

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et
de la recherche scientifique



Université Hamma Lakhdar
EL-OUED

Faculté de technologie

Département d'Hydraulique
et de Génie Civil

**Mémoire en vue de l'obtention du diplôme
De Master en hydraulique**

Option : Ouvrage Hydraulique

THEME

**ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EFFET DE LA REMONTEE
DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE SUR LA
DURABILITE DES OUVRAGES EN BETONS**

Présenté par :

BEN MOUSSA Hichem

Dirigé par :

Mr . DJEDID Tarek

Promotion : Juin 2018

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu tout puissant pour tout ce qu'il m'a donné afin que je puisse terminer ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon promoteur, Monsieur DJEDID Tarek, de l'Université d'El-Oued, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de diriger ce travail. Je le remercie infiniment pour son aide, pour ses conseils judicieux et ses orientations, afin que je puisse mener ce travail à terme.

Je tiens à remercier également:

- Monsieur OUKOUAK Abdelkader, MILOUDI Abdelmounem et Monsieur ZINE Brahim pour leurs conseils très précieux, et pour avoir voulu relire mon travail.

Je tiens à remercier mes parents mon marie et mes frères et mes sœurs.

Je remercie par la même occasion tous mes amis de cette promotion de 2^{ème} année de Master Ouvrage Hydraulique.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.

Résumé

La durabilité du béton est très souvent liée à sa capacité d'empêchement des agents agressifs de pénétrer à travers sa porosité. Certains environnements sont agressifs pour le béton, ils peuvent occasionner des attaques acides importantes. Des gonflements et l'éclatement du béton,... c'est notamment le cas des zones soumises au gel, des environnements marins, industriels et agricoles.

Pour améliorer l'état de connaissance sur ce sujet, un programme expérimental a été établi dans le but d'obtenir des informations sur la lixiviation accélérée des bétons sous l'exposition d'un milieu agressive.

L'importance de cette recherche est conçue uniquement à l'étude de la lixiviation, ses effets sur les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons, ainsi que les paramètres influençant sa cinétique et l'amplitude de ce type de dégradation.

Enfin certains des résultats obtenus sont utilisés dans le but de proposer une optimisation des formulations des mélanges en fonction de critères de choix justifiés.

Mots clés :

Durabilité – milieux agressives – porosité – dégradation – profondeur dégradée – lixiviation.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

CHAPITRE 1: PRESENTATION GENERALE DE LA REGION DU SOUF

1.1. HISTORIQUE ET SITUATION GÉOGRAPHIQUE	6
1.2. CADRE SOCIAL ET ÉCONOMIQUE DE SOUF	8
1.2.1. L'artisanat	9
1.2.2. Le commerce	9
1.2.3. L'industrie	9
1.2.4. L'agriculture	10
1.2.4.1. Possibilités d'extension	10
1.2.4.2. L'élevage	11
1.3. RELIEF	12
1.4. CONCLUSION	15

CHAPITRE 2: HISTORIQUE DE LA REMONTEE DE LA NAPPE

2.1. INTRODUCTION	17
2.2. HISTORIQUE ET MECANISME DE LA REMONTEE DE LA NAPPE	17
2.2.1. Avant 1956	17
2.2.2. De 1956 à 1986	19
2.2.3. Après 1986	24
2.3. CONCLUSION	29

CHAPITRE 3: NOTION GENERALE SUR LA DURABILITE DE BETON

3.1. HISTORIQUE	31
3.2. DEFINITION DU BETON	31
3.3. Différents types de bétons	32
3.3.1. Béton auto plaçant (BAP)	32
3.3.2. Béton de haute performance (BHP)	32
3.3.3. Béton de fibre	32
3.3.4. Béton a durcissement rapide	32
3.3.5. Béton léger	32
3.3.6. Béton lourd	32
3.3.7. Béton ordinaire	33
3.4. Caractéristiques du béton	33
3.4.1. Résistance à la compression (NFEN-12390-3)	33
3.4.2. Résistances à la flexion (NFEN-12390-5)	33
3.4.3. Résistances à la traction par fendage (NF EN-12390-6)	33
3.5. Rôles des différents éléments constituant le béton	33
3.6. Propriétés des bétons	34
3.6.1. Le béton frais	34
3.6.1.1. Définition	34

SOMMAIRE

3.6.1.2. la valeur d'affaissement au cône d'Abrams	34
3.6.1.3. La masse volumique du béton frais	34
3.6.2. Le béton durci	35
3.6.2.1. Définition	35
3.6.2.2. Résistance à la compression	35
3.6.2.3. Résistance à la flexion	36
3.6.3. Les constituants du béton	37
3.6.3.1 Le ciment	37
3.6.3.2. Les granulats	37
3.6.3.2.1. Granulats roulés et granulats concassés	38
A. Les granulats de roche meuble	38
B. Les granulats de roche massive	38
3.6.3.2.2. Caractéristiques des granulats	38
a. Granulométrie	38
b. Classes granulaires	38
c. Forme des granulats	39
c.1. Coefficient volumétrique	39
c.2. Indice de forme	39
c.3. Masse volumique apparente	40
d. Porosité	40
e. L'absorption d'eau des granulats	40
f. Résistance à la fragmentation	41
g. Caractéristiques chimiques (Réaction alcali-silice)	41
3.6.3.3. Le sable	41
a. Définition	41
b. Origine du sable	42
3.6.3.4. L'eau de gâchage	42
3.6.3.5. La formulation de béton	42
3.7. Généralité sur le milieu agressif	43
3.7.1. Les attaques chimiques du béton	43
3.7.1.1 Les attaques sulfatiques	44
3.7.1.1.1. Définition de l'attaque sulfatique	44
3.7.1.1.2. Sources des sulfates	44
3.7.1.1.3. Mécanismes d'attaques	46
3.7.1.1.4. Processus d'attaque par les sulfates externes	47
3.7.1.2. Attaque par les ions chlorures	47
3.7.1.2.1. Introduction	47
3.7.1.2.2. Définition de l'attaque par les ions chlorures	48
3.7.1.2.2. Source de l'attaque des ions chlorures	48
3.7.1.3. La carbonatation	49
3.7.1.3.1. Définition de la carbonatation	49
- Influence de la composition du béton	50
- Influence de l'humidité	50
- Influence de la résistivité du béton	50
- Effet de l'oxygène	50
Autres agents agressifs	51

SOMMAIRE


3.7.1. Corrosion de l'acier dans le béton	51
3.8. Conclusion	52
CHAPITRE 4: PRESENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION DES RESULTATS	53
4.1. INTRODUCTION	54
4.2. TYPE D'EXPOSITION	55
4.3. MATERIAUX UTILISES	55
4.4. METHODES ET FORMULATION	55
4.4.1. Formulation du béton	56
4.4.2. CONFECTION DES ÉPROUVETTES	56
4.4.3. Malaxage	57
4.4.4. Moulage et démoulage	57
4.5. LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX	57
4.5.1. Détermination de la masse volumique durcie	57
4.5.2. Essai de mesure de la résistance	58
4.5.2.1. Résistance à la flexion	58
4.5.2.2. Résistance à la compression	59
4.5.2.2. Résistance à la traction par fendage	60
4.5.3. Essai de durabilité	61
4.5.4. Essai d'adsorption par capillarité	61
4.5.5. Essai d'ultrasonique	62
4.5.6. Essai de carbonatation	62
4.6. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	63
4.6.1. Résultats de résistance à la compression	63
4.6.2. Résultats de résistance à la flexion	64
4.6.3. Résultats de résistance à la traction par fendage	65
4.6.4. Résultats d'essai d'absorption capillaire	67
4.6.5. Résultats d'essai ultrasonique	68
4.6.6. Essai de carbonatation	69
4.6.7. Essai de pénétration de chlorure	69
4.7. DISCUSSION	70
Conclusion Générale	72

Liste des figures

Figure I. 1: Situation géographique de la région d'El-Oued (ANRH : 2005)	7
Figure I. 2: L'extension de la zone agricole du Souf	11
Figure I. 3: Représentation de la topographie □	12
Figure I. 4: Représentation des dunes et d'un Ghout	13
Figure I. 5: Carte de relief du Souf (SIG 2009)	14
Figure II. 1: Les nombres des palmiers du Souf au début de XXe siècle (Najah A., 1970)	18
Figure II. 2: La nappe phréatique Avant 1956	19
Figure II. 3: La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980 (Cote Marc, 2006)	20
Figure II. 4: Évolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980	21
Figure II. 5: Évolution des nombres des palmiers au début des années 80	22
Figure II. 6: La situation des Ghouts d'El Oued en 1986 (Cote, 1998)	22
Figure II. 7: La nappe phréatique entre 1956 à 1986	23
Figure II. 8: La nappe phréatique après 1986	24
Figure II. 9: Situation d'un Ghouts complètement noyé par les eaux polluées	25
Figure II. 10: Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du Souf □	27
Figure II. 11: la remontée de la nappe phréatique en surface dans la cité Chott	28
Figure III. 1: L'origine des sulfates (interne ou externe).	45
Figure III. 3: L'attaque par les sulfates.	46
Figure III. 4: Agression du béton par activité des chlorures.	48
Figure III. 5: Coupe théorique d'un mur en béton.	50
Figure IV. 1: photo des éprouvettes de Béton	56
Figure IV. 2: L'essai de traction des éprouvettes prismatique	58
Figure IV. 3: Forme des éprouvettes cubiques après l'essai de compression	59
Figure IV. 5: L'essai de traction par fendage des éprouvettes cylindriques.	60
Figure IV. 6: Photos de l'essai d'absorption par capillarité [17]	61
Figure IV. 7: photos de l'essai ultrasonique sur l'éprouvette cylindrique 11x22 cm	62
Figure IV. 8: Schéma illustrant le principe des mesures.	63
Figure IV. 9: Résistance à la compression (conservation à l'eau de la nappe	63
Figure IV. 10 : Résistance à la compression (conservation à l'eau de la nappe Phréatique avec M/S et M C).	64
Figure IV. 11: Résistance à la flexion (conservation à l'eau de la nappe phréatique avec M/S).	65
Figure IV.12 : Résistance à la flexion (conservation à l'eau de la nappe phréatique avec M/S et M C).	65
Figure IV. 13: Résistance à la traction par fendage (conservation à l'eau de la nappe phréatique avec M/S).	66
Figure IV. 14: Résistance à la traction par fendage (conservation à l'eau de la nappe □ phréatique avec M/S et M C).	66
Figure IV. 15: Représentation d'absorption capillaire pour les différents Bétons conserver dans la zone A avec M/S	68
Figure IV. 16: l'évolution de pénétration de carbonate au béton.	69
Figure IV. 17: Profondeur dégradé (mm).	69

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued	8
Tableau I. 2: Présentation de nombre de forages exploités du Souf Sud	10
Tableau I. 3: Présentation de nombre de forages exploités des Frontières du Souf	10
Tableau I. 4: Résumé des résultats obtenus	11
Tableau III. 1: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams	34
Tableau IV.1: Analyses physico-chimiques des éléments agressives issues des eaux de la nappe phréatique dans les zones d'étude.	54
Tableau IV. 2: L'analyse chimique de ciment CPA CEM I 42.5 ES (CRS)	55
Tableau IV. 3: les compositions granulaires de trois types de bétons.	56
Tableau IV. 4: Résultats de résistance du béton à la compression (MPA).	63
Tableau IV. 5: Résultats de résistance du béton à la flexion (à l'eau de la nappe phréatique, MPA)	64
Tableau IV. 6: Résultats de résistance du béton à la traction par fendage (à l'eau de la nappe phréatique, MPA).	66
Tableau IV. 7: Résultats d'essai d'absorption capillaire d'éprouvettes à 28 jours d'âge.	67
Tableau IV. 8: Résultats d'essai ultrasonique à l'âge de 28 jours.	68
Tableau IV. 9: Récapitulation des résultats de la résistance et la durabilité.	69



***Introduction
générale***

INTRODUCTION GENERALE

1. GÉNÉRALITÉS

La durabilité d'un béton dépend d'une multitude de caractéristiques du matériau, aussi de L'agressivité de son environnement. Un élément en béton qui subit des cycles de chargement et de déchargement ou de mouillage et de séchage, par exemple, peut se fissurer à cause de ces cycles. Des agents agressifs extérieurs pénétreront facilement dans sa matrice à travers les fissures et microfissures formées. Ces agents agressifs peuvent, par la suite, réagir avec les hydrates pour diminuer davantage lacapacité portante de l'élément la durabilité d'un ouvrage caractérise sa capacité à conserver dans les conditions prévues lesfonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers...etc.) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect, dans son environnement, avec desfrais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible.

La résistance du béton aux attaques chimiques des eaux de nappe phréatiques les plus importants pour sa durabilité. Une expansion importante et de détériorations chimio-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration au contact) et du ciment utilisé.

2. Les objectifs de l'étude

- optimiserle meilleur formulation du béton en vue d'augmenter la durabilitévis-à-vis l'agressivité de la nappe phréatique de la région d'El-Oued.
- Maitriser lemécanisme de pénétration des agents agressifs au corps du béton.

3. Plan du travail

Cette 'étude est divisée en quatre chapitres :

Chapitre 1 : présentation générale de la région d'El-Oued.

Chapitre 2 : historique de la remontée de la nappe.

Chapitre 3 : Notions sur la durabilité de béton.

Chapitre 4 : présentation des essais expérimentaux et interprétation des résultats.

Ce chapitre a mis en évidence les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude (ciment, gravier, sable, eau,) selon les normes. On présente aussi les compositions du béton qui doivent être étudiées méthode (Dreux_Gorisse).

Des essais de durabilité (chimiques et physiques) et des résistances.

Exploitation des résultats obtenus sur les bétons.

Conclusion.

