ; [fiche Technique]:

- Début de prise : 02 h 08
- Fin de prise : 03 h 04

3.4.3.3. Caractéristiques chimiques

L'analyse chimique du ciment utilisé d'après [fiche Technique] a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentages dans le tableau (3.5).

Tableau 3.5: Analyse chimique du ciment utilisé

SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	Ca O	MgO	SO₃	Na₂O	K₂O	PAF
21.90	5.73	3.13	60.18	1.85	2.29	0.19	0.83	4.07

Nous remarquons que le ciment utilisé contient des pourcentages appréciables de chaux et de silice % alcalis = Na₂O + 0.658K₂O = 0.736 > 0.6%, mais il n'y a pas le risque de réaction alcalis-granulats car ces derniers ne sont pas des calcaires dolomitiques.

3.4.3.4. Composition minéralogique du clinker

Le clinker est obtenu par la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire et d'argile. Il est composé essentiellement par les quatre phases cristallines qui sont données dans (Tableau 3.6) ci-dessous [fiche Technique].

Tableau 3.6: Analyse minéralogique du clinker

Composés	Silicate tricalcique 3 CaO, SiO ₂ (C ₃ S)	Silicate bicalcique 2 CaO.SiO ₂ (C ₂ S)	Aluminate tricalcique 3 CaO.Al ₂ O ₃ (C ₃ A)	Alumino-ferrite Tétracalcique 4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ (C ₄ AF)
Moyenne	55.05 ± 2.27	19.97 ± 1.85	9.44 ± 0.27	9.27 ± 0.24

On remarque que le clinker a un pourcentage élevé de C₃S, donc il présente de forte résistance initiale.

3.4.3.5. Indices d'hydraulicité

L'indice d'hydraulicité ou indice de Vicat est le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique (A. Komar 1978).

$$I = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO}) \quad (3.6)$$

Pour le ciment utilise $I = 0.44 < 0.5$, donc le ciment est neutre [fiche Technique].

3.5. EAU DE GACHAGE

L'eau utilisée est celle du robinet du laboratoire de génie civil de l'université d'Ouargla. L'eau sert d'une part à l'hydratation du ciment et d'autre part, elle permet la fluidification de la pâte. Dès que l'eau entre en contact avec le ciment anhydre, elle réagit pour se combiner et former les hydrates de ciments.

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de l'université d'Ouargla et elle a donné la constitution du tableau 3.7.

Tableau 3.7: *Composition chimique de l'eau*

Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	K⁺⁺	Na⁺	Cl⁻	NO₃⁻	SO₄⁻	HCO₃⁻	PH
242	125	31	536	755	14.5	755	124	7.75

Les concentrations sont données en mg/l.

3.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques expérimentales de chaque matériau utilisé pour la confection du mortier (sable dunaire, ciment, chaux hydraulique et eau de gâchage).

CHAPITRE 4 : CONFECTION DE BLOC

4.1. INTRODUCTION

Notre étude s'intéresse aux régions sahariennes et notamment la région de Ouargla (Est de l'Algérie). Cette dernière est connue par son climat chaud, la remontée de la nappe phréatique et l'abondance des sables éoliens.

Plusieurs travaux ont été réalisés dans le but d'utiliser des sables dunaires dans le domaine de la construction voir par exemple (Mitiche -Kettab 2007), (Bederina *et al.* 2005); (Cisse and Lequerbe 2000).

L'objectif de cette étude consiste à valoriser le sable des dunes d'Ain el Baida (Ouargla) pour la confection d'une brique qui remplacerait avantageusement la brique de terre non stabilisée ordinaire et qui répond aux exigences suivantes :

- Bonne résistance mécanique (brique quasi-porteuse);
- Bonne isolation thermique;
- Faible ascension capillaire d'eau.

Dans ce chapitre, on va procéder à la confection de plusieurs types de briques crues (30 types) à base de sable dunaire choisi et qui diffèrent entre elles par la nature du liant et sa teneur. Par conséquent, la quantité de sable qui complète l'unité ou le 100 % sera également variable.

Pour chaque type de brique, on a préparé 24 échantillons afin de pouvoir mener les tests suivants sur chaque type de briques:

- Résistance mécanique ;
- Conductivité thermique;
- Vitesse de propagation de son ;
- Absorption d'eau par capillarité ;
- Masse volumique. et
- Porosité.

4.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude couvre la quasi-totalité de la cuvette d'Ouargla, dont la ville d'Ouargla fait partie. La ville d'Ouargla se situe au Sud-Est de l'Algérie, au fond de la basse vallée d'Oued

M'ya. Elle se localise à environ 800 Km d'Alger et est située à une altitude moyenne de 137 mètres. Ses coordonnées géographiques (voir Fig. 4.1) sont 31°58' latitude Nord. 5°20' longitude Est (OZENDA. 1991). La cuvette d'Ouargla couvre une superficie moyenne 99000 ha. Elle s'étale sur une longueur de 55 km de direction Sud-Ouest et Nord-Est.

Elle s'étend entre les coordonnées (UTM. CLARKE 1880)

X=710 000 ; Y=3 530 000 et X=73 000 ; Y=3 600 000

Elle est limitée:

* A l'Ouest : Un plateau calcaireux surplombe la cuvette d'Ouargla à environ 230 m d'Altitude en confluence avec Oued N'sa.

*A l'Est : On constate un plateau, dont les limites ne sont pas nettes, avec une altitude ne dépassant pas 160 m. Les rebords de ce plateau disparaissent souvent sous les sables (Erg Touil. Erg Boukhezana. Elarifdji).

*Au Sud : un massif dunaire recouvre les ruines de Sedrata, son altitude dépasse 155 m.

*Au Nord : Zabret Bouaroua constitue au même temps la limite supérieure de Sebkhet Safioune et de la grande cuvette d'Ouargla (HAMDI AISSA. 2000).

Ain el Baïda se trouve à 10 km au nord-est d'Ouargla. Cette dernière est le cœur économique de l'Algérie grâce au pétrole de cette région, notamment Hassi Messaoud. Sa superficie est de 211.980 km².

Ouargla est une vraie capitale du Sahara. Elle se situe à 190 km à l'Est de Ghardaïa, à 160 km au Sud - Ouest de Touggourt et à 380 km au Sud de Biskra.

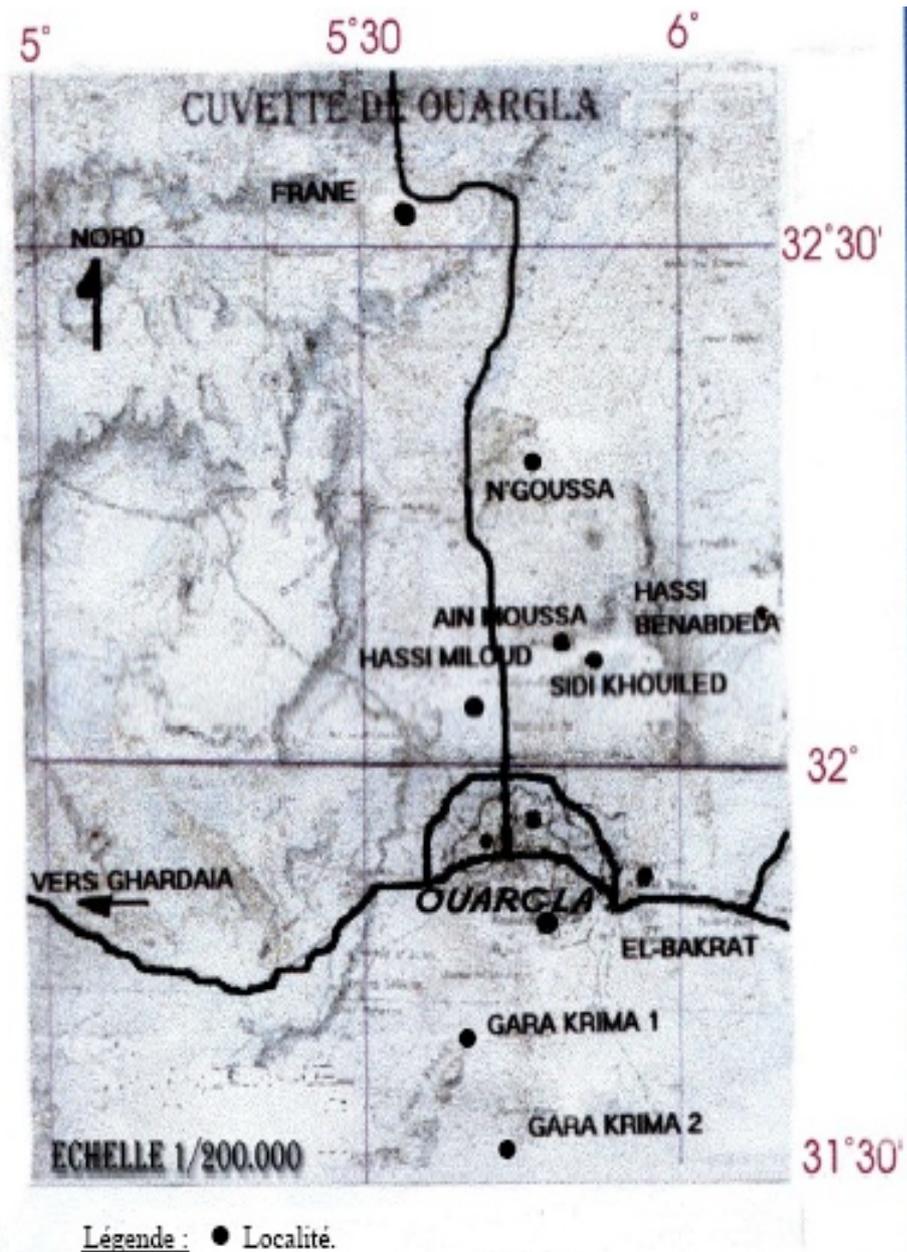


Figure 4.1 : Carte des coordonnées géographiques de la cuvette d'Ouargla. (DUBIEF, 1959)

4.3. FORMULATION THEORIQUE DE MORTIER POUR LA CONFECTION DE BRIQUE

Formuler un mortier, c'est trouver la proportion des différents constituants répondant à des critères techniques et économiques, à partir de matériaux donnés. Il existe deux types d'approches (PNRD, 1994).

*Approche théorique qui constitue une base de formulation de mortier.

*Approche expérimentale basée sur une réalisation de dosages appropriés.

4.3.1. Méthode théorique de formulation des mortiers

Les granulats d'un mortier jouent le rôle d'ossature dans laquelle la pâte assure dans un premier temps un rôle rhéologique (cohésion et écoulement) puis un rôle de colle permettant de développer les propriétés mécaniques et de durabilité du matériau durci. Dans le cas des mortiers ordinaires, la pâte est constituée d'un mélange d'eau, de ciment et de sable.

Formuler un mortier ordinaire consiste alors à optimiser le squelette granulaire par un choix judicieux du sable, puis à combler la porosité par le ciment et l'eau afin d'obtenir l'ouvrabilité désirée. Cette pâte est déterminée par le rapport (Eau / Ciment) pour obtenir une résistance et une durabilité données.

Le problème de la formulation d'un mortier se pose alors en termes d'optimisation de la compacité du squelette granulaire. Cette compacité est définie comme étant le rapport du volume solide sur le volume total correspondant au complément à l'unité de la porosité (PNRD, 1994).

Au début du siècle ? Caquot a pu établir à partir des résultats expérimentaux une relation mathématique entre le volume des vides (v) d'un mélange granulaire et son étendue granulaire (d/D).

$$v = v_0 (d / D)^{1/5}$$

(4.1)

Avec v_0 : constante expérimentale.

L'étendue granulaire selon Caquot est telle que « D » correspond à la dimension du tamis retenant 10% du granulat et « d » dimension du tamis retenant 90% du granulat.

La constante expérimentale prend une valeur de l'ordre de 0.5, en définissant l'étendue granulaire par les dimensions extrêmes du granulat. Des valeurs de l'ordre 0.7 à 0.8 pour la constante expérimentale permettent également d'obtenir une bonne estimation de la porosité du mélange granulaire.

Cette formule sous entend que le mélange défini par son étendue granulaire est optimisé, c'est à dire que la répartition des grains à l'intérieur de cette étendue granulaire est telle que le mélange présente une porosité minimale. Elle est à la base de nombreuses méthodes de formulation des bétons et des mortiers que consistent généralement à définir une courbe granulaire de référence. Nous citons par exemple les méthodes de BOLOMEY, de FAURY et celle de DREUX.

4.3.1.1. Estimation théorique du dosage en fines et de la quantité d'eau

Les fines sont constituées du ciment et de la fraction de sable inférieure à 80 µm. Considérant l'étendue granulaire du sable, il est admis qu'il présente une porosité « ps » définie par la formule de Caquot:

$$ps = 0.75 (0.08 / D)^{1/5} \quad (\% \text{ volumique})$$

(4.2)

Le dosage volumique optimal en fines cherchera à combler cette porosité afin d'optimiser la compacité de l'ensemble granulaire de squelette qu'on peut considérer comme borne inférieure la coupure Caquot à 80 µm. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille des particules pour ces fines. Moyennant quelques hypothèses simplificatrices en désignant par [fines] le volume de l'ensemble des particules inférieures à 80 µm et [v] le volume de vides associé à l'empilement de ces fines Caquot a obtenu le résultat suivant :

$$[fines] = [v]$$

(4.3)

Ainsi le dosage volumique optimal en fines s'écrit en combinant (4.1) et (4.2) :

$$[fines] = 0.38(0.08 / D)^{1/5} \quad (\% \text{ volumique})$$

(4.4)

La constante 0.38 n'a pas ici de caractère absolu mais relatif. Une précision de ± 10% étant tout à fait raisonnable. Cette formule montre que le dosage en fines dépend de la dimension de plus gros granulat « **D** ». Il apparaît clairement que plus le diamètre « **D** » diminue, plus le dosage en fines augmente (Figure 4.2).

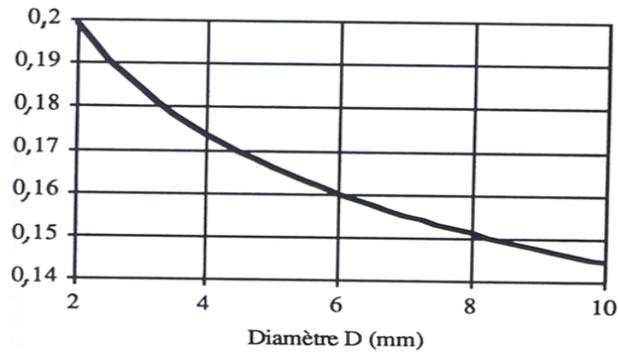


Figure 4.2 : Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines

En admettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau « e » et d'un volume de vides « v », la porosité minimale théorique du mortier est donnée par la formule suivante :

$$(e + v)_{\min} = 0.8[d / D]^{0.2}$$

(4.5)

« d » est défini comme la moyenne harmonique de la dimension des grains du constituant le plus fin. Connaissant la surface spécifique « f » (finesse Blaine exprimé en cm^2/g) et sa densité « ρ » (exprimée en g/cm^3) on a : $d = \frac{60}{f \cdot \rho} \text{ mm}$

Pour estimer la quantité d'eau, il faut évaluer la quantité d'air.

$$[\text{vide}] = k [\text{eau}] \quad (\text{l} / \text{m}^3)$$

(4.6)

K Compris Entre 0.2 et 0.25.

4.3.2. Formulation expérimentale de mortier pour la confection de brique :

La formulation expérimentale du mortier pour la confection de nos briques est composée de 05 mélanges ou compositions (C1. C2. C3. C4 et C5). Six teneurs en liant hydraulique (10%.15%.20%.25%.30% et 35%) sont proposées pour chaque composition c'est-à-dire 5×6 types de brique ont été confectionnées afin de mettre en évidence l'influence du dosage en liant sur les caractéristiques requises de la brique (résistance mécanique. thermique. acoustique. etc.).

Les compositions effectuées sont :

C1 : sable de dune + liant (100 % ciment).

C2 : sable de dune + liant (100 % chaux hydraulique).

C3 : sable de dune + liant (50 % ciment + 50 % chaux hydraulique).

C4 : sable de dune + liant (60 % ciment + 40 % chaux hydraulique).

C5 : sable de dune + liant (40 % ciment + 60 % chaux hydraulique).

On a proposé six teneurs de liant pour chaque composition, ce qui donne trente (5x6) mélanges différents (30 briques différentes). Chaque mélange obéit au tableau suivant :

TABLEAU 4.1 : Teneurs du liant hydraulique

Liant (%)	10	15	20	25	30	35
Sable (%)	90	85	80	75	70	65

Les éprouvettes confectionnées pendant notre expérimentation sont :

- Teneur d'eau de gâchage :
 - À 7 jours. 04 éprouvettes.
 - À 14 jours. 04 éprouvettes.
 - À 28 jours. 04 éprouvettes.
 - Les résistances à la compression :
 - À 7 jours. 04 éprouvettes.
 - À 14 jours. 04 éprouvettes.
 - À 28 jours. 04 éprouvettes.
 - Essai ultra son 03 éprouvettes.
 - Masse volumique 03 éprouvettes.
 - Absorption d'eau 03 éprouvettes.
 - Porosité 03 éprouvettes.
- TOTAL = 36 x 30 compositions égales 1080 éprouvettes.**

4.4. MATERIAUX

La brique à base du béton de sable des dunes est un mélange composé de sable , de liant (ciment et/ou chaux hydraulique) et d'eau de gâchage. La qualité de cette brique est sans doute liée aux caractéristiques de chacun de ses constituants. Dans ce qui suit nous allons examiner les caractéristiques de chaque matériau utilisé.

4.4.1. Sable des dunes

Le sable de dunes est le résultat d'une érosion éolienne et d'une sédimentation de différentes roches suivies d'un transport fluvial ou éolien (Dupain et al., 1995 et Bentata, 2003).

Nous présentons les principales caractéristiques du sable de dunes utilisé dans les tableaux 4.2 et 4.3 et la figure 4.3.

TABLEAU 4.2: Caractéristiques physiques du sable de dunes (Ain El Baida. Ouargla)*

Masse volumique ρ_a (kg/m ³)	Equivalent de sable (Norme NF P 18 598) NF EN 933 – 8		Module de finesse (Norme NF P18 304)
	ESV (visuel)	ESP (piston)	
1440	96.7	94.44	1.80.

* Essais réalisés à LTPS (Laboratoire des travaux publics de sud. Ouargla).