Chapitre 1

Présentation de la ville d'El-Oued

CHAPITRE 1

PRESENTATION GENERALE DE LA REGION DU SOUF

1.1. HISTORIQUE ET SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de la république Algérienne démocratique et populaire.

Elle devint une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984 ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement, aujourd'hui elle se repose sur une superficie égale à 44586 km² divisé en 30 communes avec une population de 679064 habitants et une densité de 15,23 hab./km², le taux d'accroissement de population égale à 3,4% selon le recensement de l'ONS de 2008.

Les limites de la Wilaya sont :

- A l'Est par la république Tunisienne.
- Au Nord –Est par Tbesa
- Au Nord par Khenchla et Biskra
- Au Nord-Ouest par Biskra.
- A l'ouest par Djelfa.
- Au Sud-ouest et sud par Ouargla

Géographiquement El Oued est limitée par les coordonnées suivantes :

Longitudes $X_1 = 05^{\circ}30'$ et $X_2 = 07^{\circ}00'$ Est.

Latitudes $Y_1 = 35^{\circ}30'$ et $Y_2 = 37^{\circ}00'$ Nord.

El' Oued c'est la région du bas Sahara, il est un petit morceau d'un immense territoire géomorphologique qui constitue le grand Erg oriental, vaste étendue de sable 200000km², constituée par les alluvions des oueds qui au cours de Quaternaire ont désagrégé les reliefs situés plus au sud (massif central saharien) et ont épandu leurs matériaux sur le grand pan incliné qui s'ouvrait en direction des chotts, c'est matériaux sont remodelés inlassablement sur place par les vents sahariens, en dunes de types variés.

Les contraintes de l'erg sont grandes: pas d'eaux superficielles, pas de sources, difficultés de circulation.

Pour le saharien, l'erg est le territoire le moins attractif, dans un Sahara très peu peuplé, l'erg est un territoire vide.

Les Soufis ne se sont pas implantés de localiser n'importe où dans le Grand Erg, ils ont choisi le centre nord dans le secteur qui combine un couvert végétale dense et une nappe phréatique proche et abondante: les eaux souterraines s'y sont progressivement concentrées.

Plus au sud, les dunes se dénudent et deviennent vives, la nappe est faible et profonde.

Plus au nord, les terrains se salent à proximité des grands Chotts Melrhir et Merouane.

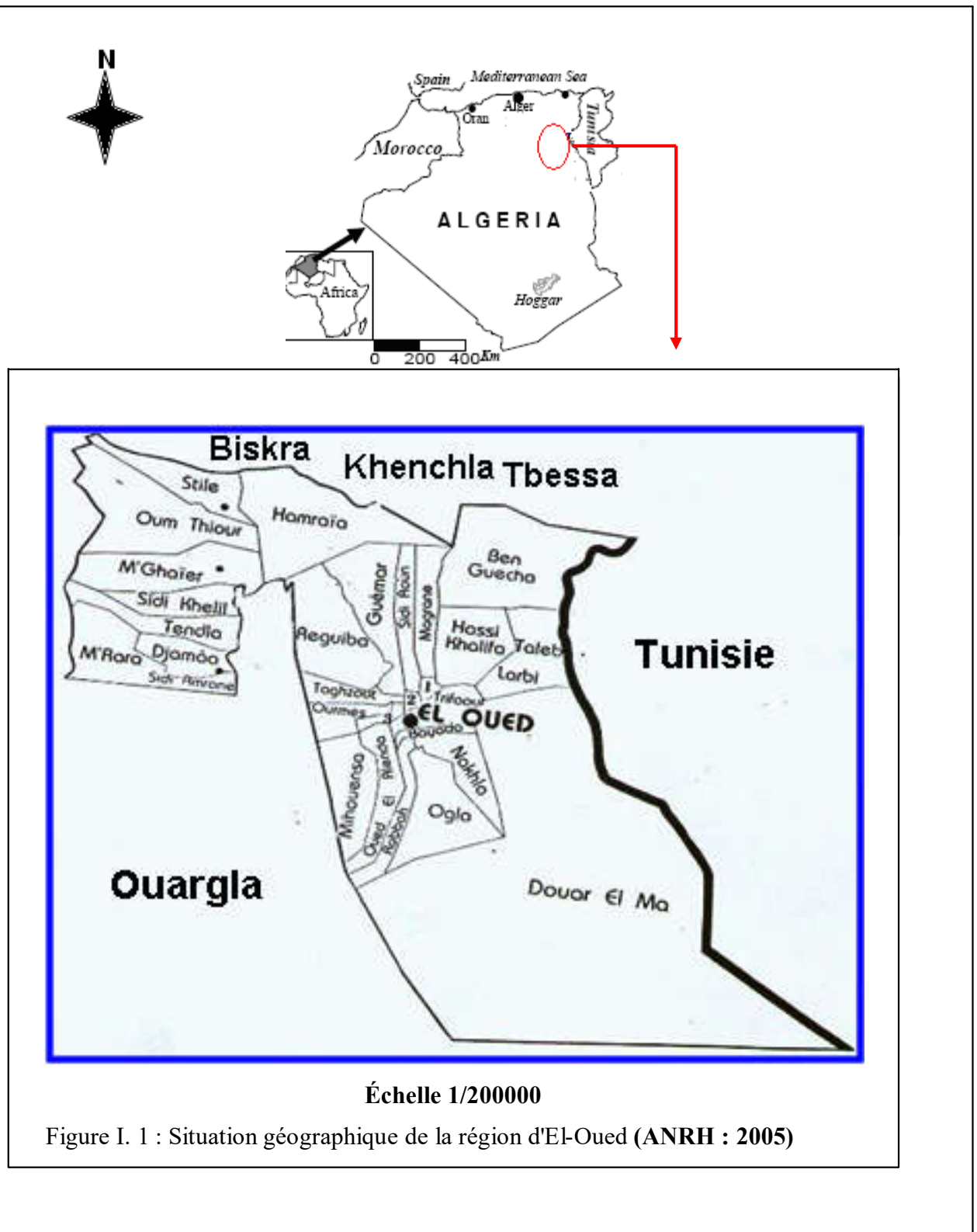


Tableau I. 1 : Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued

N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité hab/km ²	N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité hab/km ²
1	El Oued	131 270	77	1704.8	16	Bayadha	33 296	139	239.54
2	Kouinine	10 208	116	88	17	Oued el Alenda	6 883	712	9.66
3	Réguiba	42 803	1966	21.77	18	Mih Ouansa	16 320	1111	14.69
4	Guemar	40 087	1264	31.71	19	Hamraia	6 134	2443.82	2.51
5	Taghzout	14 082	539	26.12	20	Taleb Larbi	15 740	1110	14.18
6	Ourmés	6 134	443	13.84	21	Ben Guecha	5 575	2642.18	2.11
7	Débila	25 147	78	322.4	22	Douar El Maa	14 282	17852.5	0.8
8	Hassani Abdelkrim	22 910	58	395	23	El Meghaier	51 432	1532	33.57
9	Hassi Khalifa	31 938	1112	28.72	24	Sidi Khalil	7 084	840.33	8.43
10	Trifaoui	8 291	474	17.5	25	Still	5 456	904.8	6.03
11	Magrane	24 568	618	39.75	26	Oum Tiour	11 767	2116.37	5.56
12	Sidi Aoun	12 245	480	25.51	27	Djamaa	51 452	780	65.96
13	Robbah	21 852	499	43.8	28	Sidi Amrane	21 953	552	39.77
14	Nakhla	13 603	700	19.43	29	Mrara	9 721	1131.66	8.59
15	El Ogla	7 492	1352	5.54	30	Tendla	9 339	977.9	9.55
						Total	679064	44586	15.23

(ONS : 2009)

1.2. CADRE SOCIAL ET ÉCONOMIQUE DE SOUF:

Dans le domaine religieux (Islam) et culturel (langue Arabe), le Souf est beaucoup plus riches que sur les plans matériels habitants sont imbus de culture religieuse ; l'art des lettres, beaucoup d'adolescents connaissant le Coran par cœur, des gens voyagent des années pour s'instruire, la langue arabe restée très pur, permet même aux analphabètes, habitants sous la tente, de composer des poésies.

Les manifestations de la vie quotidienne traduisent un système d'organisation qui tient compte des possibilités économiques, de la vocation agricole, commerciale et artisanale.

Lorsque envisager successivement les principales activités, il nous donne une aperçu générale sur l'économique du Souf.

Celles-ci s'articulent autour de l'agriculture, qui sera étudiée en premier lieu et les activités des transformations et commerciales qui sont traitées par la suite:

1.2.1. L'artisanat

El Oued à toujours était un centre artisanal, notamment pour les objets liés à l'ancienne technologie de l'agriculture.

On note les activités artisanales, il s'agit des tailleurs, des tapissiers, des maçons, des cordonniers, des menuisiers, des bijoutiers, des forgerons.

1.2.2. Le commerce

Tout soufi est commerçant dans l'âme, la ville d'el Oued compte 7000 registres de commerces, et 10000 l'ensemble du souf.

Grâce à la position géographique entre trois Etats (Algérie, Tunisie, Libye), le souf a acquis une position stratégique exceptionnelle, on peut dire que la ville d'El Oued est un centre d'échange commercial, très actif, ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région du souf d'où l'importance de son marché.

Cette activité commerciale se traduit également par le grand axe commerçant qui, sur plus de 15km, s'allonge le long de la Route Nationale de Kouinine-Robbah où la densité commerciale y est forte au centre 15 à 20 établissements pour 100 m pour décroître vers les extrémités 4 à 5.

1.2.3. L'industrie

Dans la foulée du commerce, un phénomène tout nouveau est apparu au Souf: l'industrie, depuis la décennie 1980, de petites unités privées se sont montées.

Une spécialité est apparue, celle des parfums et cosmétique.

Au domaine cosmétique sont venues s'ajouter 3 autres branches d'activité: l'agro-alimentaire, les plastique, les matériaux de construction, les boissons.

Au total, aujourd'hui plus de 1600 personnes travaillent dans l'industrie.

Bref inventaire des unités industrielles du Souf:

- parfums et cosmétique 20 unités.
- transformation du plastique 15 unités.
- Fabrication carrelage 7 unités.
- transformation aluminium 6 unités.
- Insecticides et détergents 4 unités.
- Semoulerie, pâtes alimentaire 3 unités.
- unité déminéralisation eau 2 unités.
- unité de fabrication de peinture 1 unité.
- unité de fabrication des boissons 1 unité.

1.2.4. L'agriculture

L'agriculture est la principale activité de la région pour l'homme du souf comme culture dominante, la Pomme de terre, le tabac (Guémar), le Palmier dattier dans les ghouts.

Les ghouts saharienne fonctionne comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie; pour ne pouvant faire venir les eaux à eux, les soufis ont imagine d'aller à elle, d'excaver suffisamment le sable pour que l'épaisseur restante soit 2m, planter alors les palmiers dans sol de façon à ce qu'ils aillent puiser l'eau par leurs propres racine, c'est le principe de la culture Bour (en sec), on n'importe pas d'eau d'irrigation mais le palmiers va chercher lui-même ce dont il a besoin.

Les limites de cette ghouts atteignent la frontière libyenne au sud et voisinent avec les Monts des Nemamchas, suivant une ligne passant par Negrine, s'étire à l'est à la frontière tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis d'Oued Righ.

La Wilaya d'El Oued dispose d'une superficie agricole totale égale à 1591869 hectares mais la superficie réellement exploitée est 51437 hectares, la superficie irriguée est égale à 49982hectares. (DSA : Direction de Service Agricole d'El-Oued en2009).

Tableau I. 2 : Présentation de nombre de forages exploités du Souf Sud

Zones	Volumes en hm3/an	Forages en service
El-Oued	4,10	10
Guemmar	25,80	35
Total	29,90	45

(ANRH : 2005)

Tableau I. 3 : Présentation de nombre de forages exploités des Frontières du Souf

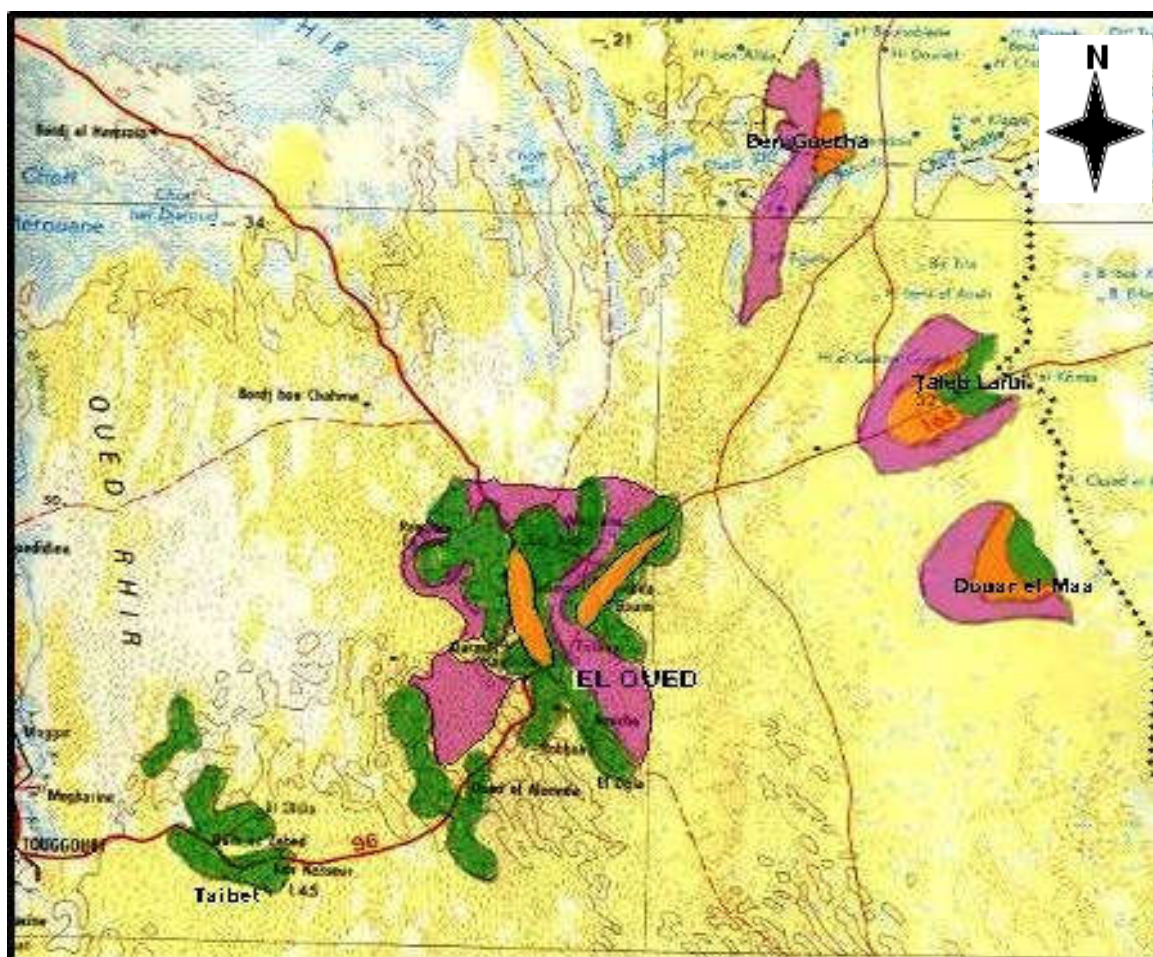
Zones	Volumes en hm3/an	Forages en service
Benguecha	8,60	12
Taleb Larbi	3,90	4
Douar El mâa	1,90	3
Total	14,40	19

(ANRH : 2005)

1.2.4.1. Possibilités d'extension

La mise en valeur en irrigué dans la région de Oued Souf est possible le long de la frontière Algéro-Tunisienne, qui ne présente pas actuellement de problèmes particuliers d'aménagement.

Quant à l'extension ou à la création de zones mise en valeur dans la vallée du Souf, il est à déconseiller dans l'immédiat, car l'irrigation par les nappes du CT et du CI ne font qu'aggraver la situation de la nappe phréatique, mais il est recommandé d'utiliser cette dernière pour l'irrigation de nouvelles parcelles. L'utilisation des eaux de cette nappe pour l'agriculture permettra de rabattre le plan d'eau, qui est actuellement proche de la surface du sol.



(ANRH : 2005)

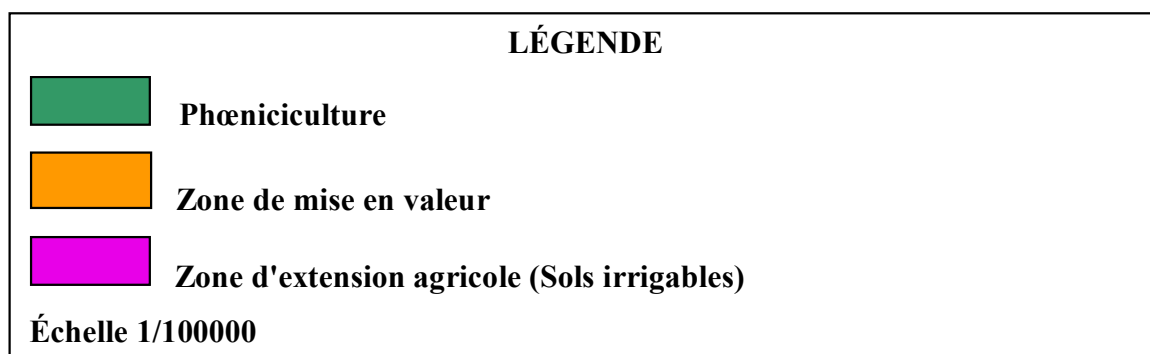


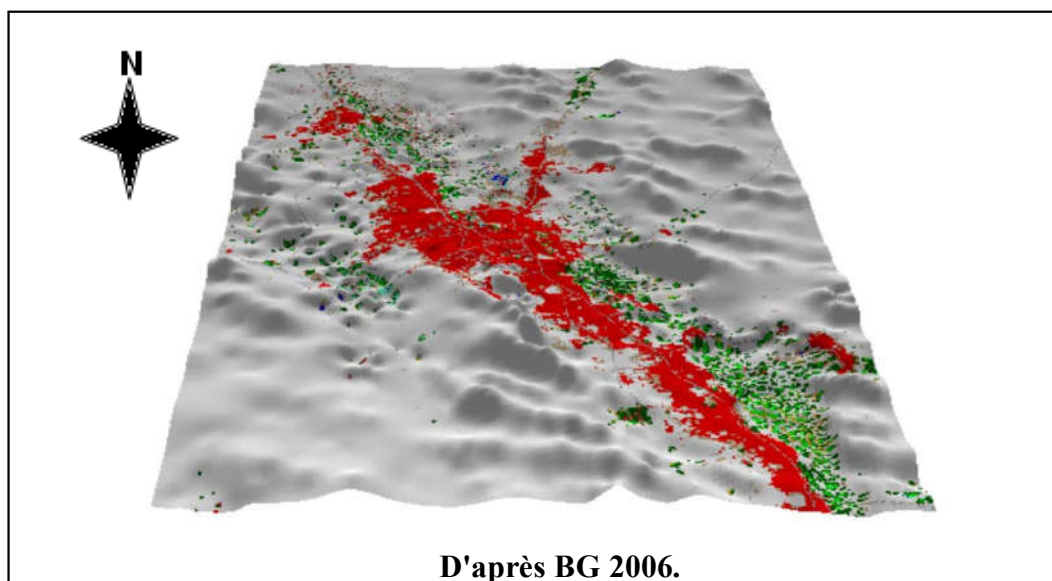
Figure I. 2 : L'extension de la zone agricole du Souf

1.2.4.2. L'élevage:

Les animaux domestiques les plus élevés sont: les chèvres, les ovins, les chameaux, les chevaux, les mulets, les ânes les poulets, les pigeons.

Tableau I. 4: Résumé des résultats obtenus

Souf	Population (Hab.)	Superficie (Km ²)	Densité Hab. /Km ²	Superficie agricole Km ²
Total	679064	44586	15.23	15918.69

**LEGENDE**

- Habitant
- Végétation
- Eau libre, chott

Figure I. 3: Couloir Robbah – El Oued – Kouinine

Représentation de la topographie (hauteurs x 10)

D'après BG 2006.**1.3. RELIEF**

Le relief est très accidenté et couvert de chaînes des dunes surtout la partie sud-ouest, atteignant 100m d'hauteur, et reposant sur une formation quaternaire de plusieurs dizaines de mètres de sable fin éolien, compact, homogène et uniforme avec l'existence d'un nombre important de cratères creusés par l'homme (Ghouts) et des acquêtes (vide entre les dunes : hounds).

Dans le sud du Souf, on rencontre des dunes immenses et bien différenciées, atteignant parfois 200m de hauteur; on les appelle les Ghroudes.



Dunes (07/02/2005)



Ghout (07/02/2005)

Figure I. 4 : Représentation des dunes et d'un Ghout

Site web www.Oued Souf.com

La différence fondamentale à faire dans la topographie du Souf est celle qui existe entre l'erg et sahane:

L'Erg est une région où le sable s'accumule en dunes; c'est la partie la plus importante, elle occupe 3/4 de la surface totale, est relativement épais, toujours de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres, les fonçages récents de puits ont montré une épaisseur un peu plus grande qu'on ne le pensait 70-80m dans la partie sud de Souf, 60m au droit d'el' Oued, il s'amincit progressivement vers le nord du Souf à 30m, et n'est plus qu'une couverture au droit des sebkhas, il repose sur un substratum- un plancher de terrains imperméables les argiles du pliocène- qui constitue un vaste plan découlement des eaux.

Le sahane est une région plate et déprimé parfois caillouteux, formant les dépressions fermées entourées par les dunes, au fond desquelles quelques rares végétaux poussent sur une croûte gypseuse

Le relief de la ville d'El Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une région sableuse : qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahane.
- Une forme de plateaux rocheux : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est.

Le relief du Souf est presque tout entier compris entre trois lignes orientées Est-ouest:

- La première au Sud est la courbe de 100 m, passe par El Ougla, Amiche, Oued Ziten et Oued El Alanda.
- La seconde au milieu est la courbe de 75 m, passe par Z'goum, Guemar et Taghzout.

- La troisième au Nord est la courbe de 50 m, passe par Hassi Khalifa, Magrane et Reguiba.

Il est à signaler que l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

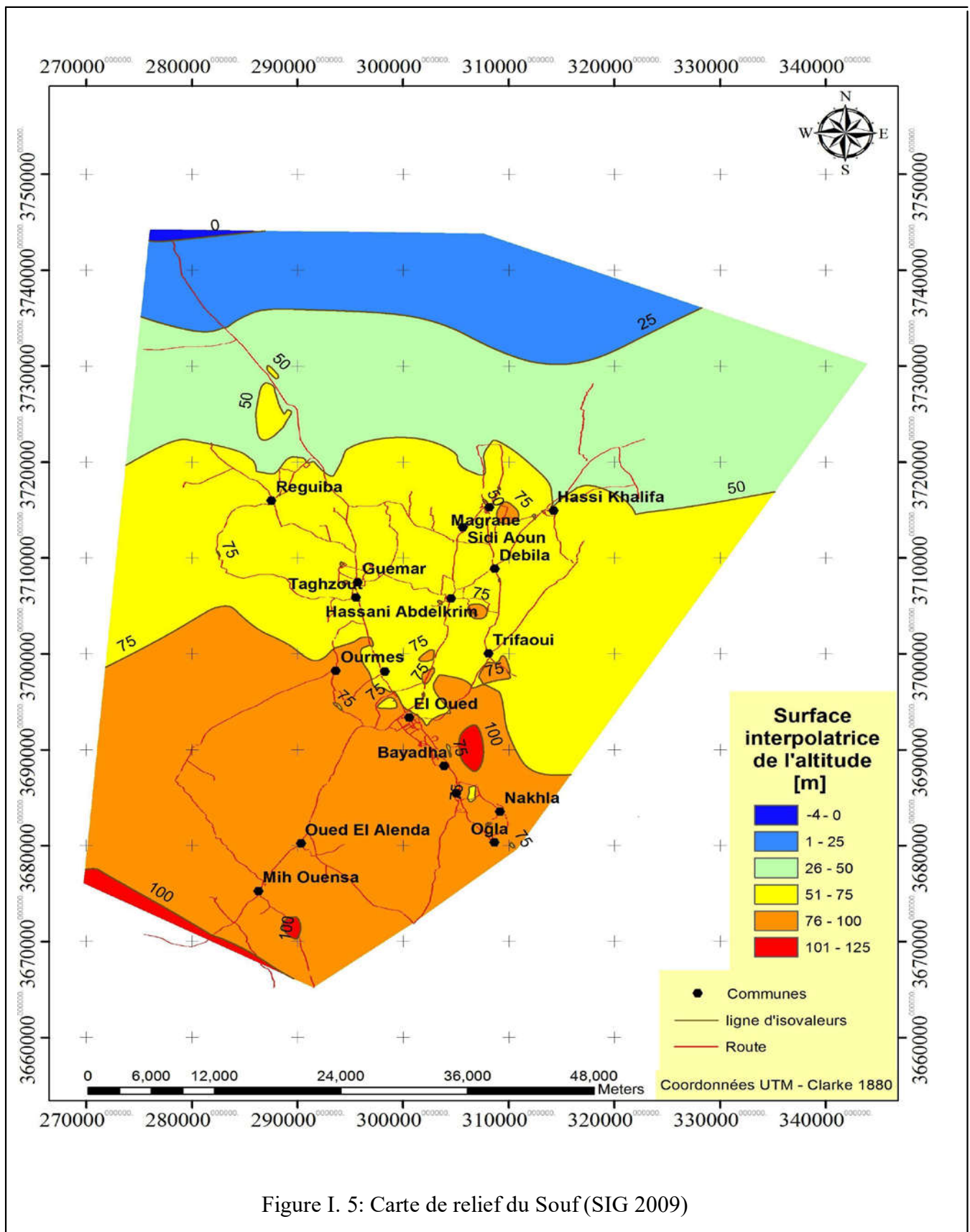


Figure I. 5: Carte de relief du Souf (SIG 2009)

1.4. CONCLUSION

El' Oued c'est un coin de désert, un morceau de Sahara, sables, dunes, Oasis et palmiers.

On se trouve étonné de découvrir en ce coin de terre une population aussi importante, une vie aussi intense.

Le Souf a engendré des particularismes, À la conjonction d'un milieu physique particulier (Erg), et la ténacité d'une population, forme une société avec son histoire.

Une société constitue une vie particulière du monde saharien, faite de solide organisation sociétal, de forte pratique religieuse, des humains conviviaux.

Elle a su adapter ses agro-systèmes, créer une nouvelle agriculture (ghouts).

Plus récemment, et de l'entrée dans l'ère moderne, le Souf ouvert sur l'extérieur, et s'est faite commerçante, elle forme un carrefour des échanges commerciaux.

Le Souf est en train de trouver une nouvelle cohérence, il a essayé de construit une économie plurielle, dans les paysages actuels du Souf, les nouvelles investissements, exploitations à cause les soutient agricoles qui conduit à l'application des nouvelles techniques (pivot centrale pour les pommes de terre, le système goutte à goutte, les serres pour les tomates, etc.....).

Il ne faut cependant pas mésestimer pour l'avenir les risque qui sont ceux de cette société: la fragilité écologique, relative à l'eau et héritée des décennies passées, et la fragilité économique, relative aux débouchés extérieurs et qui est liée au nouveau style d'agriculture soufie, mais la société a suffisamment fait preuve d'esprit d'adaptation et d'innovation au cours de l'histoire pour pouvoir y faire face, forte sa structure interne, et appuyée sur ses assises externes, elle doit pouvoir s'inscrire dans la durabilité.