TABLEAU 4.3 : Analyse minéralogique du sable de dunes (Ain El Baida. Ouargla)*. LTPS

COMPOSANTS	Fe 2O3 - Al2 O3	Ca SO4. 2H2O	SO4	Ca CO3	Insoluble	Na Cl	Perte au Feu
POURCENTAGES	0.25	2.78	6.13	0.14	86.60	1.87	1.16

* Essais réalisés à LTPS (Laboratoire des travaux publics de sud. Ouargla).

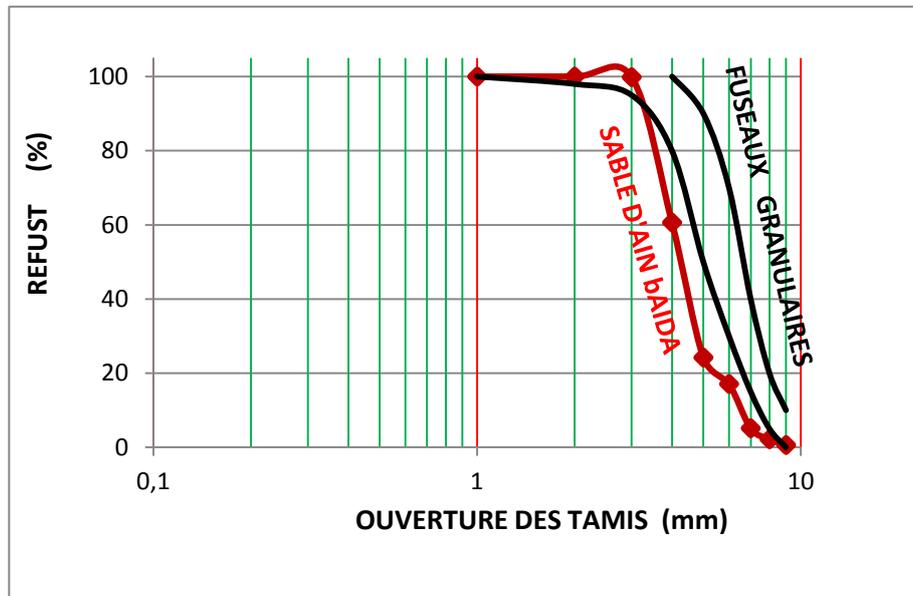


Figure 4.3 : courbe granulométrique du sable de dunes

L'analyse granulométrique montre que le sable de dunes a une granulométrie relativement serrée et ne coïncide pas complètement avec le fuseau granulaire recommandé pour un béton normal

4.4.2. Chaux hydraulique

La chaux hydraulique est obtenue par calcination du calcaire (Delebecque. 1990). La chaux hydraulique utilisée provient de l'usine de Chtaba (Constantine. Algérie). Les caractéristiques de la chaux hydraulique utilisée sont groupées dans le tableau 4.4.

TABLEAU 4.4 : Caractéristiques de la chaux hydraulique XHA 60. ARABI. (1988)

Classe de résistance à la compression (MPa)	Masse volumique Apparente ρ_a (Kg/m ³)	Masse volumique absolue ρ_s (Kg/m ³)	Surface Spécifique Blaine SSB (cm ² /g).
6	650 - 900	2600-2900	3400

Il est à noter que le début de la prise ne peut pas avoir lieu avant 150 minutes.

4.4.3. Le ciment

Le ciment utilisé est du CPJ CEM II – A/32.5 de l'usine d'Ain touta (Batna. Algérie), c'est le ciment le plus disponible sur le marché régional, par conséquent le plus utilisé. Les caractéristiques de ce dernier sont données dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5 : Caractéristiques du ciment utilisé.

ATHIL (1998) ; DEUX (1998) and CIMBETON (1997)

Classe de résistance à la compression (MPa)	Masse volumique apparente ρ_a (Kg/m³)	Masse volumique absolue ρ_s (Kg/m³)	Surface Spécifique Blaine SSB (cm²/g).
30	2120	3034	3859

Il est à noter que le début de la prise est après 3 heures et sa fin est à 7h30.

4.4.4. L'eau de gâchage:

Généralement la teneur d'eau de gâchage (Benna. 2004) est comprise entre 7 et 10 % de la masse sèche (sable + liant). Les essais montrent que cette quantité est insuffisante pour un mortier à base de sable de dune afin d'avoir une bonne mouillabilité et une maniabilité meilleure. L'eau de gâchage est une eau de robinet du laboratoire de génie civil de l'université d'Ouargla avec une salinité acceptable.

Afin de déterminer la quantité d'eau optimale, nous avons réalisé une série d'essais dans le but de déterminer l'influence des différents pourcentages d'eau sur la résistance mécanique à 7 et à 28 jours. Pour cela, on a pris le mélange du milieu ou moyen (composition C3 à 20% de liant. voir tableau 4.7). Le tableau 4.6 montre la variation de la résistance à la compression à 7 et 28 jours en fonction des différents pourcentages d'eau du mélange C3.

TABLEAU 4.6 : Variation de la résistance à la compression à 7 et 28 jours en fonction des différentes quantités d'eau de gâchage

Eau(%)	10	12	14	16
Résistance à 7 jours (MPa)	5.126	4.863	7.363	5.206
Résistance à 28 jours (MPa)	5,30	6.61	10.06	5.343

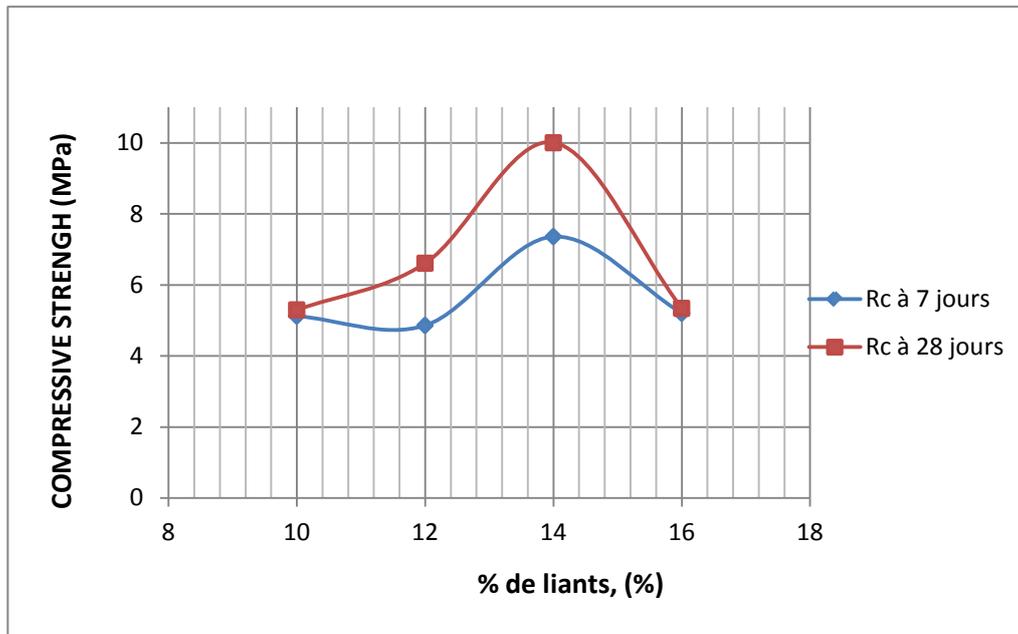


Figure 4.4 : Variation de la résistance en fonction d'âge de différents pourcentages en eau

D'après les courbes de la figure 4.4, on remarque que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du pourcentage d'eau jusqu'à une valeur optimale de 14 %. Cette teneur représente la quantité d'eau convenable pour une hydratation optimale de liant.

Au dessous de 14%, la pâte n'est pas adhérente et le liant est partiellement hydraté. Au dessus de cette valeur, la pâte est presque liquide. L'eau supplémentaire affaiblit la matrice liante et diminue la résistance mécanique par l'augmentation de la porosité des produits.

La quantité d'eau est fixée à 14% en masse du mélange (Liant/Sable), pour tous les essais.

4.5. METHODOLOGIE

4.5.1. Formulation expérimentale du mortier pour la confection de briques

La formulation expérimentale du mortier pour la confection de nos briques est récapitulée dans le tableau 4.7 ci-dessous.

TABLEAU 4.7 : Cinq compositions (pourcentages massiques secs : liant + sable)

		Six dosages de liant Hydraulique					
		10 %	15%	20%	25%	30%	35%
Cinq compositions							
Nombres des échantillons		24	24	24	24	24	24
C1	Sable (%)	90	85	80	75	70	65
	Ciment (100 %)	10	15	20	25	30	35
	Eau (14 %)*	14	14	14	14	14	14
C2	Sable (%)	90	85	80	75	70	65
	Chaux hydraulique (100 %)	10	15	20	25	30	35
	Eau (14 %)*	14	14	14	14	14	14
C3	sable	90	85	80	75	70	65
	Ciment (50 %)	5	7.5	10	12.5	15	17.5
	Chaux hydraulique (50 %)	5	7.5	10	12.5	15	17.5
	Eau (14 %)*	14	14	14	14	14	14
C4	Sable (%)	90	85	80	75	70	65
	Ciment (60 %)	6	9	12	15	18	21
	Chaux hydraulique (40 %)	4	6	8	10	12	14
	Eau (14 %)*	14	14	14	14	14	14
C5	Sable (%)	90	85	80	75	70	65
	Ciment (40 %)	4	6	8	10	12	14
	Chaux hydraulique (60 %)	6	9	12	15	18	21
	Eau (14 %)*	14	14	14	14	14	14

* le pourcentage d'eau de gâchage est déterminé d'après un essai de consistance. (Voir: 4.4. eau de gâchage)

4.5.2. Confection des éprouvettes

Les éprouvettes prismatiques utilisées sont de dimensions (240 × 115 × 52 mm) selon la norme DIN 106 (Dupain *et al.* 1995).

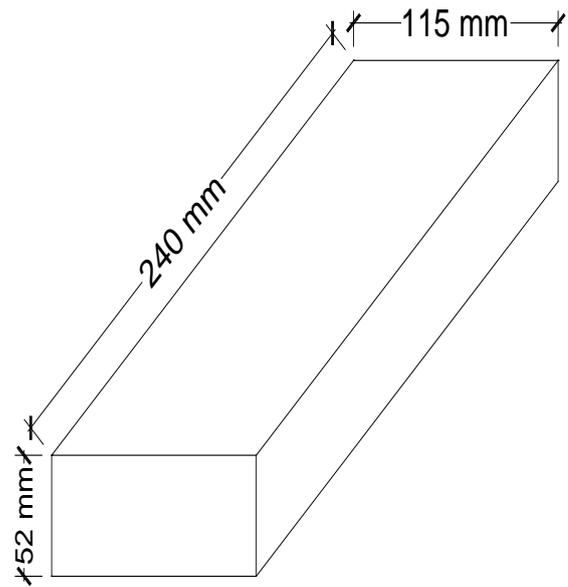


Figure 4.5 : Dimensions de la brique

Les étapes de confection d'une éprouvette sont:

- préparation des moules : nettoyage et graissage;
- pesage des quantités nécessaires de matériaux : sable, ciment, chaux hydraulique et eau;
- malaxage des matériaux (sable de dunes + ciment et /ou chaux hydraulique + eau).

La dernière étape a été exécutée manuellement de la façon suivante:

- malaxage du sable sec avec 1/3 de la quantité globale d'eau durant 30 à 40 secondes jusqu'à obtention d'un sable homogène et bien mouillé;
- ajout de liant (ciment et/ou chaux hydraulique) et le reste d'eau puis malaxage durant 60 à 80 secondes;
- coulage des éprouvettes, en trois couches successives compactées manuellement à l'aide d'une plaque métallique d'épaisseur de 1 cm;
- finition de la paroi supérieure des éprouvettes pour obtenir une surface lisse;
- démoulage des éprouvettes après 24 heures et séchage à l'air libre au sein du laboratoire (Température = 30 ± 5 °C).

4.5.3. Masse volumique

C'est la masse de la brique par son volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à 110 °C ; les résultats sont présentés dans le tableau 4.8 et la figure 4.6.

La masse volumique des briques est croissante avec le dosage du liant.

$$\rho = M / V$$

(4.7)

Où : ρ : masse volumique apparente (kg/m³)

M : masse de la brique sèche (kg)

V : volume de la brique sèche (m³)

TABLEAU 4.8 : Masses volumiques des briques

% de liants	Compositions				
	C1	C2	C3	C4	C5
10	1784	1595	1787	1749	1759
15	1787	1780	1805	1812	1839
20	1941	1829	1900	1899	1864
25	1941	1920	1895	1947	1913
30	2003	1937	1969	1979	1966
35	2035	1902	1954	2007	1974

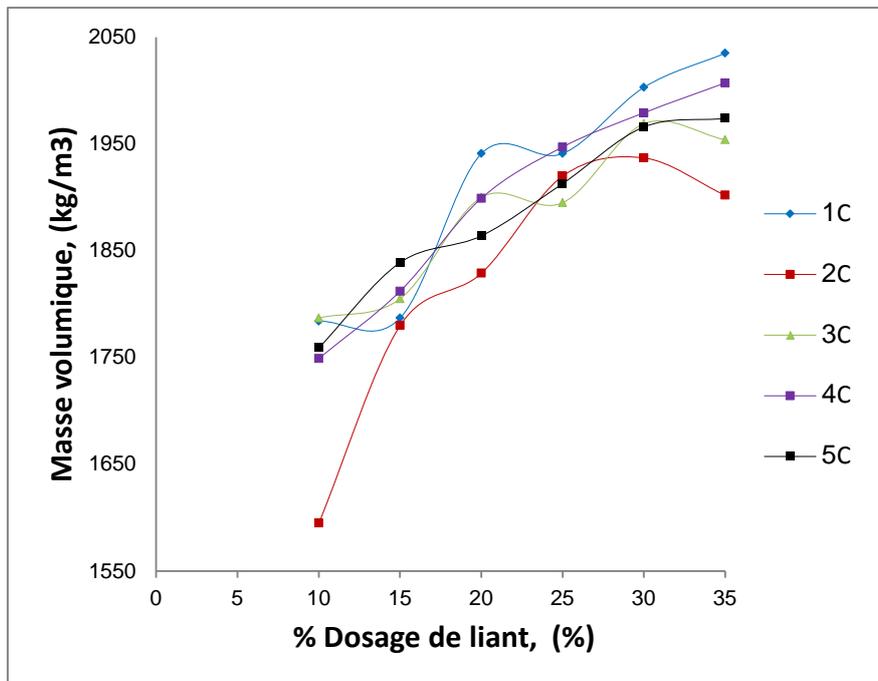


Figure 4.6: Courbe de la masse volumique des éprouvettes de chaque composition

4.5.4. La porosité

La porosité d'un matériau est le rapport entre le volume des pores et le volume total. Les pores des briques sont généralement reliés entre eux. La porosité exerce une influence déterminante sur certaines propriétés de la brique (isolation thermique, résistance au gel, vieillissement. etc.). La porosité est une notion complexe qui ne peut pas se résumer en un chiffre (Renaud. 2002).

Les normes donnent diverses méthodes d'essai relatives à l'absorption d'eau. Elles donnent chacune certaines informations sur la porosité.

La porosité est donnée par la formule suivante (Komar. 1989) :

$$\eta = (1 - \delta_s / \delta_p) \cdot 100$$

(4.8)

Où : η : la porosité

δ_s : la masse volumique absolu (kg/m^3)

δ_p : la masse volumique apparent (kg/m^3)

Le tableau 4.9 résume les résultats obtenus.

TABLEAU 4.9 : La porosité des briques

% de liant	Compositions				
	C1	C2	C3	C4	C5
10	24,80	31,67	33,39	30,33	29,57
15	27,09	28,04	18,32	24,80	20,80
20	17,55	22,89	13,35	19,73	19,08
25	15,83	17,55	11,83	16,41	13,74
30	12,78	16,6	12,40	17,17	14,88
35	11,07	15,64	13,16	12,97	12,02

La porosité diminue avec l'augmentation du dosage du liant

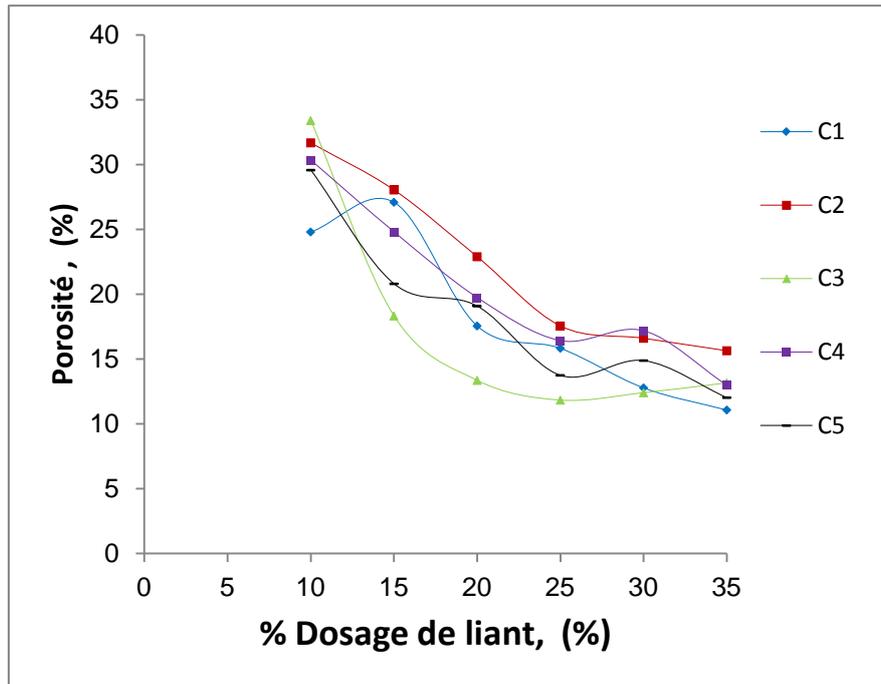


Figure 4.7: Courbe de porosité en fonction du % de liant des éprouvettes de chaque composition

4.5.5. Essai ultrasonique

C'est un essai non destructif très important. Il consiste à mesurer la vitesse du son dans la brique à l'aide d'un appareil comportant une boîte de mesure composé d'un émetteur et d'un récepteur des ondes selon la norme NF P 18.418 (Renaud. 2002 et Deux. 1998). Les résultats de l'essai sur nos briques sont donnés dans le tableau 4.10 et leur variation dans la figure 4.8.