Chapitre 2

Historique de la remontée de la nappe phréatique

CHAPITRE 2

HISTORIQUE DE LA REMONTEE DE LA NAPPE PHREATIQUE

2.1. INTRODUCTION

La remontée de la nappe phréatique a causé un changement important sur l'environnement touchant essentiellement le secteur agricole et en particulier les palmeraies en cuvette, et d'autres secteurs comme la santé publique, les constructions, le tourisme et la vie socio-économique des citoyens; ces problèmes écologiques ont plus ou moins influé négativement la région du Souf

2.2. HISTORIQUE ET MECANISME DE LA REMONTEE DE LA NAPPE

L'Oasis saharienne classique fonctionne comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie. Pour la région du Souf, les Soufis ne se sont pas implantés n'importe où dans le Grand Erg. Ils ont choisi le centre nord de ce vaste ensemble, c'est-à-dire le secteur qui combine un couvert végétal relativement dense et une nappe phréatique proche et abondante: les eaux souterraines s'y sont progressivement concentrées (Cote Marc, 2006).

2.2.1. Avant 1956

Les jardiniers du Souf assistent depuis la fin du XIX^e siècle et plus encore depuis 1930 à une sensible variation du niveau de leur nappe phréatique ; il semble même qu'ils aient enregistré, à partir de 1940, une baisse des eaux plus fortes qu'auparavant. Faible ou nulle sur la bordure méridionale, elle atteint 50 centimètres au Sud d'El Oued, s'élève à 1 mètre près de cette ville, passe à 1,50 mètre dans les environs de Kouinine, puis à 1,80 mètres près de Guemar et s'élève à plus de deux mètres non loin de Reguiba, au Nord du Souf. Une accentuation de la baisse du Sud vers le Nord, sur l'axe principal des palmeraies au moins, est donc très nette (Nesson C., 1978).

En 1953, un rapport du laboratoire des BTP notait qu'une basse avait dû intervenir dès 1890, qu'elle s'était accélérée dans les années 1930-1940, et inquiétait les agriculteurs. Elle était inégale, de l'ordre de 1 m dans la partie Sud, 1,50 m entre El Oued et Guemar, et atteignait 2,30 m au droit de Reguiba. Dans les secteurs de Ghamra Ouest ou Djedeïda, on voit, dressés encore aujourd'hui, les troncs insolites des palmiers morts de cette époque. Et un rapport sur la situation d'El Oued en 1948 note que « *On ne peut songer à multiplier ces plantations car on constate que*

le niveau de la nappe aquifère baisse par suite, semble-t-il, de l'accroissement du nombre des palmeraies ».

La société Soufie le sait bien, qui au cours des derniers siècles a eu à faire face à un lent rabattement de cette nappe, et a dû mettre au point les techniques d'approfondissement des ghouts et de "descente" du palmier (réaliser en creusant sous le palmier, et en descendant progressivement celui-ci avec des cordes, jusqu'à ce que ses racines atteignent à nouveau la nappe). A l'aide de cette technique, le Soufi a réussi à augmenter le nombre de palmiers (Fig.II.1), mais toujours il y a eu une réaction de la nature par le rabattement de la nappe phréatique à cause du débit extrait.

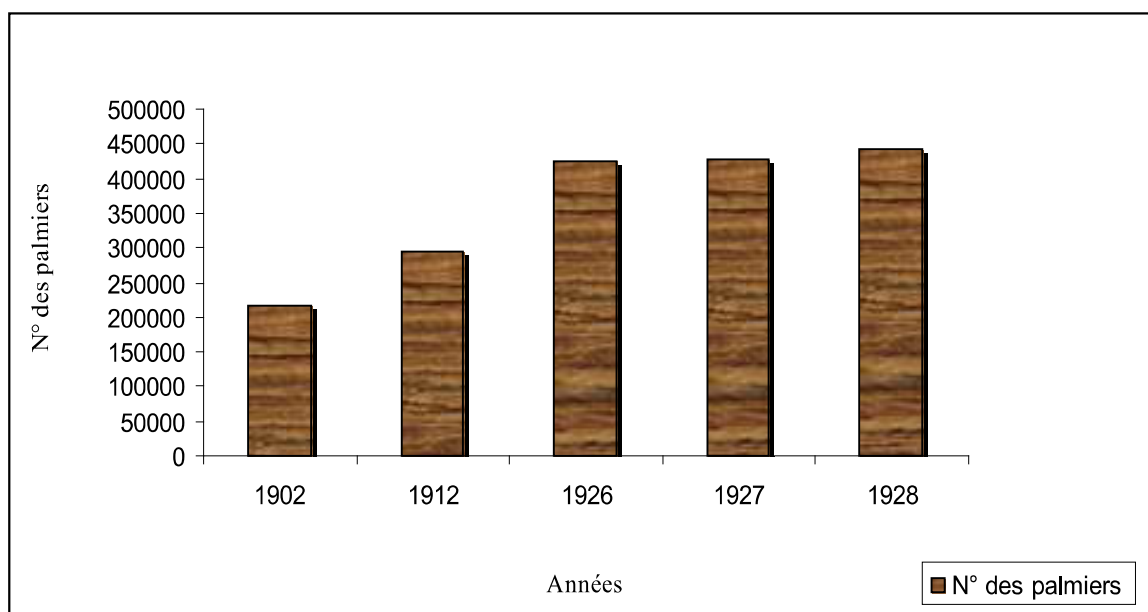


Figure II. 1 : Les nombres des palmiers du Souf au début de XXe siècle (Najah A., 1970)

Il est certain que cette baisse d'eau dont souffrent les vieilles palmeraies, notamment sur les bandes de terrains gypseux, se manifeste d'amont en aval, c'est-à-dire du Sud au Nord. Elle devient de plus en plus catastrophique dans certaines rues de palmeraies, ce qui conduit à l'affaiblissement, sinon à l'assèchement total, des palmiers souffrant de la soif. Les roches souterraines du Souf sont encore en voie de croissance caractéristique qu'on reconnaît unanimement au développement de la rose de sable restant sous terre. C'est que dans la plupart des endroits où la voûte de la nappe phréatique – la seule touchée – a considérablement baissé, il a été constaté la présence soit de forte formation de Lous, comme à Hassi Khalifa-Ghamra- Djedeïda- soit l'apparition d'épaisses couches de Tafza jusque-là insoupçonnées (Najah A, 1970).

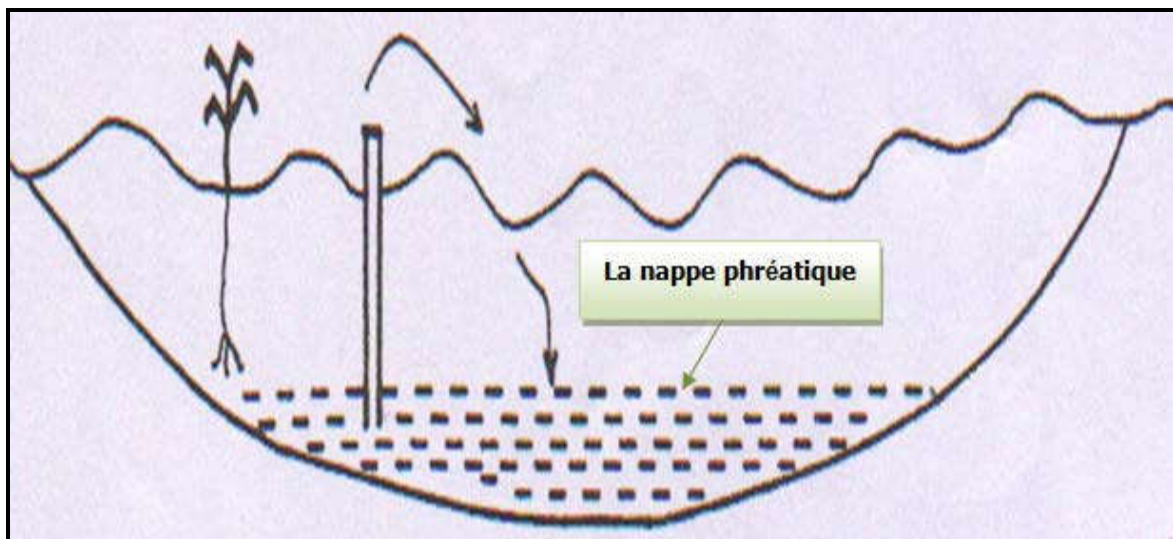


Figure II. 2: La nappe phréatique Avant 1956

2.2.2. De 1956 à 1986

Devant cette situation d'accroissement démographique à cette époque, et les besoins en eau de l'agriculture, on a observé une baisse générale de la nappe phréatique. Pour remédier à cette situation on a opté pour la réalisation des forages, où en 1957 il a été réalisé le premier forage dans le Complexe terminal. Un autre forage exécuté à Hobba (30 Km de Nord Ouest d'El Oued), il donne 158 litres par seconde sous une pression au sol de 22 m 50. La profondeur exploitée allant de 325 à 400 m. Un troisième forage, à Guemar, donne 8,3 litres par seconde sous une pression au sol de 8 m ; la profondeur exploitée allant de 285 à 350 m.

Une douzaine des forages ont été effectués entre 1961 et 1969 : Hamraïa, El Oued, Guemar, Amiche, Débila, Kouinine, Magrane et Hassani Abdel Karim, où on atteint un débit dans la région du Souf de 600 litres par seconde en 1969.

Et d'après la Chronologie de réalisation de forage de la DHW d'El Oued, on trouve que de 1956 (l'année du premier forage profond à atteint le Complexe terminal). A partir de 1970, un forage fut réalisé presque chaque année.

Après l'année 1970, le périmètre de Hobba (Reguiba) n'est pas unique dans la région, il existe également deux périmètres créés dans le cadre de révolution agraire : Akfadou et Sahane Berry. Les trois périmètres ont été accompagnés par la construction d'un village agricole auprès de chacun.

En 1973, le premier rapport de la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El Oued, notait des traces d'humidité au sol dans le fond du ghout, dans le ghout Sardouke au Nord-est de la ville d'El Oued *Figure (II. 3)*.



Figure II . 3: La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980 (Cote Marc, 2006)

On peut ajouter à ces 3 périmètres publics le grand périmètre privé de Dhaouia, crée et développé au cours des 40 dernières années par M^{er} Djilali Mahri. Au prix de très gros investissements, il a réalisé une mise en valeur spectaculaire de 568 ha, portant sur environ 15 000 palmiers et 12 000 oliviers, irrigués par deux forages d'une profondeur de 90 mètres chacun et 7 forages d'une profondeur de 280 mètres.

L'accroissement démographique de cette région a entraîné une forte demande en eau ce qui a nécessité la réalisation d'un grand nombre de forages pour l'alimentation en eau potable sur une période relativement courte. Depuis l'année 1970, le rythme de la réalisation des forages, s'est accéléré où chaque année on a vu la réalisation de 2 ou 3 forages. Pendant l'année 1977 seules, le nombre de forage réalisé est de douze (12) à l'échelle de la région du Souf, neuf (9) pour l'alimentation d'eau potable et trois (3) pour le besoin d'irrigation, de 30 litres par seconde en moyenne chacun.

L'état des forages situés dans la région du Souf montre qu'entre 1956 et 1980, 38 forages ont été réalisés par la DHW d'El Oued). Et la production disponible calculée est ainsi de l'ordre 34 560 m³ par jour en 1980.

Durant la décennie 1980, le Souf s'est senti basculer et entrainer la rupture d'un système fermé ou en d'autres termes, la mort du paysage agraire. Et ce basculement s'est présenté sous un visage inattendu, celui d'une crise hydraulique spectaculaire, par excès d'eau Figure(II.4), comme il n'y en a eu nulle part ailleurs au Sahara.

On parle ici sur la manifestation aux portes immédiates de la ville d'El Oued, l'eau a affleuré en hiver au centre du ghout, avant de finir par noyer en permanence le fond de celui-ci. La nappe phréatique a monté d'environ de 1,50 mètre, envahit le fond des palmeraies (Voisin A.R, 2004). Il est triste de voir des centaines de palmiers morts, dont les pieds baignant dans l'eau où pousse une végétation marécageuse.

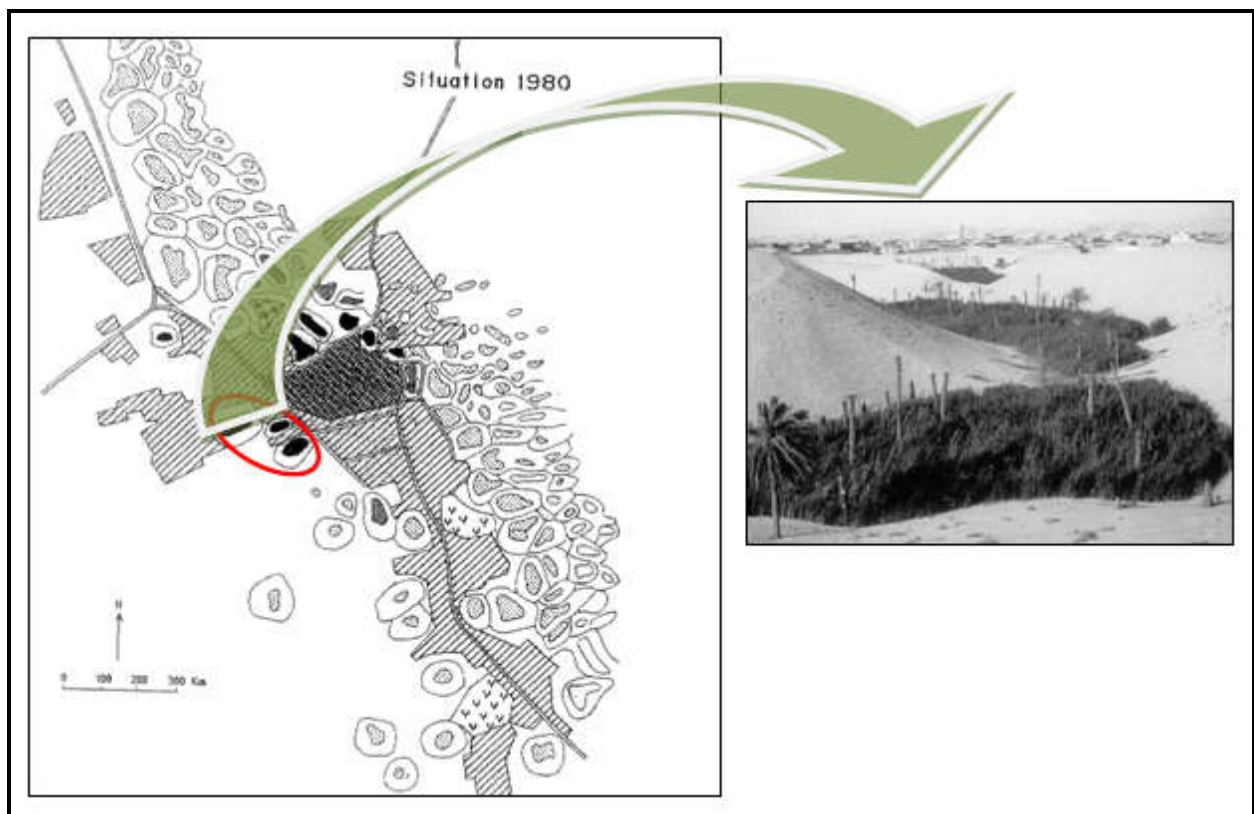


Figure II . 4: Évolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980

(Cote Marc, 1998)

La répercussion sur les palmiers sont claires et directes : envahissement par les joncs et roseaux, arrêt de fructification des palmiers, puis dépérissement des arbres, et enfin morts des palmiers et

abandon du ghout *Figure (II- 4)*. On remarque qu'entre la saison 1980/81 et la saison 1982/83 il n'y a pas une diminution du nombre total des palmiers dans la région, mais il ya une diminution du rendement productif, qui passe de 74 % en 1980/81 à 32 % en 1982/83. (Travail effectué par la direction des services agricoles d'El Oued, 1984) *Figure (II. 5)*.

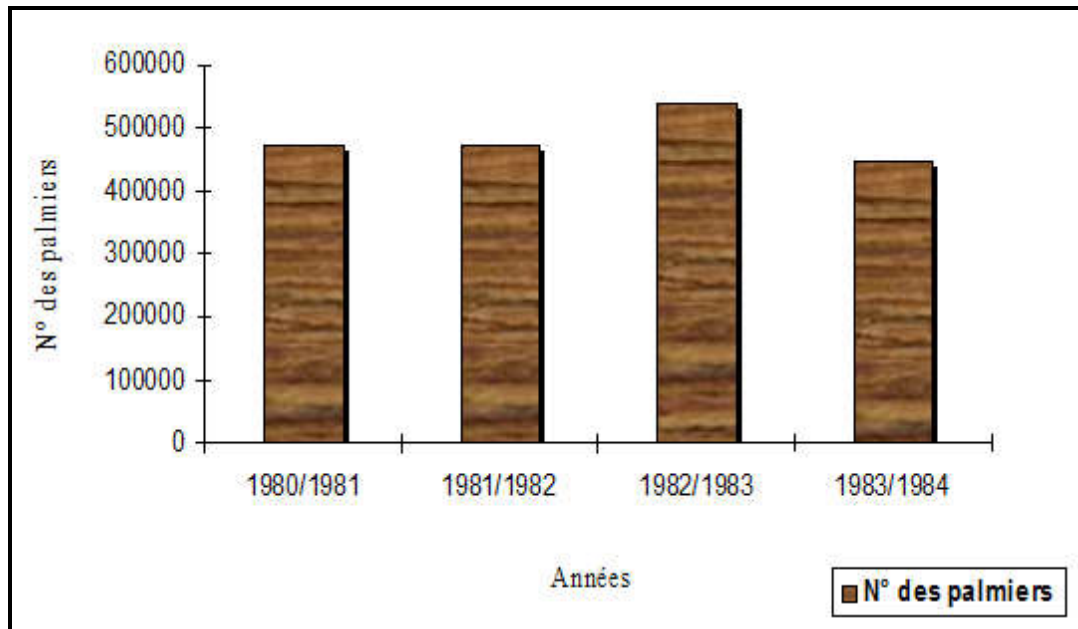


Figure II . 5: Évolution des nombres des palmiers au début des années 80

Année après année, la nature du Souf souffre en silence, et le charme de ce paysage commence à disparaître sous la source de notre vie. La situation devient plus complexe aux environs de la ville d'Oued Souf, le phénomène s'est développé et a touché des autres sites (Ghouts), *Fig(II.6)*

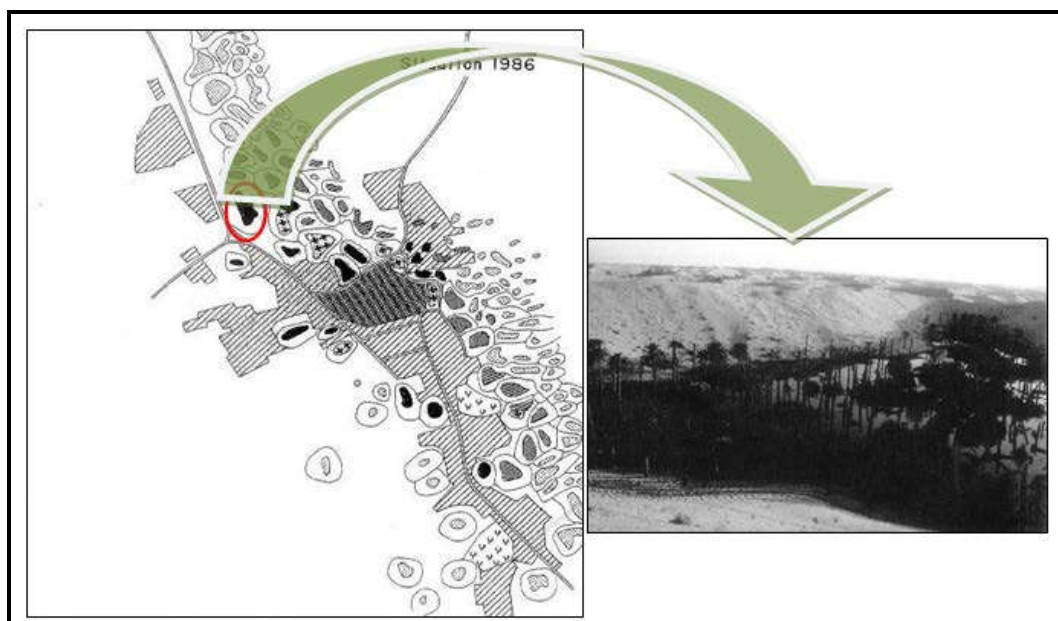


Figure II . 6: La situation des Ghouts d'El Oued en 1986 (Cote, 1998)

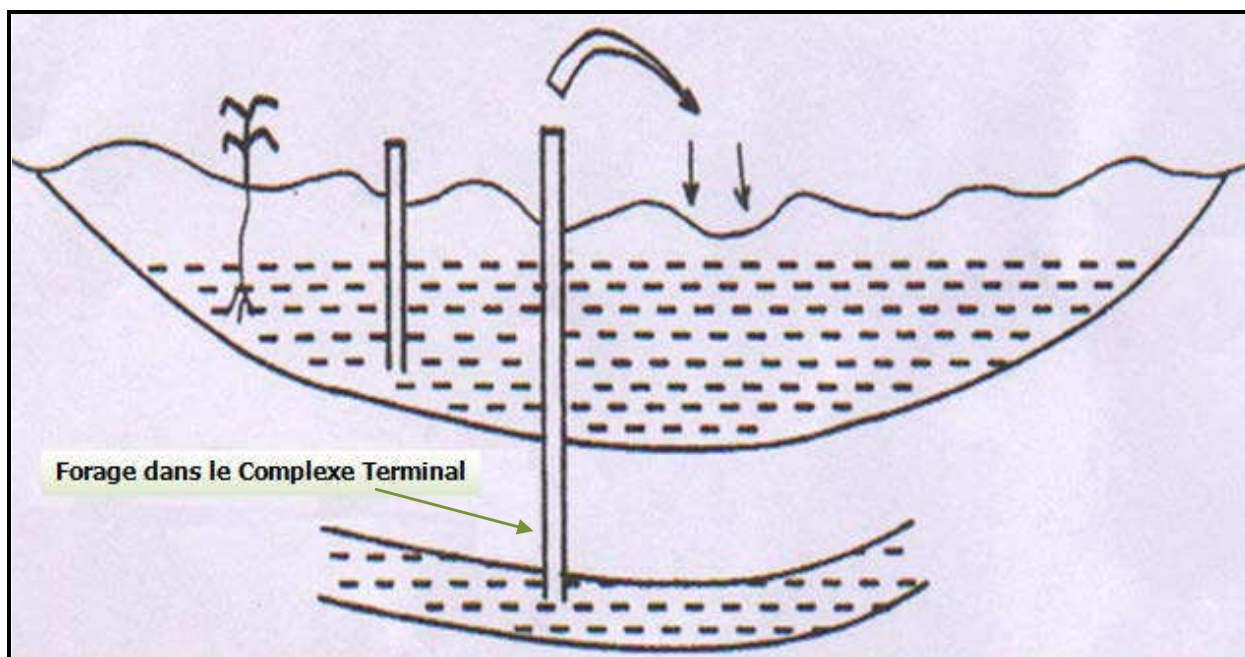


Figure II . 7: La nappe phréatique entre 1956 à 1986

2.2.3. Après 1986

L'accroissement démographique de la région a entraîné une forte demande en eau ce qui a nécessité l'exploitation de l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) pour l'alimentation en eau potable. En 1986 et en 1987, trois forages profonds, ont été exécutés dans l'aquifère du CI, deux d'entre eux sont exploités pour l'AEP d'El Oued, et le troisième à Hassi- Khalifa, pour l'agriculture. Les deux forages de la commune d'El Oued (DW 101, DW 102), ont été mis en services dès leur année de réalisation. Pour le forage de Hassi- Khalifa, il est resté fermé pendant dix (10) ans d'environ jusqu'à la fin de l'année 2006, puis a été raccordé au réseau de la distribution d'eau potable.

Les forages profonds ont aggravé la crise et le système est toujours perturbé. Le prélèvement pour le besoin d'alimentation en eau potable à partir de la nappe du complexe terminale et celle du continental intercalaire a atteint les 3789 litres par seconde en 1993 (3109 l/s du CT et 680 l/s par le CI). Concernant l'irrigation, le débit prélevé dans la nappe phréatique est de 6123 litres par seconde (BRL-BNEDER, 1999). Figure (II. 8).

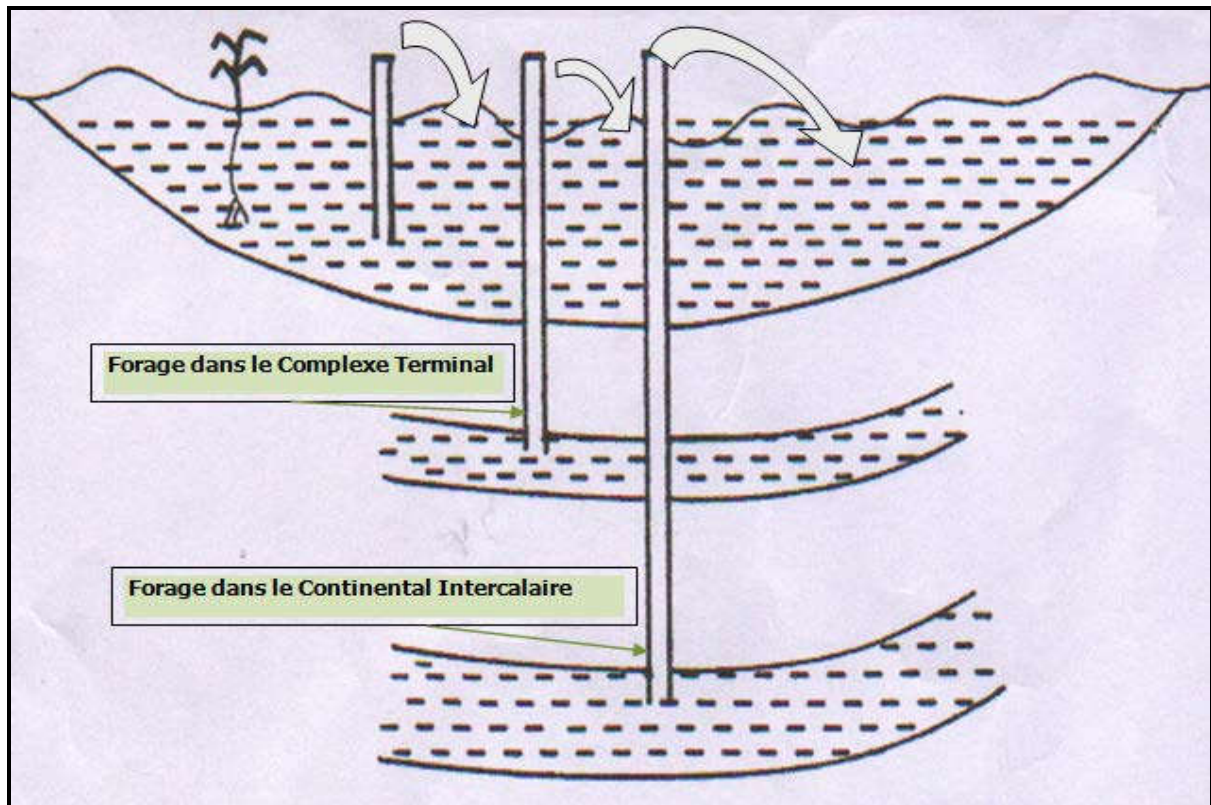


Figure II . 8: La nappe phréatique après 1986

L'assainissement des eaux résiduaires dans la vallée du Souf est caractérisé par la prépondérance d'un assainissement individuel pour toutes les agglomérations de la vallée du Souf. Les puits (fosses) perdus ont été conservés dans la ville d'Oued Souf, où le nombre a atteint les 36265 fosses. Donc, parmi les eaux introduites à la nappe phréatique, on a en plus les eaux usées. En 1993, le réseau d'assainissement des eaux usées n'a été installé que dans quelques quartiers de la ville d'Oued Souf et dans la ville de Guemar.