TABLEAU 4.10 : Vitesse du son dans les briques en (m/s)

% de liants	Compositions				
	C1	C2	C3	C4	C5
10	1469	1166	1503	1337	1417
15	1656	1368	1763	1722	2008
20	2232	1722	2088	1992	2385
25	2613	1781	2667	2140	2430
30	2842	1806	2708	2512	2453
35	3006	1933	2751	2613	2826

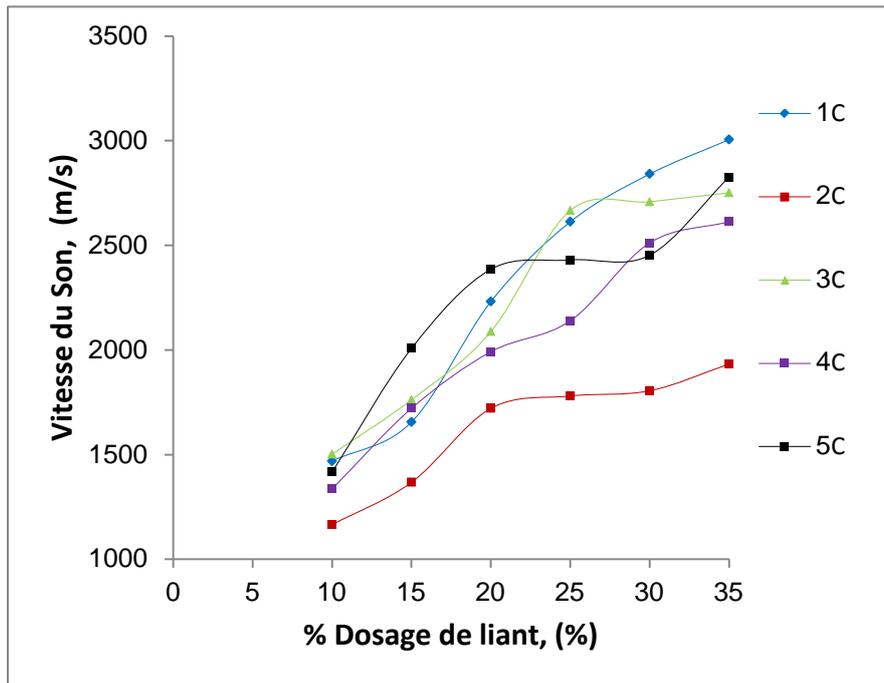


Figure 4.8 : Vitesse de propagation du son en fonction du dosage en liant à 28j

On observe une évolution de la vitesse de propagation du son en fonction de l'augmentation de la teneur en liant dans les différentes compositions

4.5.6. Conductivité thermique :

La conductivité thermique est une grandeur physique qui caractérise le comportement des matériaux lors du transfert de chaleur par conduction. Le coefficient de conductivité thermique λ d'un matériau est la quantité de chaleur traversant le matériau dans un état stationnaire, par unité de surface, de temps et de gradient thermique; l'unité est le (W/m.K°). La conductivité thermique est mesurée par le dispositif (CT- mètre), qui utilise un anneau de type sonde plane, conçu pour s'ajuster entre deux briques plates à mesurer. La conductivité thermique est donnée par la moyenne de trois mesures pour chaque brique dans le tableau 4.11.

TABLEAU 4.11 : Conductivité thermique des briques en (W/m.K°)

% de liants	Compositions				
	C1	C2	C3	C4	C5
10	0,91	0,73	0,88	0,75	0,89
15	0,95	0,85	1,08	0,94	0,93
20	1,23	1,08	1,26	1,03	1,08
25	1,30	1,08	1,33	1,13	1,23
30	1,54	1,11	1,51	1,26	1,42
35	1,70	1,97	1,41	1,16	1,10

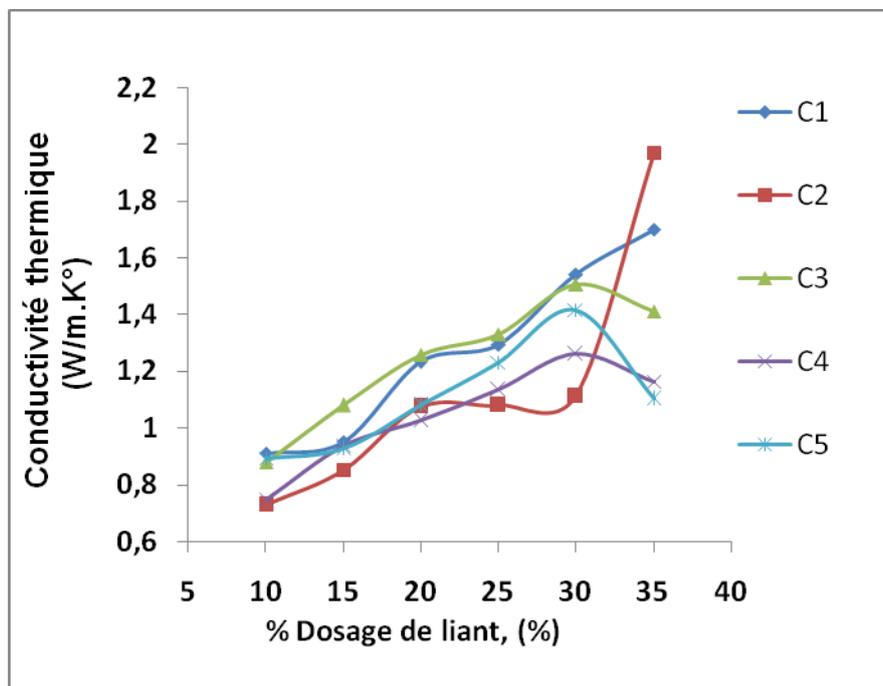


Figure 4.9 : Conductivité thermique en fonction du dosage en liant hydraulique

5.7. Essai d'absorption d'eau par capillarité

L'essai selon la norme NBN B 24.206 est exécuté sur chaque trois échantillons séchés à l'étuve à une température de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante M_1 . Les éprouvettes séchées sont immergées pendant 10 minutes suivant leurs faces de pose dans un récipient placé sur un plan horizontal et rempli d'eau de telle manière que les faces immergées

des éprouvettes se retrouvent à 5 mm au dessous du niveau d'eau. Les éprouvettes sont pesées et leur masse est M_2 . Le pouvoir de succion de l'eau exprimé en g/cm^2 , et est représenté par le coefficient "C" donné par la formule suivante (CNERIB. 1997 et AFNOR. 1984) :

$$C = \frac{(M_2 - M_1) \times 100}{S \sqrt{t}} \quad (4.9)$$

Où:

S : surface horizontale mouillée en (cm^2)

t : temps d'immersion en (minutes)

M_1, M_2 : masse en (g).

TABLEAU 4.12 : Absorption d'eau des briques en g/cm^2

% de liants	Compositions				
	C1	C2	C3	C4	C5
10	40,67	53,53	27,21	43,82	44,39
15	38,40	50,12	16,38	35,23	23,70
20	16,59	40,38	11,34	24,34	20,33
25	15,75	17,47	11,17	17,47	17,18
30	08,30	17,90	09,91	10,02	13,80
35	09,16	15,23	09,09	18,61	09,45

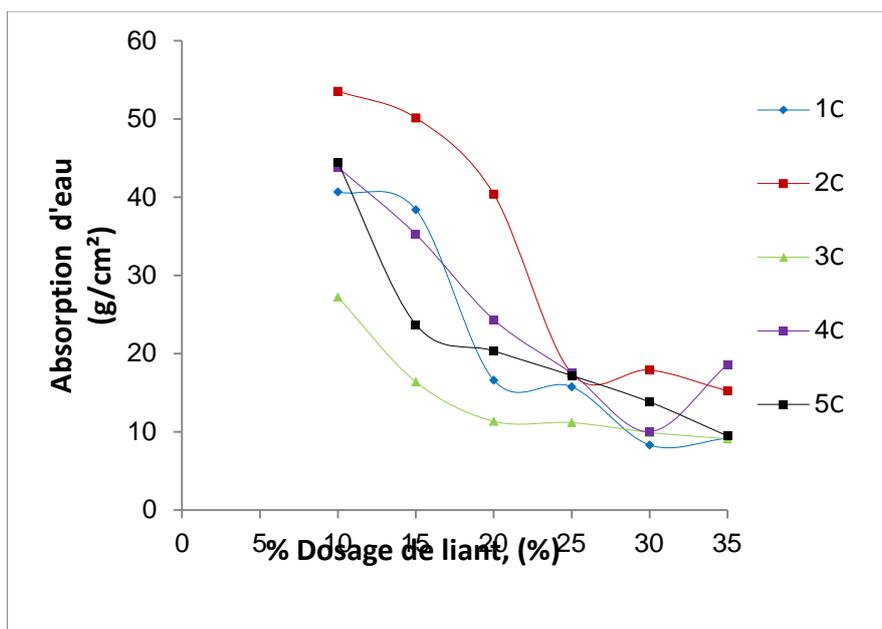


Figure 4.10: Absorption d'eau par capillarité en fonction du dosage en liant hydraulique

On note qu'une réduction d'absorption d'eau est proportionnelle à l'augmentation de la teneur en liant dans les différentes compositions. De même lorsque le dosage en liant augmente le coefficient d'absorption d'eau par capillarité diminue

5.8. Test de résistance à la compression

Cet essai a pour objet la détermination de la résistance à la compression ou la résistance à l'écrasement d'une brique entière (4 échantillons pour chaque test). La presse utilisée est une machine de marque CONTROLS, d'une capacité maximale de 2000 KN. Sa mise en marche s'effectue avec une vitesse de chargement constante de 0.5 MPa/s. selon la norme NBN B 24.201 et NF P 18.406. Le résultat de l'essai de résistance à la compression après 28 jours est donné dans la Figure 4.10. La résistance à la compression sera déterminée par la formule (CNERIB. 1997 et Dupain *et al.*. 1995):

$$R_c = \frac{F}{S_b}$$

(4.10)

Où: R_c : résistance à la compression exprimée en MPa.

F : charge maximale supportée par l'éprouvette en N.

S_b : section brute moyenne de l'éprouvette en mm².

TABLEAU 4.13 : Résistance à la compression des briques en MPa

% de liants	Compositions				
	C1	C2	C3	C4	C5
10	2,63	1,49	2,75	3,5	2,35
15	5,64	2,84	6,29	6,85	5,53
20	10,06	4,69	9,84	8,94	8,68
25	15,06	5,73	14,14	14,56	12,21
30	19,37	6,08	17,55	16,41	15,95
35	24,83	8,72	18,3	19,79	18,20

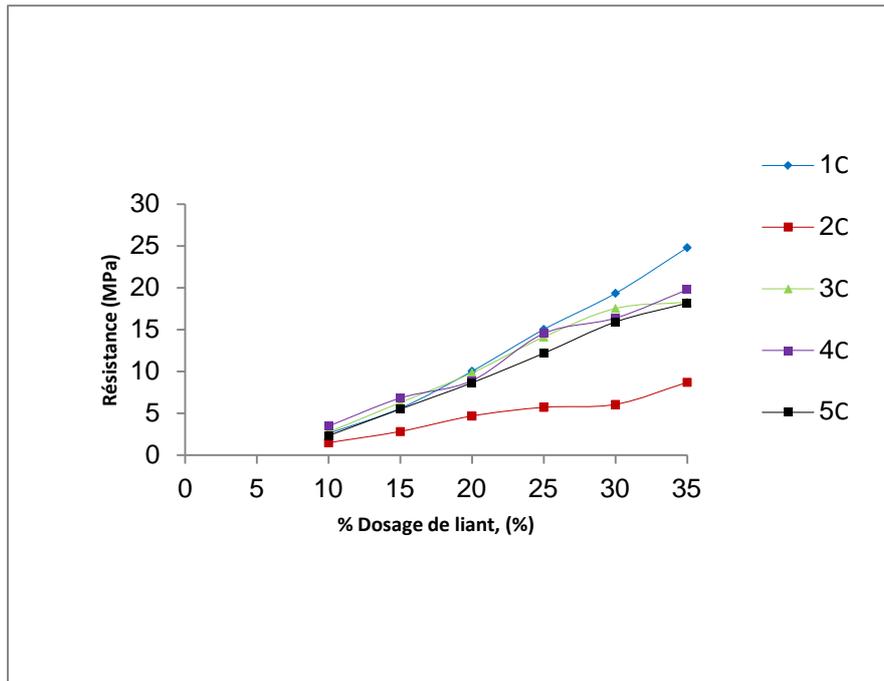


Figure 4.11 : Résistance à la compression R_{c28} en fonction du dosage en liant à 28 j

Il est à remarquer que la meilleure résistance à la compression à 28 jours est obtenue avec la composition C1 où le liant utilisé est le ciment seul.

4.6. RESULTATS

4.6.1. Sable des dunes

Les résultats des différents tests et analyses minéralogiques, exécutés sur nos échantillons de sable éolien, sont respectivement présentés par le tableau 4.1 et le tableau 4.3. La figure 4.3 donne la courbe granulométrique de notre sable tracée sur le fuseau granulométrique recommandé pour un béton normal.

Le graphe de la figure 4.3 montre que le sable utilisé ne coïncide pas complètement avec le fuseau malgré qu'il le traverse dans sa partie inférieure.

D'une manière générale, l'analyse granulométrique montre que le sable de dunes a une granulométrie relativement serrée et ne coïncide pas complètement avec le fuseau granulométrique recommandé pour un béton normal (Dupain *et al.* 1995 et Bentata. 2003). Toutefois, il sera expérimenté pour la formulation de brique.

4.6.2. Eau de gâchage

Pour déterminer la quantité d'eau de gâchage optimale. Nous avons étudié l'influence de différents pourcentages d'eau sur la résistance mécanique à 7 et 28 jours, bien sûr en fixant la quantité de liant.

Nous avons opté pour un mélange dont la quantité de liant est moyenne, comprise entre 10% et 35%, ce qui correspond à la composition C3 à 20% de liant (voir Tableau 4.6 et Figure 4.4 ci-dessus).

D'après la figure 4.4 ? la meilleure quantité d'eau de gâchage est de 14% . ce qui correspond à celle de la plus grande résistance mécanique à 7 et 28 jours.

4.6.3. Masse volumique des briques

La figure 4.5 donne la variation de la masse volumique des briques confectionnées des différentes compositions. La masse volumique des briques est croissante avec le dosage du liant. Cependant la masse volumique est maximale à 30 % pour les compositions C2, C3 et C5.

6.4. Porosité des briques

La figure 4.6 montre que la porosité diminue avec l'augmentation du dosage du liant.

4.6.5. Vitesse de propagation du son dans les briques

La figure 4.7 montre une évolution de la vitesse de propagation du son en fonction de l'augmentation de la teneur en liant dans les différentes compositions. Cela semble s'expliquer par l'augmentation de la compacité dans la matrice.

La compacité est définie comme étant le rapport du volume solide sur le volume total.

4.6.6. Conductivité thermique des briques

L'augmentation de l'isolation thermique dépend de la nature et des pourcentages du liant utilisé. Plus le dosage augmente plus l'isolation thermique diminue, ce qui représente un inconvénient. Cependant la diminution du dosage en liant entraîne une augmentation de l'isolation thermique (Arabi, 1988) qui dépend de la nature et du pourcentage de liant utilisé.

La figure 4.8 montre une évolution de la conductivité thermique en fonction de l'augmentation de la teneur en liant dans les différentes compositions.

4.6.7. Absorption d'eau par capillarité des briques

La figure 4.9 laisse apparaître les résultats de l'absorption d'eau par capillarité.

Il est noté qu'une réduction d'absorption d'eau est proportionnelle à l'augmentation de la teneur en liant dans les différentes compositions. De même lorsque le dosage en liant augmente le coefficient d'absorption d'eau par capillarité diminue. Cette caractéristique est un paramètre qui influe sur l'obtention d'une brique convenable. Les pores existants au sein de la brique influent sur l'absorption d'eau par capillarité; plus le taux de vide augmente plus l'absorption d'eau augmente. Il est perceptible que l'augmentation de la teneur en liant augmente la compacité et par conséquent diminue les vides donc diminue l'absorption.

4.6.8. Résistance à la compression des briques

D'après la figure 4.10, il est remarquable que la meilleure résistance à la compression à 28 jours est obtenue avec la composition C1 où le liant utilisé est le ciment. Par contre la résistance la plus faible est celle de la composition C2 qui renferme 100% de chaux hydraulique comme liant.

L'augmentation du dosage et le choix du liant ont une influence positive sur la résistance à la compression.

En se basant sur la résistance à la compression moyenne de 8 MPa pour un parpaing classe B80 (Delebecque, 1990) prise comme référence pour notre brique BRSD. Il apparaît que les compositions suivantes donnent des meilleures résistances (Voir Figure 4.10) :

- (C1. 20%). (C1. 25%). (C1. 30%). (C1. 35%).
- (C2. 35%).
- (C3. 20%). (C3. 25%). (C3. 30%). (C3. 35%).
- (C4. 20%). (C4. 25%). (C4. 30%). (C4. 35%).
- (C5. 20%). (C5. 25%). (C5. 30%). (C5. 35%).

Si on prend $R > 8$ MPa comme condition d'admission, 17 compositions sur 30 seront admises.

4.6.9. Prix de revient unitaire des briques

Les résultats donnés dans le tableau 4.14 suivant sont issus d'une étude économique (calcul économique) détaillée dans l'annexe.

TABLEAU 4.14 : Prix de revient calculés des différentes compositions.

	Prix de revient d'une brique (DA / brique)					
Teneurs de liants hydrauliques Compositions	10 %	15%	20%	25%	30%	35%
C1	2.07	2.95	4.17	5.12	6.28	7.38
C2	1.19	1.84	2.41	3.09	3.67	4.25
C3	1.69	2.40	3.26	4.04	4.90	5.62
C4	1.73	2.53	3.42	4.30	5.18	6.07
C5	1.59	2.33	3.04	3.82	4.64	5.38

4.5.10. Choix de la brique optimale

Pour choisir la brique optimale, on adopte la méthode numérique suivante :

a. Critère de recevabilité. $R_c > 8$ MPa

Toutes les briques dont la résistance est inférieure à 8 MPa (résistance de parpaing de classe B80. prise comme référence) sont rejetées. Il reste 17 de 30 briques. (Voir tableau 4.15)

TABLEAU 4.15 : Résistance à la compression $R_{c28} > 8$ MPa. de 17 briques.