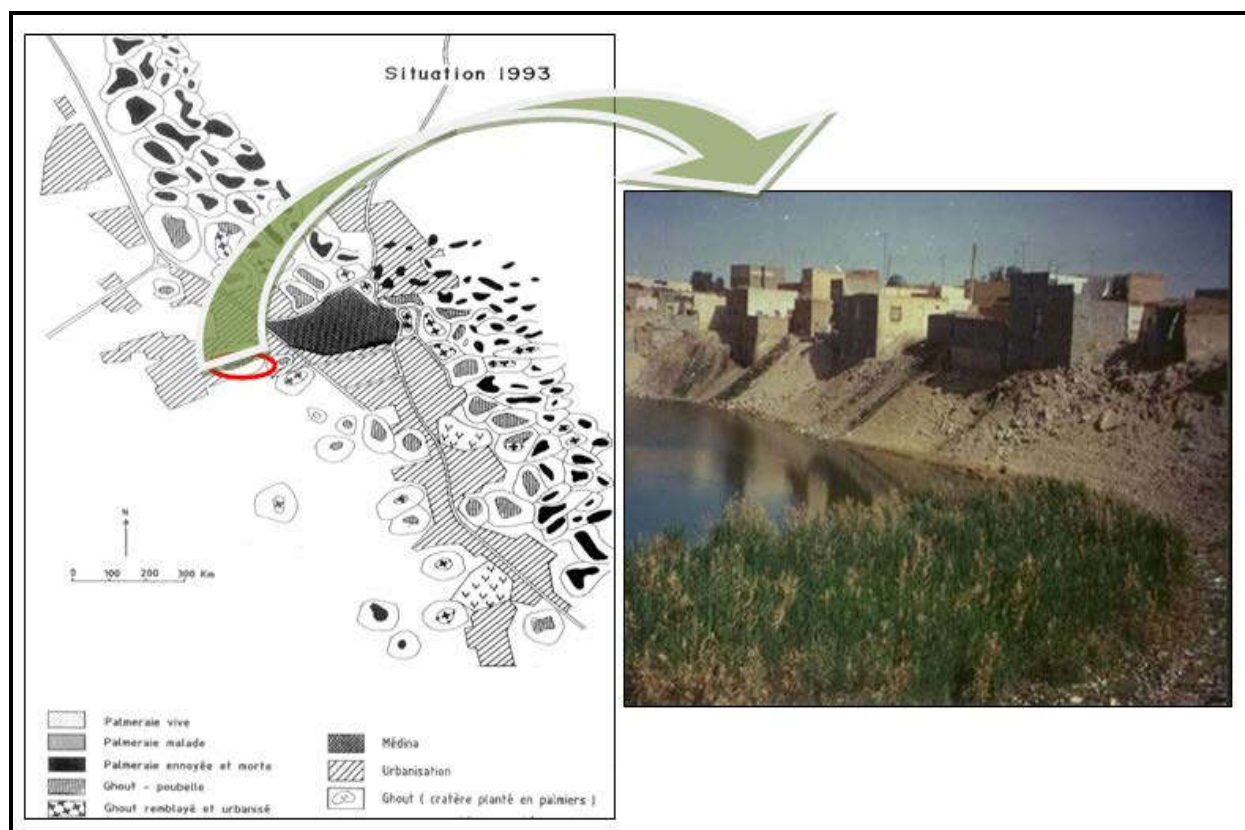


Figure II . 9: Situation d'un Ghouts complètement noyé par les eaux polluées pendant l'année 90 (Cote, 2006)

En 1993, l'eau avait noyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine – Robbah (Fig.II.9). Un réseau de surveillance de la nappe phréatique est mis en place et une série de recommandations ont été émises. Les zones touchées par le phénomène de la remontée de la nappe phréatique sont au nombre de 6. La plus importante est centrée sur El Oued et s'étend d'El Oglia au Sud-Est à Guemar au Nord-Ouest. Les autres sont centrées sur Z'goum, Débila, Mihouensa, Reguiba et Hobba. Et entre 1993 et 2000, des mesures concrètes ont été prises telles que l'arrêt de fonçage des forages pour l'irrigation dans le CT et le CI qui ont été remplacés par des puits dans la nappe phréatique, la réduction des allocations d'AEP à la population, la mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles. Ces mesures ont eu un impact positif avec ce qui a eu pour conséquence la stabilisation ou la baisse du niveau piézométrique dans certaines zones affectées alors que dans la ville de Oued Souf, la nappe continue à monter de 40 à 60 cm par année comme dans les ghouts ennoyés où il se dégage une odeur nauséabonde Figure (II. 9) .

Suite à cette remontée des eaux souterraines en surface, les habitations se sont endommagées, des fissures préjudiciables se sont apparues dans plusieurs maisons, notamment au niveau des

quartiers de Sidi Mestour, Nezla et Chott. Plusieurs familles ont dû être transférés vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maisons.

Pour suivre la variation piézométrique de la nappe phréatique, il faut retourner au réseau de surveillance de l'ANRH (réalisé en 1993), qui était composé originellement de 152 points: 112 puits et 40 piézomètres répartis dans la région du Souf dans une zone de 80 Km selon une direction Nord-Sud et sur 40 Km selon une direction Est-Ouest. En avril 2001, 104 points de mesures sont opérationnels dont 83 des 112 puits et 21 des 40 piézomètres (Bonnard & Gardel, 2002b).

Entre mars 1993 et avril 2002 et, une montée du niveau de la nappe phréatique a été constatée :

- aux plantations irriguées par des forages au CT de Foulia (avec 1.4 mètres) et du domaine Daouia où il a été enregistré une remontée de 3 mètres.
- près du rejet de la ville d'Oued Souf avec 4.5 mètres au H090 à 1 km au nord-ouest.

Un rabattement dans la quasi-totalité du reste de la zone d'étude, avec 5.8 mètres au nord-est de Guemar, 2.1 mètres dans la région de Reguiba, 1.9 mètres dans la région de Hassi Khalifa, 1.7 mètres au sud de Dakhla et 1.7 mètres dans la région de Oued Türk.

En avril 2002, Le niveau piézométrique a été relevé sur les 177 puits, dont une centaine de nouveaux points situés dans la zone urbanisée.

La partie haute de la nappe, représentée en vert dans la *Figure (II.10)*, est située au sud-ouest avec une cote de près de 90 m au piézomètre P039 implanté sur la route de Touggourt au Sud-ouest de Mihouensa. Une zone basse au Nord-ouest, représentée en bleu, avec une cote d'une trentaine de mètres au puits H01 à Foulai et - 6 m au piézomètre P036 à la limite Nord-ouest, sur la route de Biskra.

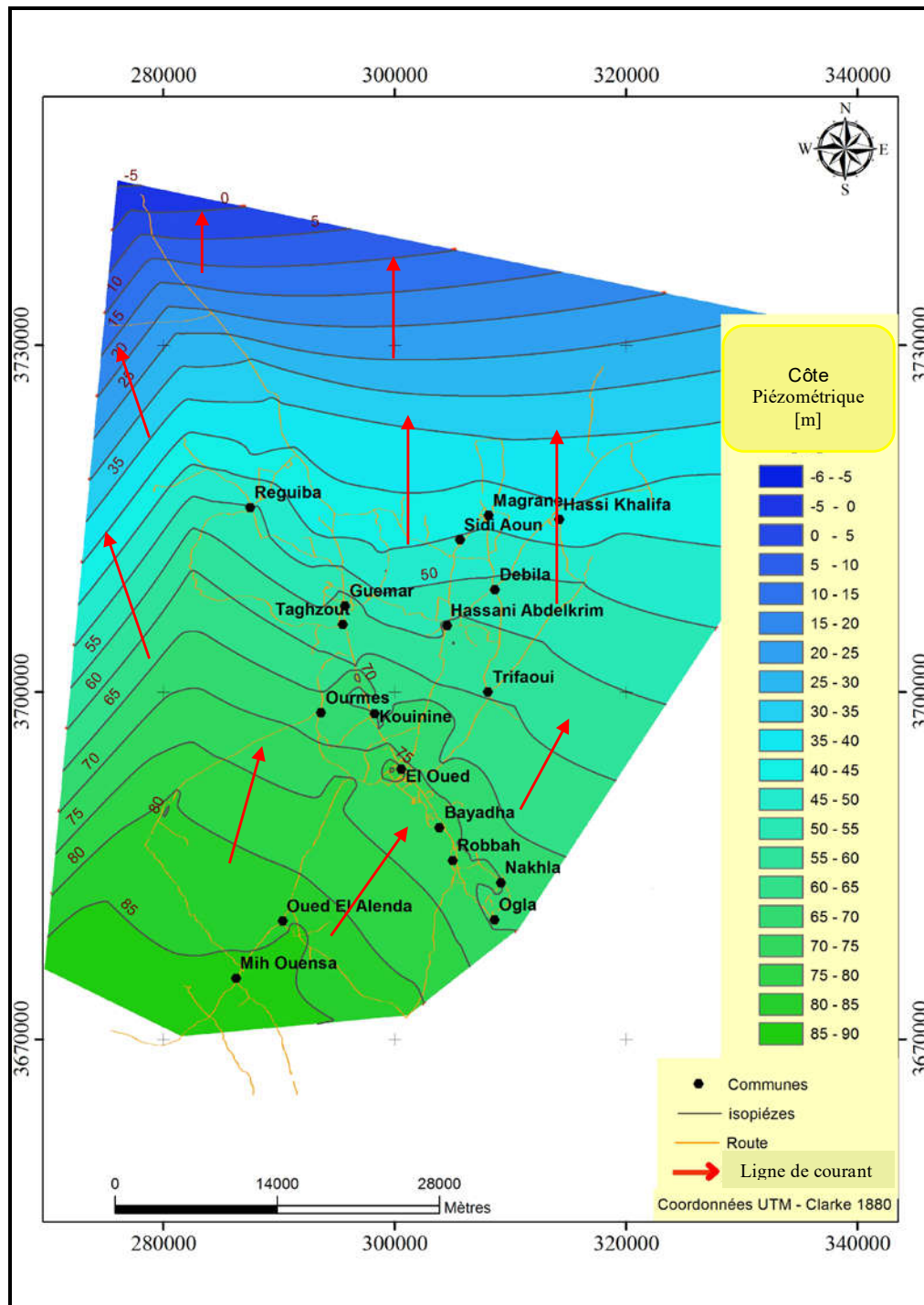


Figure II . 10: Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du Soufen avril 2002 (Bonnard & Gardel, 2002)



Figure II . 11: la remontée de la nappe phréatique en surface dans la cité Chott (Juin, 2009)

2.3. CONCLUSION

La mauvaise gestion des ressources en eau dans la région d'Oued Souf (SE Algérie) a provoqué une augmentation de niveau piézométrique. Jusqu'au la surface de sol. Ou près de la surface .Les conséquence de cette augmentation est néfaste sur l'homme et l'environnement. On note, le noyage des palmeraies et leurs asphyxies.la propagation de la pollution bactériologique dans la nappe, Contamination des eaux par les nitrates d'origine domestique et agricole.la forte minéralisation d'eau à cause de l'évaporation à partir des plans d'eau libre, dégradations des constructions. La remontée des eaux a conduit également au changement progressif de l'occupation des sols à la cour des trente dernières années.

Chapitre 3

*Notions générales sur la
durabilité de béton*

CHAPITRE 3

NOTION GENERALE SUR LA DURABILITE DE BETON

3.1. GÉNÉRALITÉS

Aujourd'hui, la durabilité des structures en béton, est un des facteurs importants dans le domaine du génie civil et du génie industriel. Elle est influencée non seulement par les chargements mécaniques mais aussi par l'environnement. Ces influences deviennent plus importantes quand on doit garantir une durée de service pendant une grande période. Par exemple, les ponts, les tunnels, les réseaux d'assainissement ou le patrimoine bâti doivent avoir une longue durée dans le temps. Dans le cas des milieux agressifs les ouvrages en béton accueillant ces produits doivent avoir une durée de vie très longue dépendant du niveau d'agressivité de ces produits.

3.2. DEFINITION DU BETON [6]

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées a fin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites« méthodes de formulation du béton » Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde pour les réalisations des ouvrages de génie civil .Il est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée.

3.3. Différents types de bétons

3.3.1. Béton auto plaçant (BAP)

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon [7].

Le béton auto plaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration.

Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique [8].

3.3.2. Béton de haute performance (BHP)

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPA), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0,40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires.

Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de Gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [9].

3.3.3. Béton de fibre

Béton dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le Treillis soudé traditionnel [10].

3.3.4. Béton a durcissement rapide

Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en Préfabrication [11].

3.3.5. Béton léger

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m³. Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique [12].

3.3.6. Béton lourd

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m³, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [13].

3.3.7. Béton ordinaire

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulat, eau, avec un rapport (E/C) qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre 20 MPA $\leq f_{c28} \leq 50$ MPA [14].

3.4. Caractéristiques du béton

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois. La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité. Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.

3.4.1. Résistance à la compression (NF EN-12390-3) [15]

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression unie axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydraté.

3.4.2. Résistances à la flexion (NF EN-12390-5) [16]

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7x7x28 cm sont soumises à un moment de Flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs.

3.4.3. Résistances à la traction par fendage (NF EN-12390-6) [16]

On procède généralement par essai de fendage sur éprouvette cylindrique conformément à la norme EN 12390-6. Dans cet essai, on applique à l'éprouvette un effort de compression le long de deux génératrices opposées. Cet effort de compression induit des contraintes de traction dans passe par ces deux génératrices. La rupture, due à ces contraintes de traction,

3.5. Rôle des différents éléments constituant le béton

Ciment : c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.

L'eau : c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.

Les granulats : ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au

béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.

Le sable : il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

3.6. Propriétés des bétons [17]

Le béton doit être considéré sous deux aspects **frais et durci**.

3.6.1. Le béton frais

3.6.1.1. Définition

Mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition ait été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en œuvre soient appropriés. L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures. De nombreux facteurs influent sur l'ouvrabilité: type et dosage en ciment, forme des granulats, granulométrie, emploi d'adjuvants et, bien entendu, dosage en eau.

3.6.1.2. La valeur d'affaissement au cône d'Abrams :

La norme NF EN 206-1 définit cinq classes de consistance.

Classe	Consistance du béton	Affaissement (en mm)
S1	Ferme	10 – 40
S2	Plastique	50 – 90
S3	Très plastique	100 – 150
S4	Fluide	160 – 210
S5	Très fluide	220 \geq

Tableau III. 1: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams.

3.6.1.3. La masse volumique du béton frais

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = (M2 - M1)/V \quad (3.1)$$

D : est la masse volumique du béton

M1 : est la masse du récipient (kg).

M2 : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube (m^3)

3.6.2. Le béton durci

3.6.2.1. Définition

Solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants, d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.

Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

3.6.2.2. Résistance à la compression

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours, f_{c28} . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et

de 32 cm de hauteur.

Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de Compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$\sigma = \frac{P_c}{S} \quad (3.2)$$

σ : Résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés).

P_c : Charge maximale, exprimée en Newtons.

S : L'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à MPA (N/mm²) près.

3.6.2.3. Résistance à la flexion [3]

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm³ sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NFP18-407(NA428), munie d'un banc de flexion à 3 points. Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$$M = \frac{P * A}{2} \quad (3.2)$$

Et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est $f_{tj} = 6M / a^3$ la relation suivante permet de calculer la résistance :

$$\delta = \frac{1.5 P_f L}{a^3} \quad (3.3)$$

P_f : la charge de rupture de l'éprouvette (KN).

a : dimension de section de l'éprouvette (cm²).

3.6.3. Les constituants du béton

3.6.3.1. Le ciment [24]

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile.

À une température avoisinant, les 1450 °C .Broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables. Les travaux effectués ont montré que les principaux composés du ciment portland sont :

- Le Silicate Tricalcique (Alite) : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3S).
- Le Silicate Bicalcique (Belite) : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S).
- L'Aluminate Tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A).
- L'Alumino-Ferrite Tétra calcique : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF).

Et d'autres éléments tels que les sulfates, les alcalins ... et.

Le ciment joue le rôle de liant du béton hydraulique. Le ciment est composé d'un mélange en poudre de chaux et de calcaire argileux qui durcit avec l'eau. Pour faire du béton ou du mortier, on utilise du ciment gris ordinaire dit de Portland. Il se vend généralement en sac de 50 kg sa masse volumique absolue est de 3,02 g/cm³.

3.6.3.2. Les granulats

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes : filles, sablons, sables, graves, gravillons, ballast, enrochements.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production.

Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulat répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité

(distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis [20]

3.6.3.2.1. Granulats roulés et granulats concassés [20]

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

Les granulats de roche meuble

Dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau.

B. Les granulats de roche massive

Dits concassés sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré-criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées.

Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

3.6.3.2.2. Caractéristiques des granulats [22]

a. Granulométrie

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un gravier. Elle consiste à tamiser les granulats sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis.

Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm. La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs. Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique (NF P 18-560).

b. Classes granulaires

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoires (trous

circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum D exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum d , des grains et le deuxième le diamètre maximum D . Un granulat est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D . Lorsque d est inférieur à 2 mm, le granulat est désigné $0/D$. Il existe quatre classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrées (Norme NFP18-101) [22]

- Les fines $0/D$ avec $D \leq 0,08$ mm
- Les sables $0/D$ avec $D \leq 6,3$ mm
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm

c. Forme des granulats

C.1. Coefficient volumétrique

Pour un grain, c'est le rapport entre le volume v du grain considéré et la sphère circonscrite de diamètre d , d étant la plus grande dimension du grain. Pour un grain;

$$c = \frac{\vartheta}{\pi \frac{d^3}{6}} \quad (3.4)$$

Pour un granulat constitué d'un ensemble de grains :

$$c = \frac{\sum \vartheta}{\sum \pi \frac{d^3}{6}} = \frac{V}{\frac{\pi}{6} \sum d^3} \quad (3.5)$$

Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre d'éclats et d'aiguilles. Un coefficient élevé correspond à un granulat dit : "cubique" ou "arrondi".

C.2. Indice de forme [18]

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques

- La longueur L , distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat.
- L'épaisseur E , distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat.
- La grosseur G , dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

C.3. Masse volumique apparente

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement, de la forme et de la granulométrie des grains. Elle se mesure conformément à un mode opératoire précis (normes NF P 18 554 et 18 555). Elle est comprise entre 1400kg/m^3 et 1600kg/m^3 pour les granulats roulés silico- calcaires.

La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton.

d. Porosité

C'est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Cependant, la porosité est importante dans le cas des granulats légers. La mesure de la porosité se fait selon la norme (NF P 18 554 et 18 555). [19]

$$P\% = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}\right) * 100 \quad (3.6)$$

e. L'absorption d'eau des granulats. [20]

La plupart des granulats stockés dans une atmosphère sèche pendant un certain temps, peuvent par la suite absorber de l'eau. Le processus par lequel le liquide pénètre dans la roche et l'augmentation de poids qui en résulte est appelé absorption. L'absorption peut varier dans de très larges mesures suivant la nature du granulat. Elle peut varier de 0 à plus de 30 % du poids sec pour granulat léger. En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels que agrégats légers expansés d'argile, sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton. La mesure du coefficient d'absorption d'eau se fait selon la norme (NFP 18554 et 18555).

L'absorption d'eau par immersion Abs est exprimée en pourcent de la masse sèche et est calculée par la relation suivante :

$$Abs = \frac{M_{humide} - M_{sech}}{M_{sech}} * 100 \quad (3.7)$$

Avec :

M_{humide} : la masse humide constante de l'échantillon après immersion.

$M_{\text{sèche}}$: la masse sèche constante de l'échantillon après séchage à l'étuve 105°C.

f. Résistance à la fragmentation

Dans les bétons, les granulats sont soumis à des contraintes pouvant entraîner leur rupture: La mesure de leur résistance à la fragmentation s'obtient par l'essai Los Angeles (LA). Il fait l'objet de la norme NF P 18-573. C'est un essai de résistance aux impacts, basé sur la mesure de la dégradation granulométrique des matériaux soumis aux chocs. Le coefficient Los Angeles est calculé à partir du passage au tamis de 1,6 mm, mesuré en fin d'essai, caractérise le granulat et la résistance à la fragmentation est d'autant meilleure que sa valeur est petite.

g. Caractéristiques chimiques (Réaction alcali-silice)

Sous ce terme se regroupent toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment. Les granulats doivent être inertes vis à vis de l'alcali- réaction lorsqu'il y a un risque identifié pour l'ouvrage ou un élément d'ouvrage en béton. Il doit être possible de connaître la teneur en alcalins actifs afin de pouvoir établir un bilan pour une formulation de béton et déterminer la présence de granulats partiellement réactifs ou non qualifiés. Les désordres occasionnés par l'alcali-réaction se présentent sous forme de faïençage ou d'éclatement du béton.

3.6.3.3. Le sable

a) Définition

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μm et 05 mm; il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre. Ce sont aussi les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 30%.

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5 mm, non compris les filles. A cette définition se rattachent les sables de concassage; mais lorsqu'on dit sable, on pense essentiellement aux sables naturels abondants dans de nombreux pays et dont les réserves sont quasi inépuisables. En fait, la définition granulométrique du sable est plus compliquée, elle varie suivant les époques et diffère

suivant les pays et selon la destination. [21]

b) Origine du sables [17]

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Il comporte, à des degrés divers, une décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants ; c'est ainsi que la plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre 0,2mm et 0,5mm est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon l'importance et la nature de leur transport, ces grains de sable peuvent présenter un aspect différent à savoir:

- Grains émoussés et luisants (usure due au déplacement par l'eau).
- Grains ronds et mats (déplacement par le vent).
- Grains non usés.

Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects : granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique, pétrologique et minéralogique, forme des grains, dureté,...etc. [17]

3.6.3.4. L'eau de gâchage [22]

L'eau est un constituant du béton nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier.

3.6.3.5. La formulation de béton

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants du béton (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance).

On a recours, dans ce cas aux méthodes de détermination des proportions des différents composants ou on trouve soit :

-Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).

-Les méthodes graphiques (Joisel, Dreux_Gorisse).

3.7. Généralité sur le milieu agressive

3.7.1. Les attaques chimiques du béton

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations.

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories :

A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.

B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.

C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton

Les différents types de Les attaques chimiques du béton :

- 1) Les attaques sulfatiques.
- 2) Attaque par les acides.
- 3) Les dégradations dues à l'eau de mer.
- 4) Attaque par les ions chlorures.
- 5) La carbonatation.
- 6) L'alcali-réaction.
- 7) La lixiviation en eau douce.

3.7.1.1. Les attaques sulfatiques:

3.7.1.1.1. Définition de l'attaque sulfatiques :

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité.

L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimio-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé. [26].

3.7.1.1.2. Sources des sulfates

On distingue deux types d'attaques les attaques par les sulfates externes présents dans l'environnement du béton et les attaques sulfatiques internes pour lesquelles les sulfates proviennent des composants du béton lui-même. [25]

- Lorsqu'il s'agit d'une attaque par les sulfates provenant de l'extérieur, il y a formation de couches de gypse et d'étringite secondaire ainsi que la thaumasite à partir de la surface exposée aux sulfates. L'attaque par les sulfates externes est souvent combinée avec l'attaque par le cation correspondant, selon la provenance des sulfates, qui peuvent réagir avec certains granulats ou fillers, ou avec les C-S-H ou la portlandite, et contribuer davantage à la dégradation du béton. De plus, l'attaque par les sulfates externes peut être combinée à une attaque par l'acide ce qui accélère également la destruction de la pâte hydratée. Lorsqu'il s'agit d'une attaque interne par les sulfates, ces derniers proviennent presque uniquement des sulfates de calcium qui se trouvent dans le béton dès sa confection. Par conséquent, ces sulfates sont uniformément répartis dans la pâte hydratée et le seul produit expansif de la réaction est l'étringite. L'étringite secondaire qui est le résultat d'une attaque par les sulfates externes, n'est pas seule à endommager le béton, c'est plutôt la formation du gypse qui contribue à la fissuration, la lixiviation et le délaminage des couches superficielles. [27]

L'origine des sulfates peut être : externe (environnement) ou interne (composants du béton).

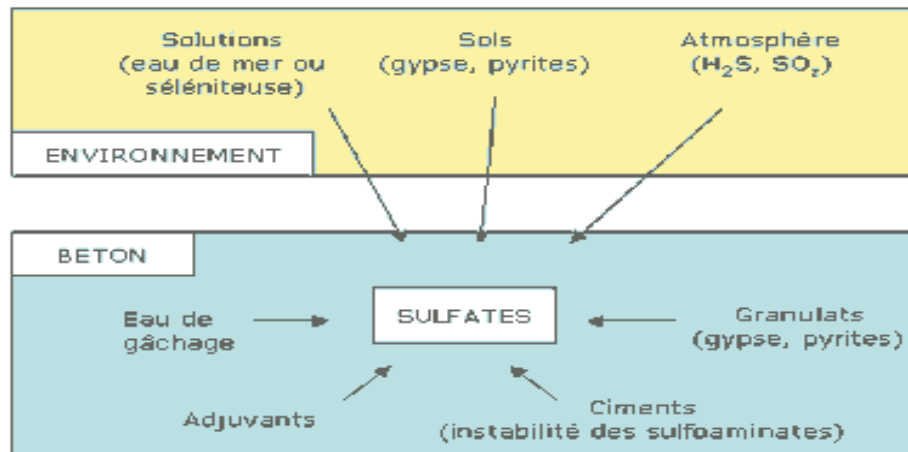


Figure III .1 : L'origine des sulfates (interne ou externe). [28]

Les sulfates peuvent avoir différentes origines:

- Ils peuvent d'abord provenir du régulateur de prise ajouté au ciment (gypse, héli-hydrate, anhydrite) auquel s'ajoutent, en proportions variables, les sulfates contenus dans le clinker lui-même : sulfates alcalins (arcanite K_2SO_4 , aphtitalite $K_3Na(SO_4)_2$, langbeinite $Ca_2K_2(SO_4)_3$) et solutions solides dans les silicates de calcium.
- Ils peuvent également provenir de l'utilisation de granulats pollués par des sulfates d'origine naturelle ou artificielle (gypse, plâtre, anhydrite ou encore pyrites).
- Ils peuvent venir du milieu extérieur où ils se trouvent sous forme solide (sols gypseux), liquide (eaux naturelles percolant à travers les sols et solutions plus ou moins concentrées d'origine diverses), ou gazeuse (pollution atmosphérique par le SO_2).
- Dans les sols où ils constituent un élément nutritif des plantes, leur concentration moyenne est comprise entre 0,01 % et 0,05 % en masse de sol sec.