	Résistance à la compression $R_{c28} > 8$ MPa.				
Composition Dosage en liant	C1	C2	C3	C4	C5
10%					
15%					
20%	C1.20		C3.20	C4.20	C5.20
25%	C1.25		C3.25	C4.25	C5.25
30%	C1.30		C3.30	C4.30	C5.30
35%	C1.35	C2.35	C3.35	C4.35	C5.35

b. Classement qualitatif des 17 briques admises

Le classement qualitatif des 17 briques admises, sera de la meilleure jusqu'à la moins bonne. En affectant des numéros décroissants « N » de 17 à 1, et cela pour les six propriétés de choix suivantes : résistance à la compression (RC) ; vitesse de son (V.S.); conductibilité thermique (C.T.) ; masse volumique (M.V.) ; absorption capillaire (A.C.) ; et porosité (P).

"N" étant le numéro de classement décroissant (ce classement est qualitatif).

TABLEAU 4.16 : Classement des 17 briques suivant le chiffre de qualité décroissante.

Propriétés Briques	N						S1 somme des colonnes
	Rc	VS	CT	MV	AC	P.	
C1.35	17	1	2	1	15	1	37
C4.35	16	8	6	2	3	6	41
C1.30	15	3	4	3	17	5	47
C3.35	14	4	1	8	16	7	50
C5.35	13	2	14	5	14	3	51
C3.30	12	5	5	6	13	4	45
C4.30	11	9	3	4	12	14	53
C5.30	10	10	16	7	9	10	62
C1.25	9	7	9	11	7	12	55
C4.25	8	14	8	9	4	13	56
C3.25	7	6	7	16	11	2	49
C5.25	6	11	15	12	5	9	58
C1.20	5	13	12	11	6	15	62
C3.20	4	15	13	14	11	8	65
C4.20	3	16	10	15	1	17	62
C2.35	2	17	11	13	8	11	62
C5.20	1	12	17	17	2	16	65

La brique optimale pour les six propriétés est la brique dont la valeur de S1 est maximale et qui correspond à C3.20 et C5.20.

Nous pouvons déduire de chaque colonne du tableau 4.16 la brique optimale pour chacune des six propriétés, comme suit :

- Pour la résistance à la compression (R_C) : **C1.35**
- Pour la vitesse de son (V.S.) : **C2.35**
- Pour la conductibilité thermique (C.T.) : **C5.20**
- Pour la masse volumique (M.V.) : **C5.20**
- Pour la absorption capillaire (A.C.) : **C1.30**
- Pour la porosité (P) : **C4.20**

c. Affectation des coefficients « K »

Les critères de choix d'une brique dépendent respectivement des exigences de la région:

- la résistance à la compression.
- la chaleur excessive de la région (LE SAHARA).
- La remontée de la nappe.

Dans le but d'améliorer le choix de la brique au profit des exigences de la région, on introduit les coefficients « **K** » variant de 1 à 4, suivant l'importance des exigences de la région comme suit :

- résistance à la compression; $K1 = 4$ (4. car la brique est supposée quasi porteuse);
- conductibilité thermique ; $K2 = 3$ (3 car la zone d'étude est très chaude. Sahara) ;
- absorption capillaire ; $K3 = 3$ (3 car problème du remontée de la nappe phréatique);
- porosité. $K4 = 2$ (2 car liée à la vitesse du son).
- vitesse de son ; $K5 = 2$ (2 car c'est liée à résistance et à la compacité) ;
- masse volumique ; $K6 = 1$ (1 car moins importante que les autres propriétés) ;

TABLEAU 4.17 : Classement des 17 briques suivant la valeur de « $\Sigma K*N$ ».

Propriétés Briques	K * N						$\Sigma K*N$
	4 * Rc	2 * VS	3 * CT	1 * MV	3 * AC	2*P	
C1.35	68	2	6	1	45	2	124
C4.35	64	16	18	2	9	12	121
C1.30	60	6	12	3	51	10	142
C3.35	56	8	3	8	48	14	137
C5.35	52	4	42	5	42	6	151
C3.30	48	10	15	6	39	8	126
C4.30	44	18	9	4	36	28	139
C5.30	40	20	48	7	27	20	162
C1.25	36	14	27	11	21	24	133
C4.25	32	28	24	9	12	26	131
C3.25	28	12	21	16	33	4	114
C5.25	24	22	45	12	15	18	136
C1.20	20	26	36	11	18	30	141
C3.20	16	30	39	14	33	16	148
C4.20	12	32	30	15	3	34	126
C2.35	8	34	33	13	24	22	134
C5.20	4	24	51	17	6	32	134

Nous remarquons que les six propriétés varient d'une brique à l'autre, mais les valeurs de la colonne « $\Sigma K*N$ » du Tableau 4.17 permettent leur classement décroissant de la meilleure brique à la plus mauvaise. (Voir tableau 4.18 ci-dessous)

TABLEAU 4.18: Classement qualitatif des briques

CLASSE	K* N	BRIQUES
1 la meilleure	162	C5.30
2	151	C5.35
3	148	C3.20
4	142	C1.30
5	141	C1.20
6	139	C4.30
7	137	C3.35
8	136	C5.25
9	134	C2.35 C5.20
11	133	C1.25
12	131	C4.25
13	126	C3.30 C4.20
15	124	C1.35
16	121	C4.35
17 La + mauvaise	114	C3.25

d. Choix de la brique optimale

La brique optimale correspond à une valeur maximale de « $\Sigma K*N$ » du Tableau 4.17 avec "N" le numéro de classement décroissant de chaque propriété.

Nous remarquons que les six propriétés varient d'une brique à l'autre, mais la somme des numéros de classement des propriétés pour chaque brique (composition) permet leur classement décroissant de la meilleure à la plus mauvaise. (Voir tableau 4.17).

La brique optimale qui tient compte des six propriétés de la brique et des exigences de la région d'étude est la brique C5.30 qui correspond à la plus grande valeur « $\Sigma K*N$ » du Tableau 4.17.

4.6. DISCUSSIONS DES RESULTATS

Suite aux résultats expérimentaux obtenus des différents essais mécaniques et physiques, le choix des briques ayant les caractéristiques optimales dont l'aspect technique (résistance à la compression. isolation thermique. etc..) et l'aspect économique (prix de revient du produit) est onéreux.

Les caractéristiques mécaniques et physiques étudiées ont montré que le dosage en liant détermine la variation des caractéristiques c'est-à-dire que l'augmentation du dosage en liant provoque :

- une augmentation de la résistance à la compression ;
- une augmentation de la vitesse de propagation d'ondes soniques à travers les éprouvettes.
- une augmentation de la masse volumique et de la compacité.
- une augmentation de la conductivité thermique.
- une réduction de la porosité ainsi.
- qu'une diminution de l'absorption d'eau par capillarité.

La brique optimale devra avoir les propriétés suivantes :

- Une résistance à la compression. maximale (bonne résistance mécanique) ;
- Une vitesse de propagation du son. minimale (bonne isolation phonique) ;
- Une masse volumique. minimale (brique légère. bonne manutention) ;
- Une conductibilité thermique. minimale (bonne isolation thermique) ;
- Une porosité maximale ;(brique légère) et
- Une absorption d'eau par capillarité. minimale. pour éviter la dégradation de la brique par les sels et les sulfures dissous.

Vu que la bonne qualité des propriétés de brique ne va pas toujours dans le même sens, c'est-à-dire parfois si la résistance augmente l'isolation thermique diminue, chose qui rend le choix d'une brique optimale très difficile. C'est pour cette raison qu'on a fait appel à la méthode numérique utilisée ci-dessus pour résoudre ce problème d'optimisation.

De ce fait, pour chaque propriété on peut avoir une brique optimale, et les deux tableaux 4.16 et 4.17 ont permis d'aboutir aux mêmes résultats (voir tableau 4.16 et 4.17) :

- Pour la résistance à la compression (RC) : **C1.35**
- Pour la vitesse de son (V.S.) : **C2.35**
- Pour la conductibilité thermique (C.T.) : **C5.20**
- Pour la masse volumique (M.V.) : **C5.20**
- Pour la absorption capillaire (A.C.) : **C1.30**

- Pour la porosité (P) :

C4.20

Du point de vue qualité de liant hydraulique, nous remarquons que les briques optimales renferment les liants suivants:

- Le **C1**, deux fois pour la résistance et l'absorption capillaire ;
- Le **C2**, une fois seulement pour la vitesse du son ;
- Le **C5**, deux fois pour la conductibilité thermique et la masse volumique.
- Le **C4**, une fois pour la porosité ; et
- Le **C3**, Zéro fois.

Si on tente d'extraire des tableaux 4.16 et 4.17 la brique optimale qui répond moyennement à toutes les propriétés (six propriétés), le résultat est le suivant:

- Le tableau 4.16. donne deux briques identiques. C3.20 et C5.20. on retient C5.20 vu son prix de revient inférieur et on laisse tomber le C3.20 vu la qualité du liant C3 cité zéro fois (voir au dessus);
- Le tableau 4.17, donne la meilleure brique. C5.30

On conclut que la variation des caractéristiques de la brique est fonction de la nature et du pourcentage de liant dans les compositions.

Dans notre choix, nous avons pris comme référence la résistance à la compression de la brique (parpaing de classe B80) qui est égale à 8 MPa. Ce choix a été fait de manière que la confection de la brique à base de sable des dunes est semblable à celle des parpaings courants.

D'après GUILAUD. H. and CRATERRE (1988) ; KHELAFI. H.(2000) ; BENNA. Y. et al. (2004), la conductivité thermique de la brique d'argile cuite est égale à $1.21 \text{ (W.m}^{-1}\text{C}^{-1}\text{)}$ de ce fait les compositions (C2.15%). (C3.10%). (C4.10%) et (C5.30) donnent nettement de meilleures performances.

Il est à signaler que l'utilisation des compositions précédentes est beaucoup plus dictée par les besoins en termes de caractéristiques physiques et mécaniques souhaitées, c'est-à-dire on peut choisir une autre brique qui diffère de notre choix numérique et qui ne tiendrait pas compte de toutes les exigences de la région.

Les principales caractéristiques qui dictent le choix de la composition sont:

- La brique confectionnée à base de sable de dunes donne une meilleure résistance à la compression d'où on peut l'utiliser comme un élément porteur.
- Pour l'isolation thermique, quelques compositions présentaient une bonne isolation quoique leur résistance à la compression soit faible mais elles sont acceptables dans certaines conditions.

- Concernant les compositions qui présentent un taux élevé d'absorption d'eau par capillarité, il faudrait les éviter dans les zones souffrant du phénomène de la remontée de la nappe surtout au niveau des fondations et des éléments en contact avec le sol.

En se basant sur l'analyse précédente, notre choix sera fait sur la base de deux critères à savoir :

- aspect technique (résistance à la compression. isolation thermique).
- aspect économique (prix de revient).il faut noter que le prix de revient diminue avec la diminution de la teneur en liant.

D'où la brique C5.30 est la brique optimale qui tient compte de toutes les exigences de la région.

4.7. CONCLUSION

La brique optimale a été choisie d'une manière numérique et rationnelle et sur la base des critères suivantes :

- caractéristiques ;
- prix de revient.

L'étude, que nous avons réalisée sur la brique à base de béton de sable de dunes (BRSD), nous a permis d'abord de déterminer les caractéristiques des différents constituants, pour mettre en évidence l'influence de la nature du liant et le dosage en liant sur les caractéristiques mécaniques et physiques des différentes compositions de béton à base de sable de dunes.

Toutefois en prenant en considération dans ce qui a précédé pour un choix adéquat, la brique de composition (C5.30), présente les caractéristiques optimales en comparaison avec les briques commercialisées.

Nous opterons pour la brique de composition C5 avec un dosage en liant 30%.

La brique BRSD optimale est la suivante C5.30, et dont les caractéristiques sont :

Le prix de revient de C5.30 est de 4,64 Dinars Algériens, c'est un prix très avantageux par rapport à celui de la brique de référence (parpaing B80 à 20 Dinars Algériens, la brique)

La composition C5 de la brique retenue sera comme suit :

- 8 % de ciment CPJ 32.5 ;
- 12 % de chaux hydraulique XHA60 ;
- 80 % de sable de dunes;
- 14 % d'eau.

Avec les caractéristiques mécaniques et physiques suivantes :

- Résistance à la compression $R_{28} = 15.95 \text{ MPa}$;
- Conductivité thermique $\lambda = 0.86 \text{ (W.m}^{-1} \text{ .}^{\circ}\text{C}^{-1})$;
- Vitesse de propagation du son $V = 2452.8 \text{ m/s}$;
- Coefficient d'absorption d'eau par capillarité $C = 13.80\%$;
- Masse volumique $\rho = 1488 \text{ Kg/m}^3$.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS DES BLOCS

Dans la région d'étude (CUVETTE DE OUARGLA. ALGERIE), le sable éolien est la substance minérale la plus abondante et la seule roche divisée en grains (minéraux libres).

La géologie met en évidence la présence de plusieurs types de sables dunaires dont les caractéristiques physico-chimiques sont voisinentes excepté les sables des anciens Oueds.

L'abondance, la proximité et la qualité ont guidé notre choix vers le sable d'AIN EL BAIDA, OUARGLA, ALGERIE.

L'étude du sable consiste à bien connaître ses caractéristiques, chimiques, physiques et minéralogiques.

Le sable d'AIN EL BAIDA est bon dans l'ensemble : propre, de granulométrie touchant le fuseau, ses grains très solides (+86% quartz), dépourvus de sels, de la matière organique et d'argile.

On exige pour notre valorisation des sables éoliens, une utilisation massive (quantitative) et directe (brute. sans traitement), c'est pourquoi on a choisi le créneau des matériaux de construction plutôt que d'autres domaines comme la verrerie qui nécessite une haute pureté et qui exige un traitement préalable, ou la piézoélectricité qui demande une petite quantité de l'ordre d'un grain de silice de taille variable.

La quantité de sable dans notre brique à base de béton de sable de dunes (BRSD) est comprise entre 65% et 90% (pourcentage massique).

Vu le bon prix et la disponibilité, on a choisi les liants hydrauliques suivants :

- le ciment CPJ32.5 ; avec un indice d'hydraulicité de 0.411. c'est-à-dire un ciment neutre et courant ;
- la chaux hydraulique XHA60 ; avec un indice d'hydraulicité de 0.384. c'est-à-dire une chaux hydraulique neutre et courante ; et

- un mélange entre les deux. avec des proportions variables).

Cinq compositions ont été proposées pour la confection de notre brique BRSD :

C1 : sable + eau + ciment ;

C2 : sable + eau + chaux hydraulique ;

C3 : sable + eau + mélange (50% ciment + 50% chaux hydraulique) ;

C4 : sable + eau + mélange (60% ciment + 40% chaux hydraulique) ;

C5 : sable + eau + mélange (40% ciment + 60% chaux hydraulique).

Pour chaque composition six doses de liant ont été proposées de 10% à 35% avec un pas croissant de 5% ce qui donne 6 x 5 variantes de mortier et six tests sur chaque type de mortier pour la brique BRSD.

Afin de mener les tests essentiels sur chaque brique, on prépare 25 briques de chaque variante de mortier, c'est-à-dire le nombre de tests effectués est de 6 x 5 x 25 soit 750 tests.

La brique optimale était choisie d'une manière numérique et rationnelle et sur la base des critères suivants :

- Caractéristiques techniques ; et
- Prix de revient.

L'étude que nous avons réalisée sur la brique à base de béton de sable de dunes, nous a permis de faire une comparaison des caractéristiques des différents constituants. pour mettre en évidence l'influence de la nature du liant et le dosage en liant sur les caractéristiques mécaniques et physiques des différentes compositions de béton à base de sable de dunes.

Toutefois en prenant en considération tout ce qui précède pour un choix adéquat, la brique de composition (C5.30), présente les caractéristiques optimales en comparaison avec les briques commercialisées.

Nous opterons par conséquent pour cette brique dont les caractéristiques sont :

- Son prix de revient est de 4.64 Dinars Algériens : c'est un prix très avantageux par rapport à celui de la brique de référence (parpaing B80 à 20 dinars algériens. la brique)
- Sa composition sera comme suit :
 - **8 % de ciment CPJ 32.5 ;**
 - **12 % de chaux hydraulique XHA60 ;**
 - **80 % de sable de dunes;**
 - **14 % d'eau.**
- Avec les caractéristiques mécaniques et physiques suivantes :
 - **La résistance à la compression $R_{28} = 15.95$ MPa ;**
 - **La conductivité thermique $\lambda = 0.86$ (W.m⁻¹.°C⁻¹) ;**
 - **La vitesse de propagation du son $V = 2452.8$ m/s ;**
 - **Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité $C = 13.80\%$;**
 - **La masse volumique $\rho = 1488$ Kg/m³.**

RECOMMANDATIONS

Nous recommandons la continuation des études sur notre brique BRSD comme suivant:

- Une brique BRSD perforée,
- Une brique BRSD armée par des fibres naturelles de palmiers dattiers,
- Une brique BRSD avec d'autres ajouts qui améliorent ses propriétés.

TABLES DES MATIERES

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MILIEU NATUREL.

1.1. INTRODUCTION.....	1
1.2. SAHARA SEPTENTRIONAL	1
1.2.1. Définition.....	1
1.2.2. Relief géomorphologique	2
1.2.3. La géologie	3
1.2.4. Le climat.....	9
1.2.5. La végétation.....	9
1.3. ZONE D'ETUDE (Cuvette d'Ouargla)	10
1.3.1. Situation géographique du site	10
1.3.2. Le climat.....	14
1.3.2.1. <i>Températures</i>	14
1.3.2.2. <i>Précipitations</i>	15
1.3.2.3. <i>Humidité relative</i>	17
1.3.2.4. <i>Vents</i>	17
1.3.2.5. <i>Evaporation</i>	18
1.3.2.6. <i>Insolation</i>	19
1.3.2.7. <i>Synthèse climtique</i>	20
1.3.2.7.1. <i>Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN</i>	20
1.3.2.7.2. <i>Climagramme d'Emberger</i>	21
1.4. CADRE GEOLOGIQUE	22
1.4.1. Cadre géologique local.....	22
1.4.1.1. <i>Introduction</i>	22
1.4.1.2. <i>Lithostratigraphie</i>	22
a- Le Barrémien	23
b- L'Aptien	23
c- L'Albien	23
d- Le Vraconien	23
e- Le Cénomaniens.....	23
f- Le Turonien	24
g- Le Sénonien	24
h- Le Sénon-Eocène.....	25
i- Le Mio-Pliocène.....	25
j- Le Quaternaire.....	26
1.4.2. Ressources hydriques.....	31
1.4.2.1. Hydrographie.....	31
1.4.2.2. <i>Oued M'ya</i>	32
1.4.2.3. <i>Oued N'sa</i>	33
1.4.2.4. <i>Oued M'zab</i>	33

1.5. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	34
1.5.1. Topographie.....	35
1.5.2. Tectonique.....	35
1.5.3. Géomorphologie.....	35
1.5.3.1. <i>La Hamada (le Plateau)</i>	38
1.5.3.2. <i>Les glacis</i>	38
1.5.3.3. <i>Les dépressions</i>	38
1.5.3.3.1. <i>Les dayas</i>	38
1.5.3.3.2. <i>Les lits d'Oueds</i>	38
1.5.3.3.3. <i>Les Sebka et les Chotts</i>	39
1.5.3.3.3.1. <i>La Sebka</i>	39
1.5.3.3.3.2. <i>Le Chott</i>	39
1.5.3.3.4. <i>Dunes</i>	40
1.6. L'HYDROGEOLOGIE.....	40
1.6.1. Continental intercalaire (CI)	40
1.6.2. Complexe terminal (CT)	42
1.7. PEDOLOGIE	45

CHAPITRE 2 : LES SABLES.

2.1. INTRODUCTION.....	47
2.2. MATERIAUX GRANULAIRES.....	47
2.3. LES SABLES	48
2.3.1. Définition des sables	48
2.3.1.1. Quartz	48
2.3.2. Formation des sables	50
2.3.3. Origine du sable.....	50
2.3.3.1. Le sable allochtone.....	50
2.3.3.2. Le sable autochtone.....	50
2.3.4. Les différentes formes d'accumulations sableuses.....	51
2.3.4.1. Les nebkas	51
2.3.4.2. Barkhanes.....	51
2.3.4.3. Dunes paraboliques.....	52
2.3.4.4. Dunes longitudinales.....	53
2.3.4.5. Les dunes en dômes.....	53
2.3.4.6. Dunes pyramides ou étoile.....	54
2.3.4.7. Couvertures sableuses.....	54
2.3.5. Quantité de sable déplacée.....	54
2.4. ECHANTILLONNAGE.....	55
2.5. ETUDE DES SABLES	60
2.5.1. L'analyse morphométrique	60
2.5.2. L'analyse morphoscopique	60
2.5.3. L'analyse exoscopique	60
2.5.4. L'analyse granulométrique	61

2.5.4.3. Analyse des résultats.....	65
2.5.4.2. Calculs des paramètres statistiques.....	63
2.5.4.1. Les données d'analyse granulométrique.....	61
2.5.4.2. Calculs des paramètres statistiques.....	63
2.6. LA DENSITE DES SABLES.....	65
2.7. EQUIVALENT SABLE.....	67
2.8. ANALYSES CHIMIQUES DES SABLES.....	73
2.8.1. Les insolubles.....	74
2.8.2. Les sulfate.....	75
2.8.3. Les carbonate.....	76
2.8.4. Les sels	77
2.9. CLASSIFICATION	77
2.9.1. Classification d'après la genèse.....	77
2.9.2. Classification d'après la granulométrie.....	78
2.9.3. Classification d'après la minéralogie	79
2.9.4. Classification d'après l'origine.....	79
2.9.5. Classification d'après la couleur.....	82
2.9.6. Classification d'après l'utilisation	82
2.9.7. Classification naturelle.....	82
2.10. DOMAINES D'UTILISATION	82
2.10.1. Avantage	82
2.10.2. Inconvénient.....	82

CHAPITRE 3 : LES MATERIAUX DU MORTIER.

3.1. INTRODUCTION.....	85
3.2. LE SABLE DES DUNES	85
3.2.1 Caractérisation du sable d'Ain Baida	85
3.2.1.2. Masses volumiques	85
3.2.1.3. Analyse minéralogique du sable d'Ain Baida.....	85
3.2.1.4. Analyse chimique	87
3.2.1.5. Analyse granulométrique	87
3.2.1.6. Modules de finesse (Norme NF P18 304)	89
3.2.1.7. Equivalent de sable : (Norme NF P 18 598).....	89
3.2.1.8. Coefficient d'absorption d'eau :(Norme NF P 18 555)	90
3.3. LA CHAUX	91
3.3.1. Histoire.....	91
3.3.2. Définition	91
3.3.3. Différents types de chaux.....	92
3.3.4. Fabrication.....	93
3.3.4.1. Extraction	93
3.3.4.2. Fabrication des chaux hydrauliques naturelles.....	93
3.3.4.3. Fabrication des chaux hydrauliques artificielles.....	93
3.3.4.4. Extinction des chaux hydrauliques	94

3.3.4.5. <i>Les caractéristiques physiques retenues par les normes</i>	94
3.3.4.6. <i>Les emplois de la chaux</i>	95
3.3.4.7. <i>La chaux d'Ouargla</i>	95
3.4. LE CIMENT	96
3.4.1. Définition du ciment.....	96
3.4.2. Principe de fabrication des ciments.....	96
3.4.3. Le ciment utilise	96
3.4.3.1. Surface spécifique	97
3.4.3.2. Temps de prise	97
3.4.3.3. Caractéristiques chimiques	97
3.4.3.4. Composition minéralogique du clinker.....	98
3.4.3.5. Indices d'hydraulicité	99
3.5. EAU DE GACHAGE	99
3.6. CONCLUSION	99

CHAPITRE 4 : CONFECTION DE BRIQUES.

4.1. INTRODUCTION	100
4.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	100
4.3. FORMULATION THEORIQUE DE MORTIER DE BRIQUE	102
4.3.1. Méthode théorique de formulations des mortiers	103
4.3.1.1. Estimation théorique du dosage en fine et la quantité d'eau....	104
4.3.2. Formulation expérimentale de mortier pour confection de brique	105
4.4. MATERIAUX	106
4.4.1. Sable des dunes.....	106
4.4.2. Chaux hydraulique.....	108
4.4.3. Le ciment	108
4.4.4. L'eau de gâchage.....	108
4.5. METHODOLOGIE	110
4.5.1. Formulation expérimentale du mortier pour la confection de briques.	110
4.5.2. Confection des éprouvettes.....	111
4.5.3. Masse volumique.....	114
4.4.5.4. La porosité.....	114
4.5.5. Essai ultrasonique.....	115
4.5.6. Conductivité thermique..... ²²²²²²	117
4.5.7. Essai d'absorption d'eau par capillarité.....	118
4.5.8. Test de résistance à la compression.....	120

4.6. RESULTATS.....	120
4.6.1. Sable des dunes.....	120
4.6.2. Eau de gâchage.....	121
4.6.3. La masse volumique des briques.....	121
4.6.4. La porosité des briques.....	121
4.6.5. Vitesse de propagation du son dans les briqu.....	121
4.6.6. Conductivité thermique des briques.....	122
4.6.7. Absorption d'eau par capillarité des briques.....	122
4.6.8. Résistance à la compression des briques.....	122
4.6.9. Prix de revient unitaire des briques.....	123
4.5.10. Choix de la brique optimale.....	123
4.6. DISCUSSIONS DES RESULTATS.....	129
4.7. CONCLUSION.....	131

CONCLUSION GENERALE.....	133
---------------------------------	------------

RECOMONDATION.....	135
---------------------------	------------

TABLES DES MATIERES	136
----------------------------------	------------

REFERENCES	141
-------------------------	------------

ANNEXES.....	150
---------------------	------------

BIBLIOGRAPHIES

N.B. (nota bene) :

Toutes les références internet, en langue arabe et d'autres ont été mentionnés dans le texte sous forme de note de bas de page, sans être re-mentionner ci-dessous.

ALIEV.M., 1972. Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz au Sahara algérien. (Tome 1) SONATRACH- ALGER, 275p.

AMEL E., 2003. Les dunes du Tafilalet (Maroc) : dynamique éolienne et ensablement des palmeraies. Sécheresse n° 2, vol. 14, pp . 73-84.

ARRUS R, 1985. L'eau en Algérie. Edition. Office de Publications Universitaire, Alger : 1-31.

ANDRE CAILLEUX, 1965. Que sais jeu ? Les roches. 5eme édition, presses universitaires, PP 126, France.

ATHIL, 1998. Guide Pratique pour l'Emploi des Ciments, Edition Eyrolles. pp. 1-32

AL-HARTHY A. S., ABDEL HALIM M., TAHA R., AL-JABRI K. S., 2007. The properties of concrete made with fine dune sand m science direct. Elsevier construction and building materials 21 (2007) 1803-1808,

ALVISET. L. 1994. Matériaux de Terre Cuite. C905 pp. 10-13 et C906. pp.1-2. Techniques de l'Ingénieur.

AFNOR, 1984. Recueil de Norme Française Bâtiment Maçonneries. Edition. AFNOR.

ARAB. A. and MELBOUCI B, 1999. Analyse des propriétés du béton de terre stabilisée en fonction de certaines caractéristiques physiques d'un sol. CNAT revue. CONSTRUIRE N °

35. Edition. Centre national d'animation des entreprises et de traitement des infrastructures du secteur de la construction. pp.12 -13.

ARABI. N. 1988. Etude des Briques silico-calcaire à base de laitier granule. Mémoire de Magister. Université d'Annaba.

AUBOUIN J., BROUSSE R., LEHMAN J.P. 1975. Précis de géologie T. 1. Pétrologie. Édition Dunod. Paris

AUMASSIP G., LEFÈVRE P. et ROUVILLOIS M. 1972. Aperçu sur l'évolution du paysage quaternaire et le peuplement de la région d'Ouargla, p 205-257.

BEL F. & DEMARGNE F. 1966. Etude géologique du Continental intercalaire, ANRH, Alger, Algérie, 22p.

BEL F. & CUCHE D. 1969. Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p.

BELLAOUEUR A. 2008. Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région d'Ouargla, soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solutions palliatives (Sahara septentrional, Algérie).

BOUTMEDJET A, 2004. Etude technico-économique d'une nouvelle exploitation Agricole SONATRACH (Gassi Touil). Mémoire d'ingénieur d'état. I.A.S.Ouargla, 134p.

BONNARD & GARDEL, 2004. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II, rapport final, 110p.

BUSSON G. 1970. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p.

BELHAJ N et H. KHATTELI. 1994. La dynamique des dunes dans le Sud- Ouest tunisien. Sécheresse n° 4, vol.5, pp : 245-249.

BOUDAD L., 2003. Etude préliminaire de la dynamique des dunes continentales dans les Sud-Est marocain (Tafilalt, Maroc). Sécheresse n° 3, vol.14, pp:149-156.

BENTATA. I. 2003. Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune . Mémoire de Magister. Université d'Ouargla. pp.38-56.

BEDERINA. M. KHENFER. M. M. DHEILLY. R. M. and QUENEUDOC. M. 2005. Reuse of locale sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concrete research. Volume 35. Issue 6. pp. 1172-1179.

BENNA Y. BEDJOU S. AIT SAID. S. AMARA. M. and GUETTACHE B. 2004. Valorisation des sables des dunes : Identification et caractérisation des sables de dunes. Rapport de phase N° 2. CNERIB. Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme.

BENNA Y. BEDJOU. S. AIT SAID. S. AMARA. M. and GUETTACHE B. 2004. Valorisation des sables de dunes : Effets des additions sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des mortiers a base de sables de dunes. Revue de l'Ecole nationale des Travaux Publics. Semestrielle N° 41. Pages 21-25.

CAPOT-REY R., 1952. Les limites du Sahara français. Edition. Inst. Rech. Sah., Alger. Tome VIII. pp. 23-47.

CASTANY G., 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie.. Edition. DUNOD, Paris.233p.

CHAHMA A. 2005. Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional algérien cas des régions d'Ouargla et Ghardaïa, Thèse, Université Baji Mokhtar, Annaba, Algérie.

CIMBETON, 1997. Fiches techniques CIM Béton. C2/1 ciment.

CISSE. I.K. and LAQUERBE. M. 2000. Mechanical characterization of filler sand cretes with rice husk ash additions study applied to Senegal cement and concrete research 30. pp. 13-18.

CNERIB, 1988. Béton de Terre Stabilise. Edition. CNERIB.

CNERIB, 1997. Règles de Conception et de Calcul des Maçonnerie. DTR (C2-45). Edition. CNERIB. pp. 58-63. Alger.

CORNET, 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne.. Géog. Phys et Géol. Dyn. Volume VI. fasc 1, P.5-72.

CVIJANOVICH B.G. , 1952. Le vent et le déplacement des sables au Sahara. T.8 I.R.S.

DELEBECQUE. R. 1990. Éléments de Construction Bâtiment Edition. Delagrave. pp.28-81. Paris.

DERRUAU M., 1967. Précis de géomorphologie. Edition. Masson, Paris. 415 p.

DESTRAC J.-M., LEFAIVRE D., MALDENT Y., VILA S. 1996. Mémotech de génie civil. Collection A. Copplier ; édition CASTEILLA, Paris

DEUX. G. and FESTA. J. 1998. Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants. Edition. Eyrolles. pp.25-41.

DOMINIQUE & MICHELE FREMY, 1991. Encyclopédies QUID. Édition Robert Laffont.

DUBIEF J., 1952. Le vent et le déplacement du sable au Sahara. Edition Inst. Rech. Sah., Alger. Tome VIII. pp. 123-163.

DUBIEF J., 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Edition. Service des études scientifiques, Alger.

DUBIEF J., 1959. Le climat du Sahara. Edition. Inst. Rech. Sahar., Alger. Mémoire h.s. Tome I. 307 pages.

DUPAIN. R.. LANCHON R. SAINT. J. C. and ARROMMAN, 1995. Granulats, sols, ciments et bétons. Edition. Castille. Paris.

DURIEZ M., ARRAMBIDE J., 1962.Nouveau Traité De Matériaux De Construction Edition DUNOD. Paris.

DUTIL P. & SAMI C. 1960. Essai de bilan hydrologique du chott d'Ouargla. La V journée de l'hydraulique, pp.309-314, Grenoble 1960.

ETOURNEUR J. et MICHEL R. 1971. Géologie du génie civil. Collection U Librairie ARMAND COLIN, PP 724, PARIS

GEORGES DEUX et JOAN FESTA, 1997. Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants. Edition. DUNOD, Paris.

GERARD BAUD, 1981. La Construction de Bâtiment : Maçonnerie Et Béton Arme. Edition Spes.

GRANDET C.I., 1948. Le déplacement de sable éoliens et la formation des dunes désertiques .T.5 I.R.S. .

GUENDOUZ A et MOULA. A.S, 1992 - 1995. Etude hydro chimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. 1er rapport interne 1992 et 2eme rapport interne 1995 CDTN/DDHI.- Alger, 30p et 60p.

HALASSA YOUNES, 2007. La cartographie géotechnique de la région d'Ouargla. Mémoire de fin d'étude. Université d'Ouargla.

HALILAT M.T. 1998. Etude expérimentale de sable additionné d'argile (comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques). Doctorat INA, paris Grignon, pp. 45-46.

HAMDI A. 2001. Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla), Approche micro- morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. INA Grignon, Paris.

HERVE CHAMLEY, 2000. Base de la sédimentologie. Edition. DUNOD. 2EME éditions, .PARIS, 174p

IDDER T, 1998. La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara Algérienne. Impact des rejets d'origine agricole et urbain et techniques de remédiassions proposées. L'exemple d'Ouargla. Thèse de doctorat. Université d'Angers, p.p.20-78.

KHELAF A, 1996. Problématique d'assainissement et évacuation des eaux usées de la cuvette d'Ouargla. Direction d'hydraulique, 3p.

KHELAFI. H. 2000. Contribution à l'étude expérimentale de la brique silico-calcaire. Séminaire d'Université de Biskra. pp. 171-177.

KILIAN C. 1931. Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc .Géol. Fr. Paris.

KOMAR A., 1989. Matériaux et éléments de construction. 4eme édition, édition MIR PP 539, Moscou.

LATRECH D., 1997 : Eaux et sols d'Algérie. Edition. A.N.R.H. Alger. 60 p.

LEGHRIEB A. 2007. Influence des eaux de la nappe phréatique sur les ouvrages hydrauliques et génie civile (cuvette d'Ouargla). Mémoire de fin d'étude, université d'Ouargla.

LE HOUEROU H.N., 1969. La végétation de la Tunisie steppique (avec référence aux végétations analogues d'Algérie, de Libye et du Maroc). Annales INA. N° 42. T. 5. Tunis. pp.624.

LE HOUEROU H.N. 1990. Définition et limites bioclimatiques du Sahara. Sècheresse, 1 (4) .pp. 246-259.

MATHIEU C. et PIEHAM F., 1998. Analyse Physique des Sols. Méthodes Choiesies. Tec et Doc-Paris. Pp. 1-70

MONOD T., 1992. Sable de désert. Sècheresse, 3(1). pp. 7-24.

MORCEAU M., BRACE G., 2000. Dictionnaire des sciences de la terre. Edition TECHNIP Paris, Pages.1096

OUAJA M. 2003. Etude sédimentologique et paléobotanique du Jurassique moyen- Crétacé inférieur du bassin de Tataouine. PhD, Université Claude Bernard. Lyon 1,164p.

OLDACHE E., 1988. Contribution à l'étude de la fixation des dunes dans les régions d'El Mesrane (W. de Djelfa) et Bou Saada (W. de M'Sila).Thèse doctorat, Université Mostaganem.

OULED BELKHIR CHEIKH, 2001. Contribution à l'étude et l'établissement du bilan hydraulique de la cuvette d'Ouargla (Sahara Nord-Est septentrional). Thèse magistère, université d'Ouargla.

OZENDA P, 1991. Flore de Sahara. 3 édition mise à jour et augmentée. Paris, Editions du CNRS. 662 pages. + Cartes.

POMEROL C., FOUET R., 1965. Les roches sédimentaires. Que sais-je ? N° 595, P.U.F. , Paris

POMEROL CH., BLONDEAU A.. 1980. Initiation à la géologie-mémento de géologie. Édition Boubée., Paris.

POMEROL CH., LAGABRIELLER YVES, MAURICE RENARD, 2005. Elément de géologie. Édition DUNOD Paris.

PROJET NATIONAL DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT 1994. Béton de Sable, caractéristiques et pratiques. Presses de l'école des ponts et de chaussées, p.237. Paris.

RENAUD. H. 2002. Murs Poutres Planchers. Edition. Eyrolles. pp. 52-71.

REUNION D'INGENIEURS, 1979. Matériaux de Construction, Edition Eyrolles.

ROUVILLOIS-BRIGOL M. 1975. Le pays d'Ouargla (Sahara Algérien). Variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Edition. Dép.de géo. Univ.de Sorbonne, Paris.

SELTZER P., 1946. Le climat de l'Algérie. Edition. Institut de météorologie et de physique du globe. Alger. 218 p.

TOUTAIN G., 1979. Eléments d'agronomie saharienne, de la recherche au développement. Edition. I.N.R.A., Paris. 276 p.

UNESCO, 1970. Projet ERSS : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport final- Paris.

ANNEXES :

ANNEXE 2A

TABLEAU 2.I: Les pourcentages des refus cumulés

	% des refus cumulés														
D. des tamis	E.01	E.02	E.03	E.04	E.05	E.06a	E.06b	E.07	E.08	E.09	E.10	E.11	E.12	E.13	E.14
50	99.90	96.92	99.89	99.71	99.97	98.57	96.55	98.91	99.98	99.80	99.66	99.99	99.55	99.97	99.9
100	98.41	96.92	94.98	94.00	97.74	98.57	93.40	96.16	97.11	93.51	97.75	99.61	96.58	99.30	94.4
125	93.07	88.36	75.48	86.31	82.53	98.55	87.88	84.76	91.67	84.29	92.74	96.98	87.63	97.83	79.4
160	79.60	71.07	55.98	78.33	63.89	98.54	79.20	65.50	83.89	74.24	85.17	94.63	74.57	91.33	47.9
200	46.04	51.21	36.75	70.32	46.18	98.53	66.82	44.42	75.07	65.92	76.98	92.12	46.70	75.33	24.0
250	4.38	25.66	14.88	55.68	15.42	98.50	34.59	19.07	59.29	50.81	63.96	80.44	4.62	18.71	7.0
315	4.38	10.74	4.73	39.15	2.02	98.31	8.60	6.16	39.88	26.95	48.34	58.81	0.12	1.49	2.3
400	1.22	5.33	0.947	17.94	0.32	97.98	1.83	0.96	17.64	8.83	23.92	27.82	0.09	0.27	0.3
500	0.33	2.74	0.25	7.06	0.09	97.41	0.81	0.17	5.65	3.33	9.13	6.24	0.05	0.16	0.0
630	0.02	0.92	0.06	0.90	0.034	89.73	0.37	0.05	1.05	0.69	4.16	0.34	0.03	0.09	
800	0	0.72	0.02	0.17	0	56.61	0.16	0	0.39	0.28	3.27	0.13	0.02	0.05	
1000	0	0.71	0	0	0	9.89	0.07	0	0.06	0.21	1.87	0	0	0.01	
1250	0	0.69	0	0	0	1.13	0	0	0	0.19	0.60	0	0	0	
2000	0	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.01	0	0	0	
2500	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	

TABLEAU 2.II: Les pourcentages des fréquences relatives

	% des fréquences relatives														
D. des tamis	E.01	E.02	E.03	E.04	E.05	E.06a	E.06b	E.07	E.08	E.09	E.10	E.11	E.12	E.13	E.14
50	99.90	96.92	99.89	99.71	99.97	98.57	96.55	98.91	99.98	99.80	99.66	99.99	99.55	99.97	99.9
100	98.41	96.92	94.98	94.00	97.74	98.57	93.40	96.16	97.11	93.51	97.75	99.61	96.58	99.30	94.4
125	93.07	88.36	75.48	86.31	82.53	98.55	87.88	84.76	91.67	84.29	92.74	96.98	87.63	97.83	79.4
160	79.60	71.07	55.98	78.33	63.89	98.54	79.20	65.50	83.89	74.24	85.17	94.63	74.57	91.33	47.9
200	46.04	51.21	36.75	70.32	46.18	98.53	66.82	44.42	75.07	65.92	76.98	92.12	46.70	75.33	24.0
250	4.38	25.66	14.88	55.68	15.42	98.50	34.59	19.07	59.29	50.81	63.96	80.44	4.62	18.71	7.0
315	4.38	10.74	4.73	39.15	2.02	98.31	8.60	6.16	39.88	26.95	48.34	58.81	0.12	1.49	2.3
400	1.22	5.33	0.947	17.94	0.32	97.98	1.83	0.96	17.64	8.83	23.92	27.82	0.09	0.27	0.3
500	0.33	2.74	0.25	7.06	0.09	97.41	0.81	0.17	5.65	3.33	9.13	6.24	0.05	0.16	0.0
630	0.02	0.92	0.06	0.90	0.034	89.73	0.37	0.05	1.05	0.69	4.16	0.34	0.03	0.09	
800	0	0.72	0.02	0.17	0	56.61	0.16	0	0.39	0.28	3.27	0.13	0.02	0.05	
1000	0	0.71	0	0	0	9.89	0.07	0	0.06	0.21	1.87	0	0	0.01	
1250	0	0.69	0	0	0	1.13	0	0	0	0.19	0.60	0	0	0	
2000	0	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0.19	0.01	0	0	0	
2500	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0	0	

ANNEXE 2B

NB:

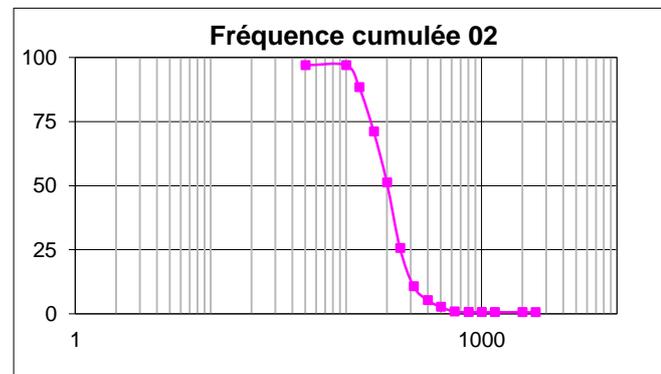
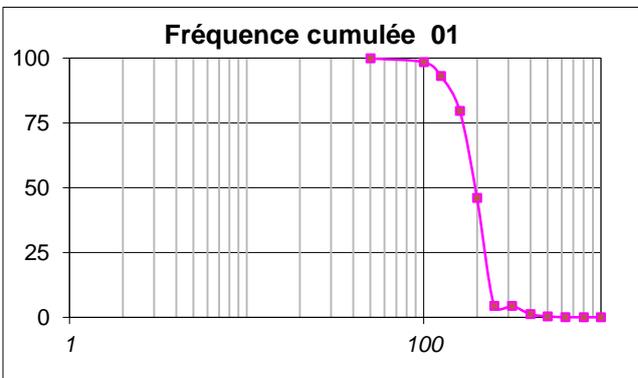
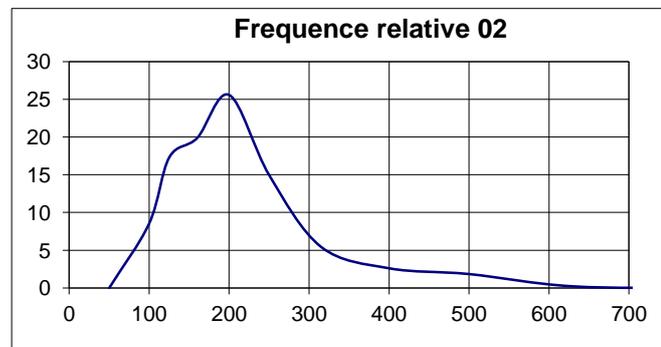
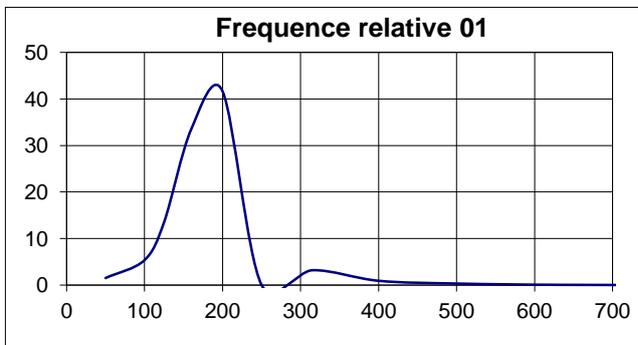
Le mode ; la médiane ; Q1 et Q3, toutes ces valeurs sont déduites graphiquement des courbes de fréquences cumulée et relative (voir la définition de chacune dans le chapitre 2).

Echantillon n°01

Mode	[160 , 200[	180
Médiane	190	
Q1	165	
Q3	220	
Hq =(Q3-Q1)/2	27,5	

Echantillon n°02

Mode	[200 , 160[	180
Médiane	200	
Q1	150	
Q3	260	
Hq =(Q3-Q1)/2	55	

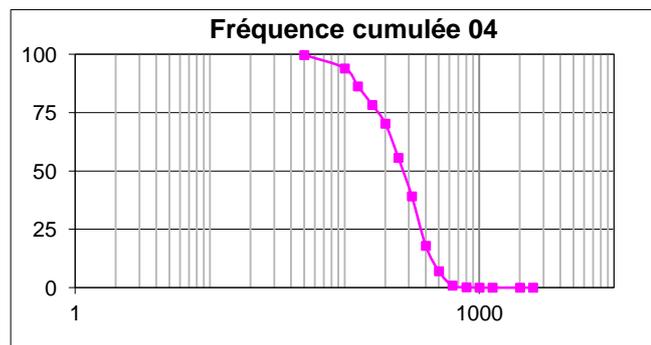
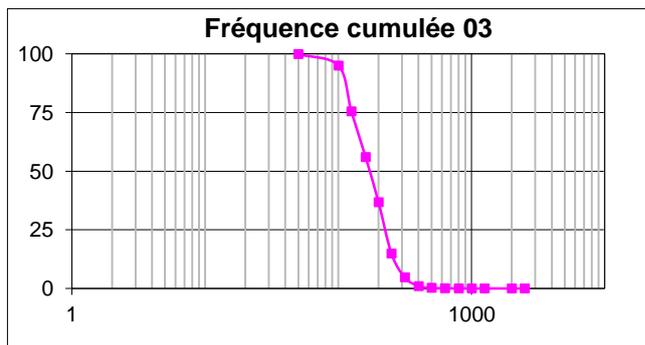
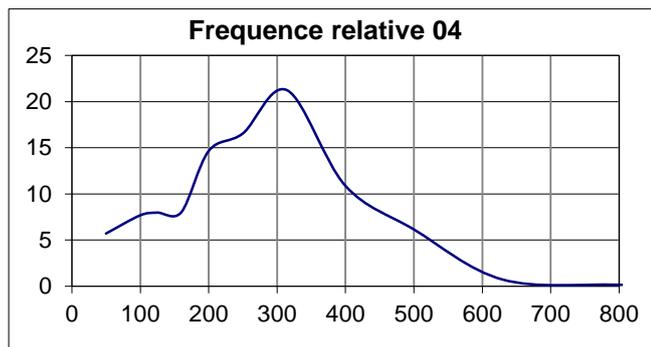
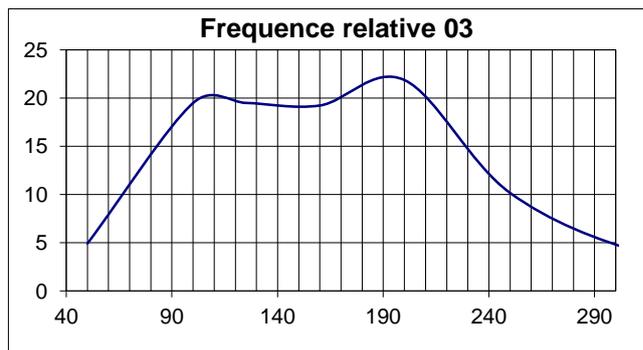


Echatillon n°03

Mode	[200 , 160[	190 graphiquement
	[125, 100[	109
Médiane	160	
Q1	150	
Q3	220	
Hq =(Q3-Q1)/2	35	

Echatillon n°04

Mode	[315 , 250[	310 graphique
calculer		
Moy,Ar	[315, 250[	282,5
Médiane	270	
Q1	180	
Q3	380	
Hq	100	

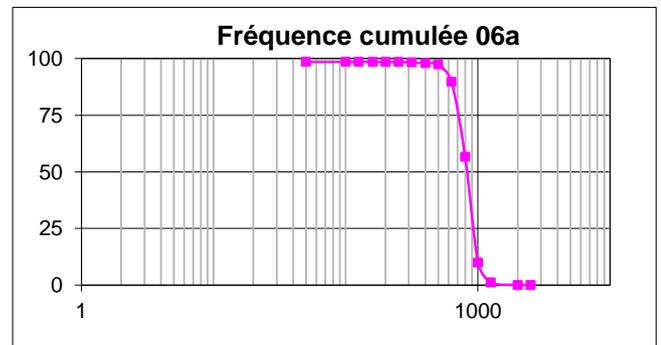
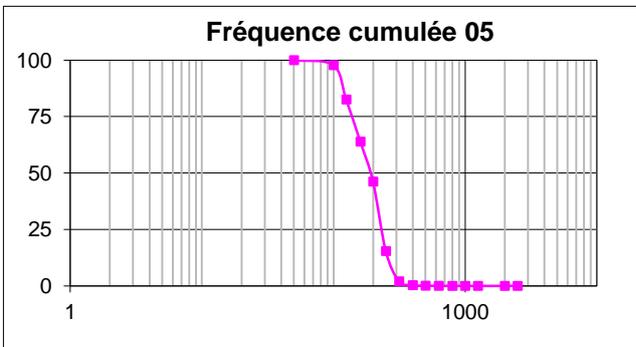
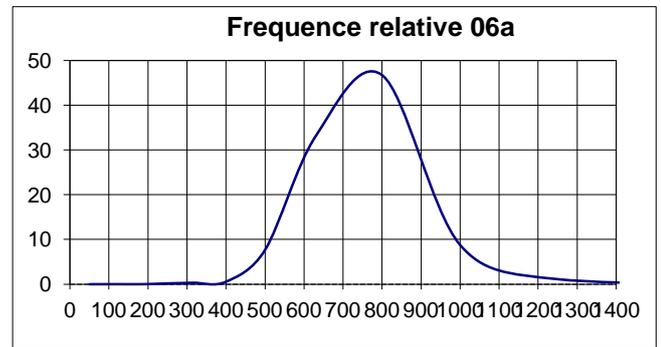
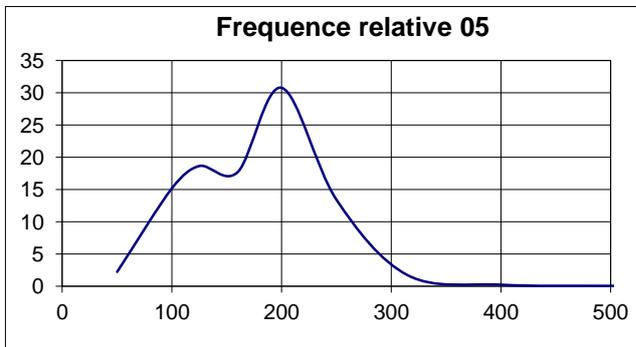


Echantillon n°05

Mode	[200 , 160[	200 graphiquement
	[125 ,100 [	125 graphiquement
calculer		
Moy,Ar	[200, 160[	180
	[125 ,100 [	112,5
Médiane	270	
Q1	180	
Q3	380	
Hq =(Q3-Q1)/2	100	

Echantillon n°06a

Mode	[800 , 630[	710 graphique
calculer		
Moy,Ar	[800 , 630[	715
Médiane	830	
Q1	710	
Q3	925	
Hq =(Q3-Q1)/2	107,5	

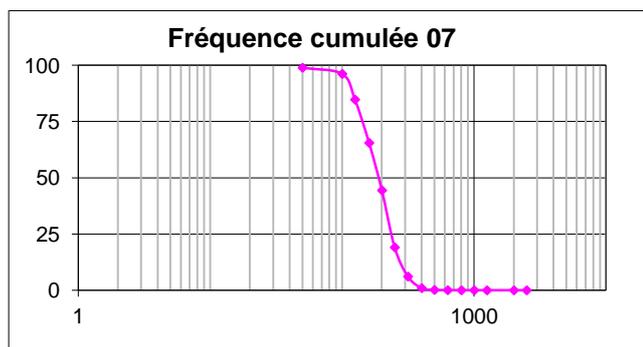
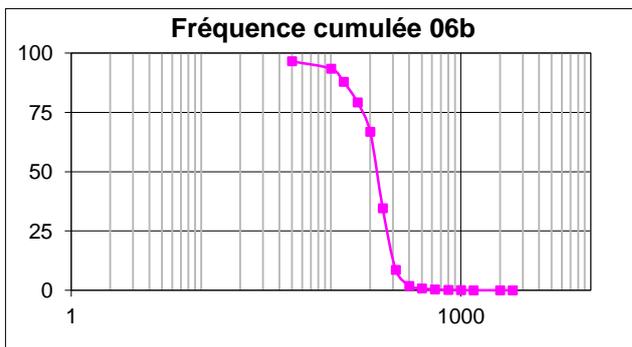
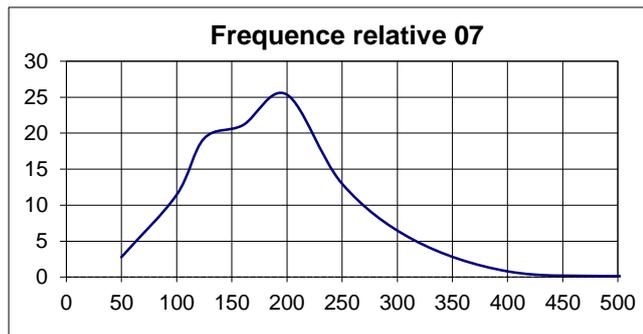
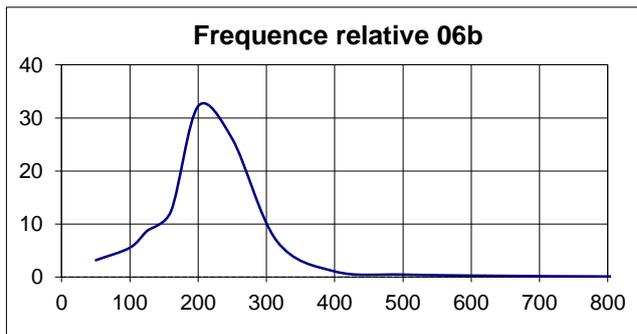


Echatillon n°06b

Mode	[200 , 160[	210 graphiquement
calculer		
Moy,Ar	[200 , 160[	180
Médiane	215	
Q1	175	
Q3	270	
Hq =(Q3-Q1)/2	47,5	

Echatillon n°07

Mode	[200 , 160[	195 graphique
calculer		
Moy,Ar	[200 , 160[	180
Médiane	190	
Q1	135	
Q3	235	
Hq =(Q3-Q1)/2	50	

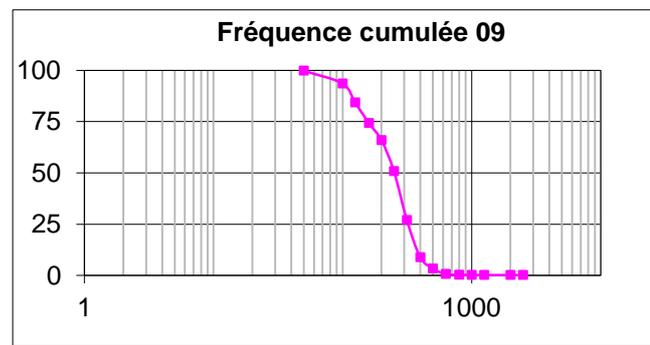
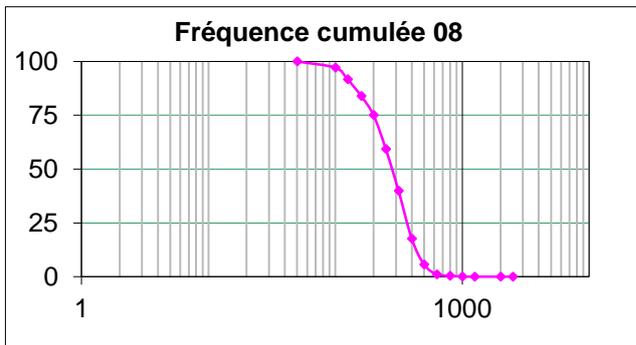
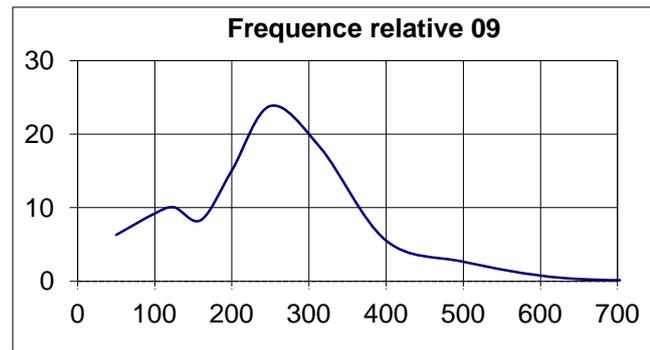
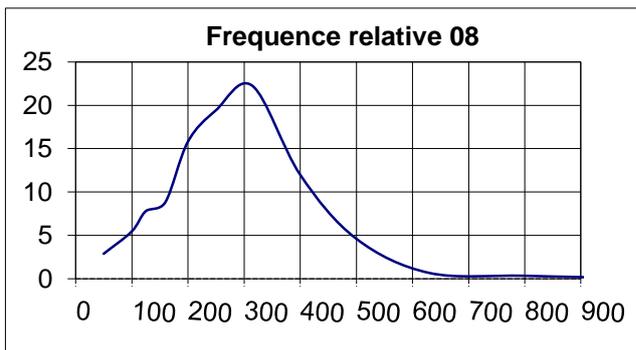


Echantillon n°08

Mode	[315 , 250[	300 graphiquement
calculer		
Moy,Ar	[315 , 250[	282,5
Médiane	280	
Q1	200	
Q3	370	
Hq =(Q3-Q1)/2	85	

Echantillon n°09

Mode	[250 , 200[	250 graphique
calculer		
Moy,Ar	[250 , 200[	225
Médiane	255	
Q1	150	
Q3	320	
Hq =(Q3-Q1)/2	85	

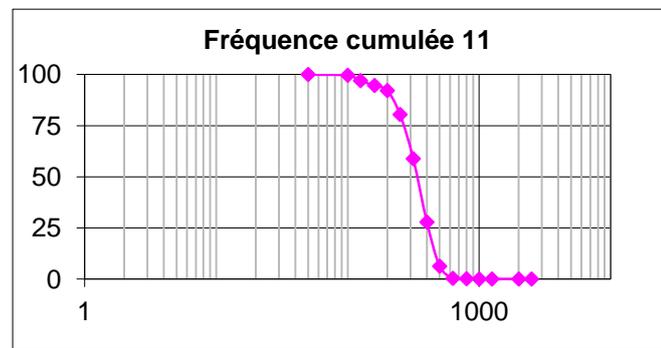
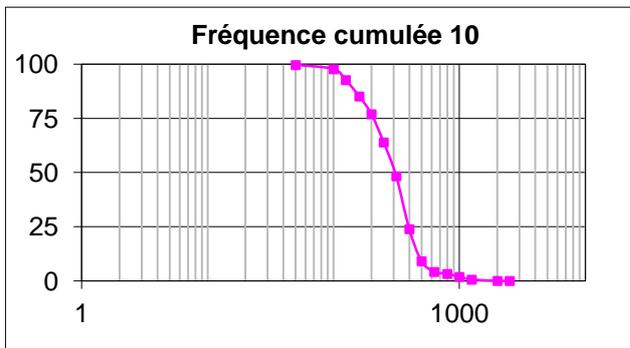
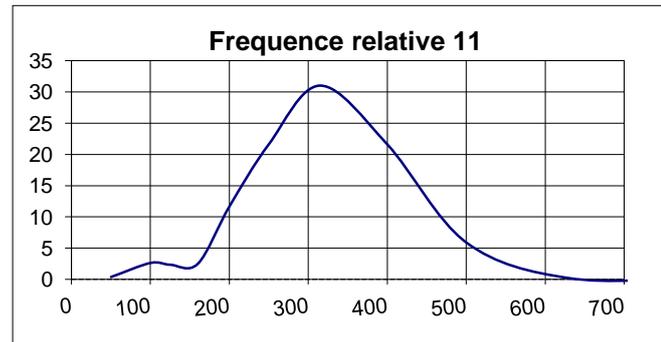
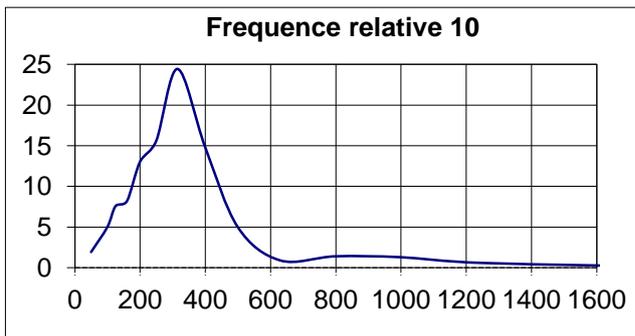


Echantillon n°10

Mode	[315 , 250[	315 graphiquement
calculer		
Moy,Ar	[315 , 250[	282,5
Médiane	310	
Q1	205	
Q3	390	
Hq	92,5	

Echantillon n°11

Mode	[315 , 250[	315 graphiquement
calculer		
Moy,Ar	[315 , 250[	282,5
Médiane	340	
Q1	270	
Q3	410	
Hq	70	

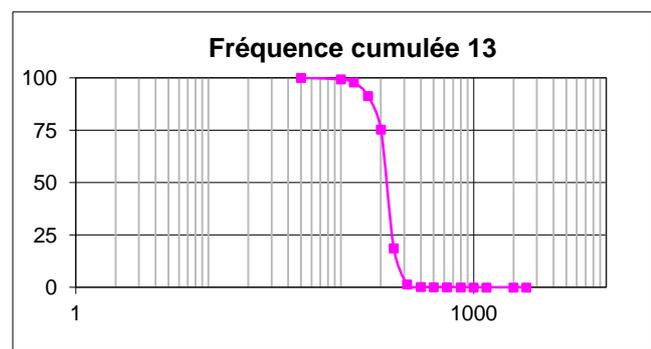
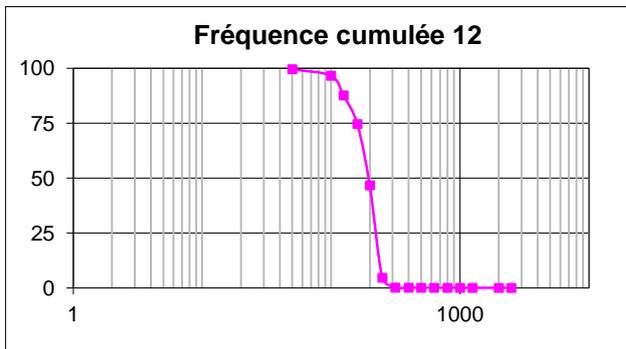
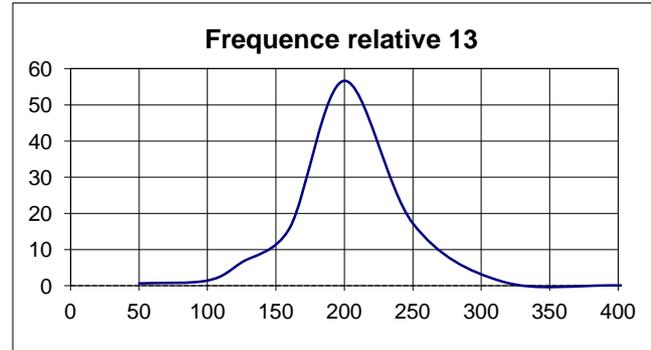
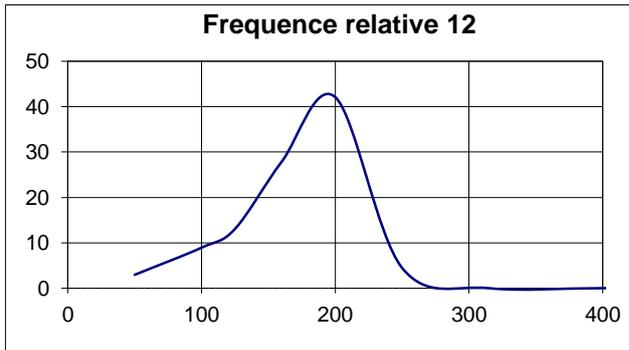


Echantillon n12

Mode	[200 , 160[	195 graphiquement
calculer		
Moy,Ar	[200 , 160[	180
Médiane	195	
Q1	150	
Q3	200	
Hq	25	

Echantillon n°13

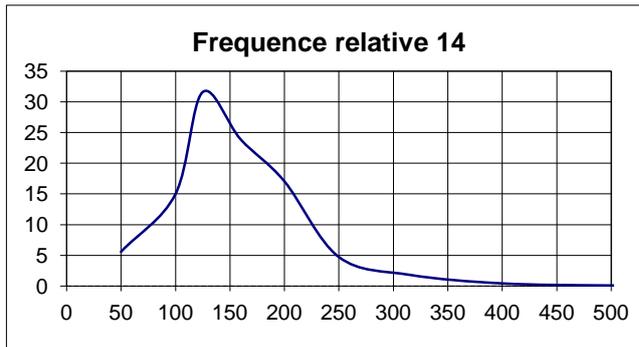
Mode	[200 , 160[	200 graphique
calculer		
Moy,Ar	[200 , 160[	180
Médiane	220	
Q1	200	
Q3	235	
Hq	17,5	



Echantillon n°14

Mode [125 , 100[130 graphiquement
calculer
Moy,Ar [125 , 100[112,5

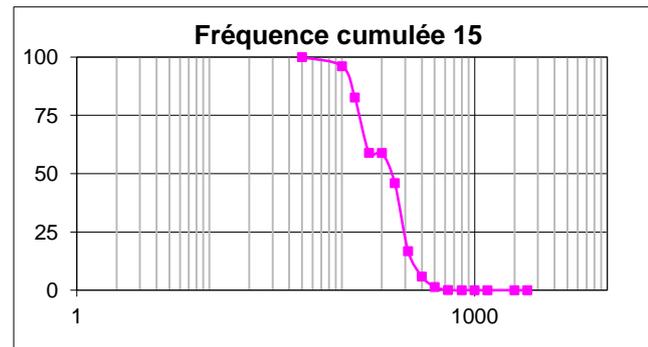
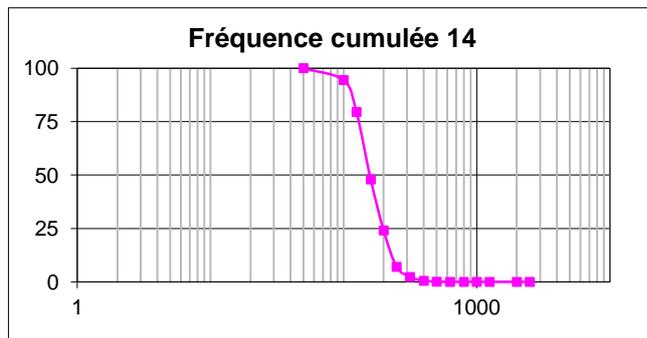
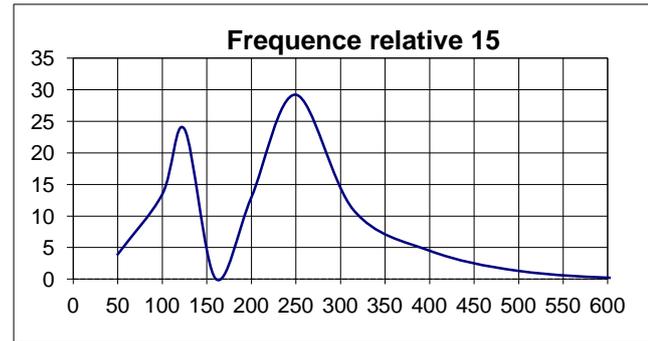
Médiane 150
Q1 125
Q3 200
Hq 37,5



Echantillon n°15

Mode [125 , 100[120 graphique
calculer [250 , 200[250 graphique

Moy,Ar [125 , 100[112,5 graphique
[250 , 200[225 graphique
Médiane 240
Q1 130
Q3 295
Hq 82,5

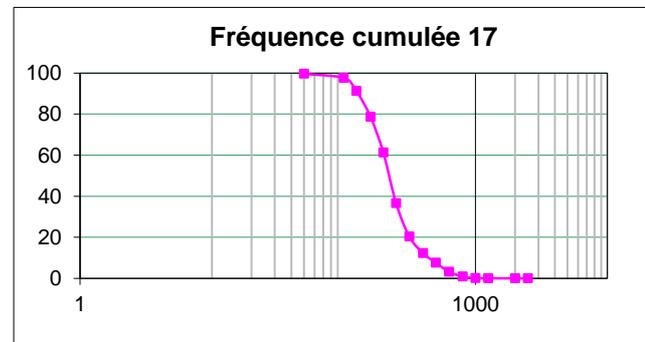
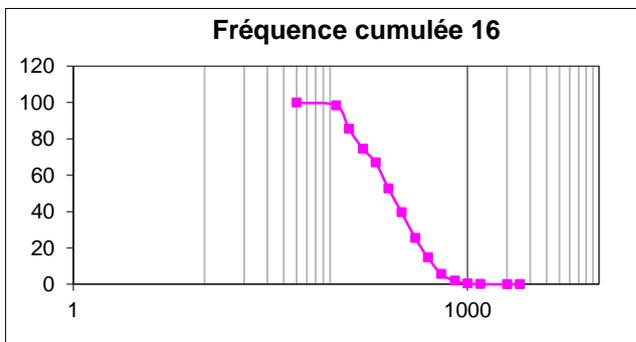
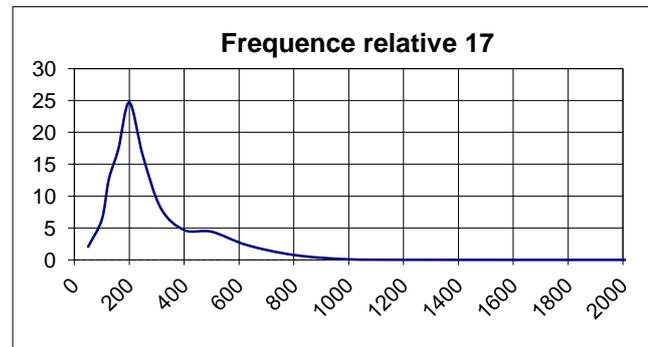
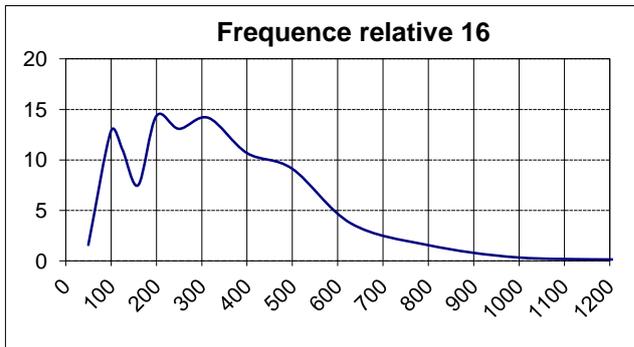


Echantillon n° 16

Mode [315 , 250[282,5 graphiquement
calculer Moy. [400 , 315[357,5 graphiquement
Médiane 265
Q1 160
Q3 300
Hq 70

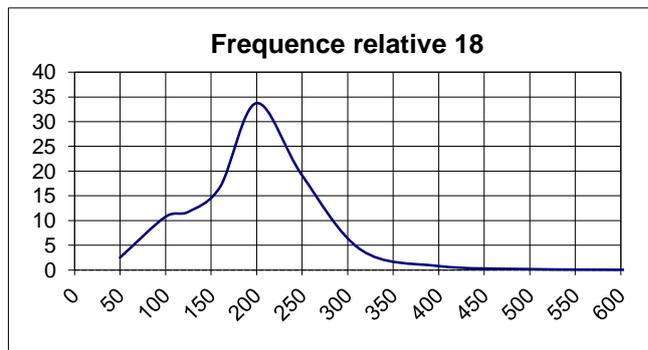
Echantillon n°17

Mode [160 , 125[200 graphique
calculer
Moy,Ar [160 , 125[142,5 graphique
Médiane 215
Q1 170
Q3 290
Hq 60



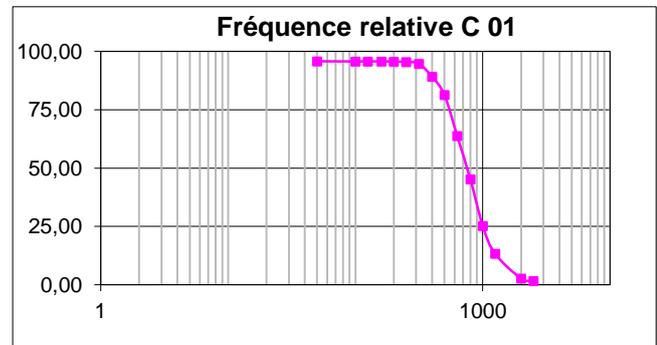
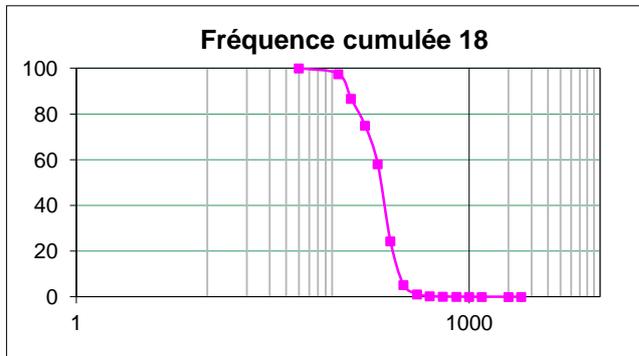
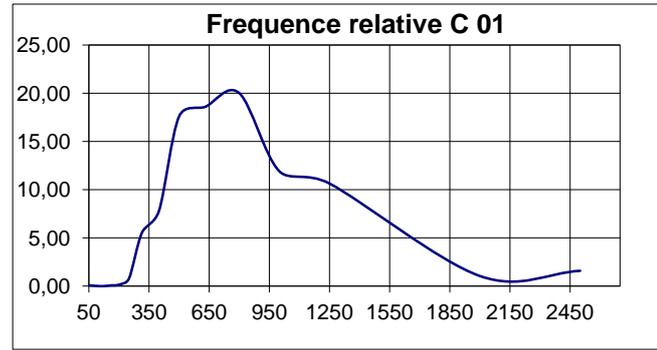
Echantillon n°18

Mode	[200 , 160[	200 graphiquement
calculer		
Moy,Ar	[200 , 160[	180
Médiane	210	
Q1	160	
Q3	240	
Hq	40	



Echantillon n° C 01

Mode	[630 , 500[	760 graphique
calculer		
Moy,Ar	[630 , 500[	765 graphique
Médiane	750	
Q1	550	
Q3	1000	
Hq	225	

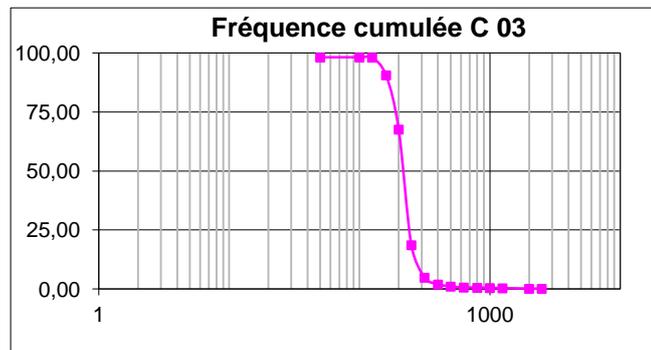
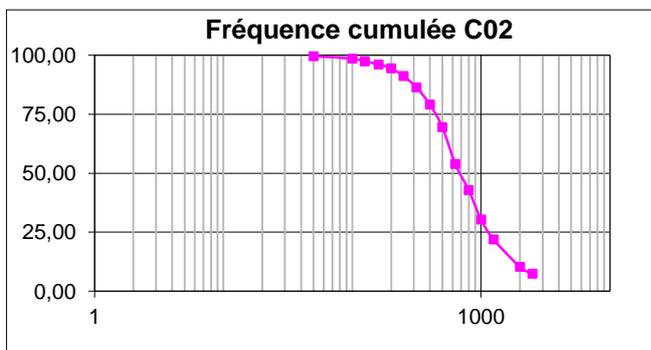
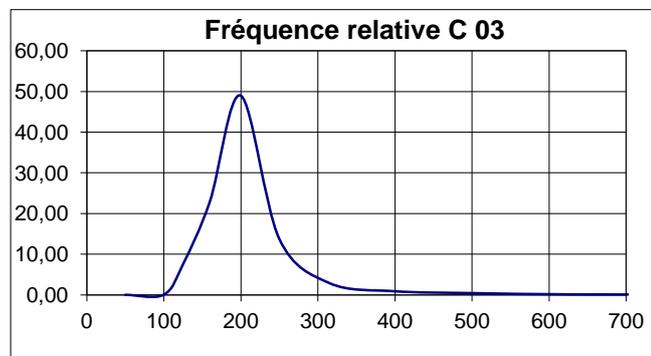
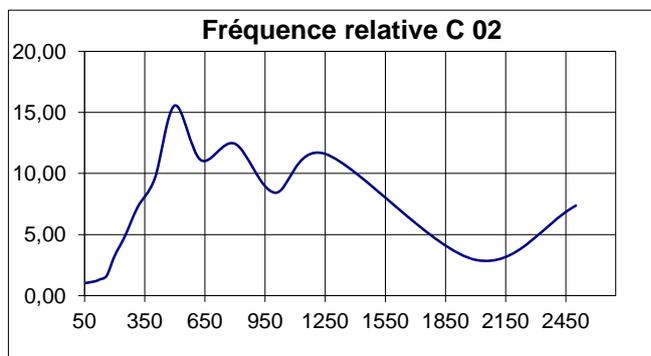


Echantillon n° C 02

Mode	[500 , 400[	500 graphiquement
	[800 , 630[	760 graphiquement
	[1250 , 1000[	1200 graphiquement
calculer Moy,Ar	[500 , 400[	450 graphiquement
	[800 , 630[	715 graphiquement
	[1250 , 1000[	1125 graphiquement
Médiane		680
Q1		445
Q3		1130
Hq		342,5

Echantillon n° C 03

Mode	[200 , 160[	195 graphique
calculer Moy,Ar	[200 , 160[	180
Médiane		215
Q1		190
Q3		240
Hq		25



DEPARTEMENT LABORATOIRE SERVICE CHIMIE
MODE OPERATOIRE SIMPLIFIE

ESSAI DE DETERMINATION DES INSOLUBLES

NORME NFP 15-461

(Version Mai 64)

- 1) **Objet** : La présente norme a pour objet de définir les conditions d'exécution de l'essai chimique pour la détermination du taux d'insolubles.
- 2) **Définition** : Les insolubles sont les silicates: corps insolubles dans l'acide chlorhydrique.
- 3) **Résumé** :
 1. Opérer sur 2 g d'échantillon.
 2. Dans un bécher de 250 ml, délayer la prise d'essai avec 10 ml d'eau froide;
 3. Ajouter en remuant constamment 25 ml d'un mélange à volumes égaux d'acide chlorhydrique ($d= 1.19$) et d'eau;
 4. Chauffer rapidement pendant quelques instants jusqu'à ce que le liquide soit juste jaune clair;
 5. Filtrer immédiatement la liqueur chaude sur filtre sans cendres;
 6. Laver à l'eau bouillante jusqu'à disparition des ions Cl^- ;
 7. Réserver le filtrat qui servira à la détermination de la teneur des ions SO_4^{2-} ;
 8. Mettre le filtre et son contenu dans une capsule de 250 ml et recouvrir avec 100 ml de solution Na_2CO_3 à 5%;
 9. Faire bouillir pendant un quart d'heure puis filtrer;
 10. Laver à l'eau bouillante puis avec HCl à 1/2, enfin avec de l'eau distillée;
 11. Calciner et peser.

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

DEPARTEMENT LABORATOIRE SERVICE CHIMIE

MODE OPERATOIRE SIMPLIFIE

ESSAI DE DETERMINATION DES SULFATES

NORME BS 1377

(Version Décembre 1975)

Les sulfates solubles dans l'eau, généralement trouvés dans les sols, sont le sulfate de sodium Na_2SO_4 et le sulfate de magnésium MgSO_4 . Le sulfate de calcium CaSO_4 , communément trouvé sous forme de gypse, est faiblement soluble dans l'eau mais il est promptement soluble dans l'acide chlorhydrique dilué. Le traitement à l'acide chlorhydrique est ainsi nécessaire si la quantité totale des sulfates est exigée.

Les solubilités maximales approximatives dans l'eau des 3 sels mentionnés, exprimées en terme SO_3 par litre à environ 20°C , sont les suivantes:

Sulfate de sodium: 240 g/l

Sulfate de magnésium : 180 g/l

Sulfate de calcium : 1.2 g/l

Dans les méthodes gravimétriques décrites au 1.6.5, les sulfates dissous sont précipités sous forme de sulfate de baryum insoluble comme résultat d'une réaction avec le chlorure de baryum dans des conditions légèrement acides. La réaction chimique avec le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium peut être représentée par l'équation:



La réaction est similaire avec le sulfate de sodium, mais l'équation est:



Le précipité de sulfate de baryum est filtré, séché et posé. A partir des masses atomiques, le pourcentage équivalent de SO_3 dans l'échantillon original est calculé :

Masse moléculaire du sulfate de baryum BaSO_4 :

<u>Elément</u>	<u>Masse atomique (approx)</u>			<u>Nombre d'atome</u>
Ba	137	x 1	=	137
S	32	x 1	=	32
O	16	x 4	=	64
Masse moléculaire				<hr/> 233
Masse de SO_3				

<u>Elément</u>	<u>Masse atomique</u>			<u>Nombre d'atome</u>
S	32	x 1	=	32
O	16	x 3	=	48
				<hr/> 80
		Masse SO_3		80

Ainsi la masse de SO_3 sera de $80 / 233 = 0.343$ fois la masse du sulfate de baryum précipité. Si la masse du précipité est m_4 et la masse du sol utilisé est m_3 , le % de SO_3 dans le sol utilisé est donné par:

$$(m_4 / m_3) \times 0.343 \times 100 \% = 34.3 \times (m_4 / m_3)$$

Si la masse m_3 n'était pas prise de l'échantillon original, mais de la fraction des passants à 2mm, le % calculé doit être multiplié par m_2 / m_1 pour le convertir en % de l'échantillon original, où m_1 = masse de l'échantillon avant tamisage, et m_2 = masse de l'échantillon passant au tamis de 2 mm.

Il est d'usage d'exprimer les sulfates en SO_3 . Le BRE DIGEST 174 (1975) et d'autres références qui donnent des conseils pratiques pour la mise en œuvre du béton dans les sols où les sulfates sont présents, basent leurs recommandations sur l'ion SO_3 .

L'addition de l'eau de brome durant l'étape de l'extraction de l'acide oxyde quelques éléments métalliques qui peuvent être présents et qui peuvent d'une certaine manière contaminer le sulfate de baryum.

Les oxydes sont insolubles dans une solution alcaline, et l'addition de l'ammoniac les fait précipiter, ainsi ils peuvent être enlevés avant la réaction avec le chlorure de baryum.

Durant la filtration finale, la présence de chlorure soluble restant est indiquée par la turbidité quand une goutte de l'eau de lavage est testée avec une solution de nitrate d'argent.



Le lavage doit continuer jusqu'à ce qu'il n'y ait pas de turbidité.

-Sécher, incinérer, calciner à 900°C pendant 15 minutes, passer au dessiccateur et peser: m_4 .

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

**DEPARTEMENT LABORATOIRE
SERVICE CHIMIE**

MODE OPERATOIRE SIMPLIFIE

ESSAI DE DETERMINATION DU TAUX DE CARBONATES D'UN SOL

NORME NFP 15-461

(Version Mai 1964)

1) Définition et but de l'essai : On détermine le taux de carbonates d'un sol pour déterminer le taux de calcaire. Une teneur en carbonate élevée signifie une faible teneur en minéraux argileux et généralement indique une résistance au cisaillement relativement élevée.

2) Résumé :

On applique sur l'échantillon de sol un excès d'acide chlorhydrique et l'excès est dosé en retour par une solution d'hydroxyde de sodium d'où on détermine exactement le taux de carbonates existant dans le sol.

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

**DEPARTEMENT LABORATOIRE
SERVICE CHIMIE**

MODE OPERATOIRE SIMPLIFIE

ESSAI DE DETERMINATION DES CHLORURES
NORME BS BOWLY
(Version 1979)

1) Principe : On fait agir en milieu neutre, PH sensiblement égal à 6.5 ou 7, une solution à titrer du nitrate d'argent sur une prise d'essai en présence de K_2CrO_4 . La solution est de couleur jaune, quand on verse la solution de $AgNO_3$, le chlore précipite à l'état de $AgCl$ (blanc). Lorsque tout le chlore sera transformé en $AgCl$, la couleur rouge brique persistante est due à la formation de CrO_4Ag_2 .

2) Résumé:

1. A partir de l'échantillon représentatif, prendre environ 1 kg (les particules $\leq 20 \mu m$);
2. Etuver l'échantillon à $105^\circ C < T < 110^\circ C$;
3. Ecraser l'échantillon et le faire passer au tamis $600 \mu m$;
4. Placer 100 g de sol sec dans une fiole de 500 ml;
5. Ajouter à l'échantillon de sol 200 ml d'eau distillée;
6. Agiter pendant 24 heures, attention ne pas appliquer la chaleur;
7. Transférer 25 ml à l'aide d'une pipette puis filtrer (au besoin);
8. Titrer à PH neutre avec le nitrate d'argent.

ANNEXE 4A

ÉTUDE ECONOMIQUE

1. INTRODUCTION

Cette étude nous donne une idée très générale sur le coût de conception de notre brique, afin de ne pas proposer une brique performante mais non abordable vu sa cherté.

2. CALCUL

Prix des matériaux dans le marché

1kg ciment = 7 DA

1kg chaux hydraulique = 4 DA

1kg sable des dunes = 0.12 DA

Estimation des prix des différentes compositions des briques BRSD d'après les matières premières (ciment. chaux hydraulique. sable des dunes)

Composition C1

	Masse (kg)	Sable (Kg)	Ciment (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2.56	2.30	0.26	2.07
15 %	2.57	2.18	0.38	2.95
20 %	2.79	2.23	0.56	4.17
25 %	2.79	2.09	0.70	5.12
30 %	2.88	2.01	0.86	6.28
35 %	2.92	1.90	1.02	7.38

Composition C2

	Masse (kg)	Sable (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2.29	2.06	0.23	1.19
15 %	2.56	2.17	0.38	1.84
20 %	2.62	2.10	0.52	2.41
25 %	2.75	2.07	0.69	3.09
30 %	2.78	1.95	0.83	3.67
35 %	2.80	1.82	0.98	4.25

Composition C3

	masse (kg)	sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2.56	2.31	0.13	0.13	1.69
15 %	2.59	2.20	0.19	0.19	2.40
20 %	2.73	2.18	0.27	0.27	3.26
25 %	2.76	2.07	0.34	0.34	4.04
30 %	2.83	1.98	0.42	0.42	4.90
35 %	2.80	1.82	0.49	0.49	5.62

Composition C4

	Masse (kg)	Sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2.51	2.26	0.15	0.10	1.73
15 %	2.60	2.21	0.23	0.16	2.53
20 %	2.72	2.18	0.33	0.22	3.42
25 %	2.79	2.10	0.42	0.28	4.30
30 %	2.84	1.99	0.51	0.34	5.18
35 %	2.88	1.87	0.60	0.40	6.07

Composition C5

	Masse de brique (kg)	Sable (Kg)	Ciment (Kg)	chaux H (Kg)	prix d'une brique (DA)
10 %	2.52	2.27	0.10	0.15	1.59
15 %	2.64	2.24	0.16	0.24	2.33
20 %	2.67	2.14	0.21	0.32	3.04
25 %	2.74	2.06	0.27	0.41	3.82
30 %	2.82	1.98	0.34	0.51	4.64
35 %	2.83	1.84	0.40	0.60	5.38

3. CONCLUSION

Notre étude économique est basée sur les prix des matières premières sans tenir compte du coût de la main d'œuvre (ne dépassant jamais le coût des matériaux premières) qui est dépendant de certains paramètres tels que :

- Le rendement,
- La mécanisation,

- La chaleur.

D'après les tableaux précédents, on constate que le prix unitaire de la brique optimale (C5. 20%) est d'ordre de 3 DA. Ce prix est concurrentiel aux prix des briques existantes actuellement sur le marché et qui valent 20 DA pour un parpaing B 80 pris comme brique de référence.

ANNEXE 4B

Des photos des phases préparatoires de la brique BRSD.



Photo 1 : Graissage des moules

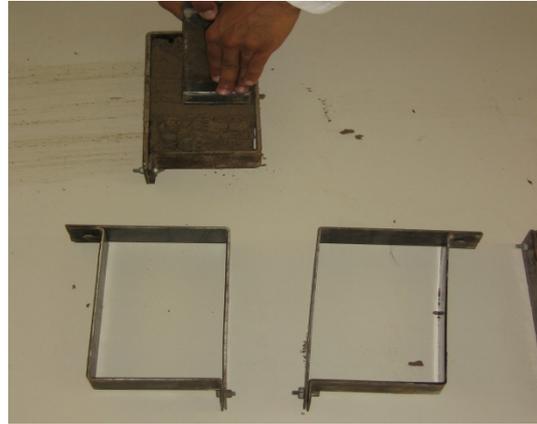


Photo 2 : Compactage de la brique



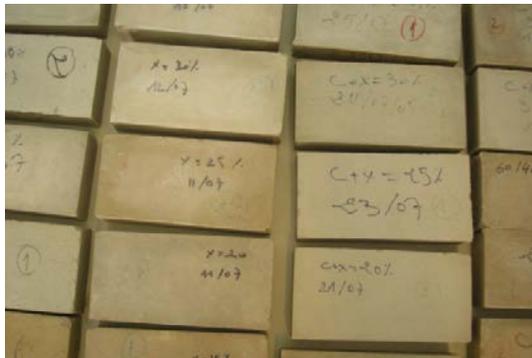
Photo 3 : Finitions de la brique



Photo 10 : Essai de résistance à la compression



Photos 4 et 5 : Démoulage des briques et nettoyage des moules



Photos 6 et 7 : Conservation des échantillons à l'air libre



Photo 8 : Séchage à 105°C



Photo 9 : Essais absorption d'eau par capillarité