Des concentrations beaucoup plus importantes ($> 5\%$) peuvent se rencontrer dans les sols contenant du gypse $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ou de l'anhydrite $CaSO_4$. La décomposition biologique aérobie des matières organiques et l'utilisation d'engrais sont également une source possible de sulfates. Le sulfate d'ammonium $SO_4(NH_4)_2$, provenant des engrais, est particulièrement agressif. Les sols peuvent parfois contenir des sulfures de fer (pyrites) qui, par oxydation, peuvent donner naissance à l'acide sulfurique H_2SO_4 , puis au gypse s'ils sont en contact de carbonate de calcium ou de chaux.

- Les eaux d'infiltration peuvent se charger en ions SO_4^{2-} au contact des sols ou des remblais contenant des sulfates.
- Dans les environnements industriels et urbains, l'atmosphère peut contenir de l'anhydride

sulfureux SO_2 provenant des gaz de combustion (charbon, carburants divers). En présence d'humidité ces gaz sont susceptibles de s'oxyder pour donner de l'acide sulfurique très agressif.

- Les fermentations anaérobies qui se produisent dans les ouvrages d'assainissement conduisent également à la formation d'acide sulfurique à partir de l'hydrogène sulfuré dégagé.

[29]

- L'eau de mer contient des sulfates en solution.

3.7.1.1.3. Mécanismes d'attaques:

Le schéma suivant résume les différentes étapes de l'attaque sulfatique.

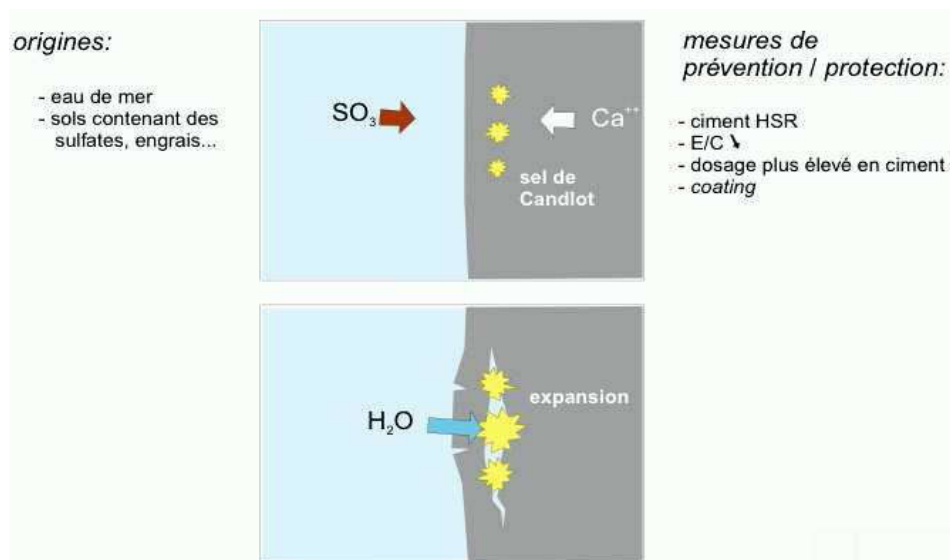


Figure III . 3: L'attaque par les sulfates. [30]

Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico-chimiques :

- Expansion.
- Perte des propriétés liantes des C-S-H.

Les aluminates et la portlandite sont les deux produits les plus sensibles à l'attaque par les sulfates.

3.7.1.1.4. Processus d'attaque par les sulfates externes

Au travers du développement qui suit, ce type de dégradation sera abordée autant par son aspect phénoménologique que par les conséquences et les moyens de s'en prémunir en

agissant sur des paramètres de formulation.

Les études en laboratoire ont conduit à mieux définir les différentes étapes du processus qui entraîne la dégradation du béton :

- Mise en contact de la surface du béton avec la solution agressive.
- Pénétration des anions SO_4 , par diffusion limitée à une zone superficielle.
- Pénétration du cation associé et réaction de substitution : cation (Mg^{+2} , Na^{+2} , $\text{NH}_4\dots$), Ca^{+2} et formation de gypse en solution ou cristallisé, suivant les concentrations en SO_4
- et en $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
- Réaction ponctuelle des ions sulfates avec les aluminates anhydres (C_3A) ou hydraté (C_4AH_x et $\text{C}_3\text{ACASO}_4\text{H}_{12}$).
- Fissuration par effet de coin due aux pressions de cristallisation de l'étringite.
- Accentuation de la pénétration des sulfates à la faveur des fissures.
- Progression de l'attaque suivant un front de dégradation, dont l'épaisseur a tendance à s'élargir au cours du temps.
- Destruction plus au moins complète du béton. [26]

3.7.1.2. Attaque par les ions chlorures

3.7.1.2.1. Introduction

Dans les bétons les chlorures proviennent pour l'essentiel du milieu extérieur, mais il est important de limiter les sources internes chlorures. Pour l'acier, le processus de corrosion généralement admis et débute par la dissolution du métal et la formation des ions ferreux.

L'hydrolyse de ces derniers entraîne l'acidification de la matière et la formation d'hydroxyde ferreux insoluble dont l'évolution donne la rouille.



Figure III .4: Aggression du béton par activité des chlorures. [26]

La diffusion d'ions de chlorure dans le béton est le résultat de complexes mécanismes où l'échange d'ions entre la solution agressive et la solution poreuse (interstitiel) dans le béton joue un rôle important.

- La capacité de fixation des ions Cl^- par le ciment dépend de la nature du ciment, utilisé principalement de la quantité d'aluminate C_3A présente dans le clinker.
- D'autres espèces ioniques peuvent provenir sur la fixation chimique des chlorures.
- La vitesse de pénétration des chlorures dépend de la porosité de la pâte du ciment, elle décroît avec le rapport E/C , de façon exponentielle et dépend de la concentration de la solution environnante en sels. [26]

3.7.1.2.2. Définition de l'attaque par les ions chlorures

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dépassivant la couche superficielle. La corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée. Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est auto catalytique. [31]

3.7.1.2.3. Source de l'attaque des ions chlorures

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils

sont présents au moment du gâchage, utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de déverglaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton.

Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

- Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle ;
- Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores. [31]

On considère que seuls les chlorures libres peuvent diffuser et jouer un rôle actif dans le processus de dépassivation et de corrosion des armatures.

3.7.1.3. La carbonatation

3.7.1.3.1. Définition de la carbonatation

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons et qui conduit à la formation de carbonates de calcium par réaction entre les composés des ciments (principalement la portlandite) et le dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂), présent dans l'air à un taux moyen de 0,03 % en volume, Ce taux est plus important en milieu urbain qu'en milieu rural.

Elle est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie. La combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de l'acide carbonique de l'air forme du calcaire en libérant de l'eau, le pH du béton baisse et la corrosion des aciers commence. [26] [32]

A partir d'une distance de 25 à 30 mm à l'intérieur du béton, il n'y a plus d'échange gazeux grâce aux dépôts de calcaire de la pâte du ciment. Le pH reste stable à une valeur d'environ [11]. La corrosion ne se manifeste pas.

Compte tenu de l'absence d'échanges gazeux, les bétons immergés ne carbonatent pas. Il est à remarquer que des manifestations de carbonatation peuvent survenir sur des faces intérieures de béton lors de climatisation et d'humidification de l'air ambiant. [33]

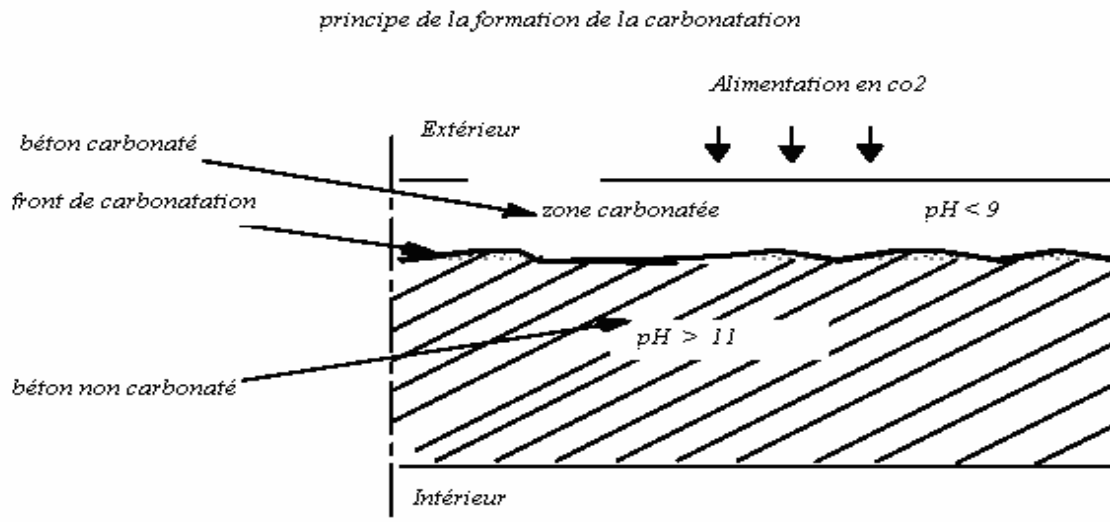


Figure III .5: Coupe théorique d'un mur en béton. [33]

- Influence de la composition du béton

Tout ce qui conditionne la solution interstitielle et la porosité du béton est un facteur pouvant affecter ou non la corrosion. Le type et la teneur en liant, les additions minérales et le rapport E/C (Eau/ciment) déterminent la performance d'un béton.

- Influence de l'humidité

L'effet du taux d'humidité, ou degré de saturation en eau, dans le béton est important car la vitesse de corrosion dépend fortement de ce taux, celui-ci influençant directement la conductivité, la résistivité électrique et la diffusion de l'oxygène.

- Influence de la résistivité du béton

La résistivité électrique affecte de manière significative la corrosion des armatures puisqu'il existe une relation entre la corrosivité et la résistivité du béton. La résistivité du béton est fonction de la composition de la solution interstitielle, de la microstructure du béton (taille et distribution des pores), de l'humidité et de la teneur en sels ainsi que de la température.

- Effet de l'oxygène

Dissous dans la solution interstitielle, l'oxygène est primordial dans la réaction cathodique du processus de corrosion des armatures dans le béton.

- Autres agents agressifs

Des sels, contenus dans l'eau pénétrant le béton, peuvent contribuer à la formation de produits de corrosion sur l'acier. Ainsi, les ions sulfate agissent qualitativement comme les ions chlorures et certains sels solubles tels les perchlorates, les acétates, les halogénures autres que les chlorures peuvent aussi être corrosifs pour les armatures. [31]

3.7.2. Corrosion de l'acier dans le béton

Il existe plusieurs types de corrosion des armatures du béton dépendant de l'environnement et du milieu agressif. La corrosion des aciers dans les ouvrages en béton armé est de deux types :

Corrosion localisée par piqûres : attaque par les chlorures .

Corrosion généralisée par carbonatation du béton : elle se caractérise par l'existence de plusieurs processus électrochimiques élémentaires.

La corrosion des armatures en anaérobie démontrée par Raharinaivo est nommée la (rouille verte).

La corrosion de l'acier dans le béton ne peut se produire que lorsque certaines conditions physico- chimiques sont réunies. L'existence de conditions particulières conduit au démarrage d'un processus électrochimique qui tend à dissoudre localement le fer métallique afin de former des produits plus stables (oxydes, oxyhydroxydes...).

3.8. Conclusion

Dans cette revue bibliographique, notre objectif était de définir la notion de durabilité, les différentes altérations, les mécanismes d'action, sa caractérisation et les méthodes recommandées.

Elle permet de dégager une problématique importante concernant la durabilité des bétons. La formulation des matériaux durables, reste actuellement une des difficultés majeures à son développement et utilisation.

Les principales méthodes de formulations ont nécessité de longues années de recherche pour la mise en œuvre. Cependant le développement parallèle de nouveaux produits, nécessite des extensions et modifications.

Chapitre 4

*Présentation des essais
expérimentaux et interprétations
des résultats*

CHAPITRE 4

**PRESENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX ET
INTERPRETATION DES RESULTATS**

4.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons exposer les caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiées ; en suite en va présenter les résultats des essais effectués sur les bétons étudiés, à savoir les essais de résistance mécanique. Ces essais ont pour but de juger la validité de notre proposition substitution du mélange sable alluviale et sable de carrière dans la confection du béton destiné aux diverses constructions. Ce béton doit répondre en matière de résistance aux différents agents chimiques agressifs dans les eaux superficielles, souterraines et ménagères.

L'objectif principal est donc d'obtenir un béton résistant, étanche, durable et par conséquence capable à résister aux différents agressions chimiques. Le jugement est établi sur la base des résultats des essais expérimentaux et par la comparaison des bétons étudiés avec un béton témoin.

4.2. TYPE D'EXPOSITION

Le tableau IV.1 donne l'analyse chimique de l'eau de la nappe phréatique dans les zones d'étude de la wilaya Selon (ADE ,Fatilab).

Tableau IV.1 : Résultats d'analyses des eaux de la nappe phréatique dans les zones d'étude.

Minéralisation	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	R _s	PH
Zone	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	
Zone A (université)	671,52	140,96	5739,84	2610,81	450,18	4020	7,52
Zone B (Château d'eau Sidi Mestour)	689,37	165,27	2290,26	2013,89	417,24	7400	7,44
Zone C (cité Telayba)	521,04	680,54	1769,10	920,29	780,8	15760	7,58

La norme NF EN 206-1 définit les valeurs limites des paramètres correspondants aux attaques chimiques. des seuils correspondent à des caractéristiques chimiques des eaux de surfaces et souterraines ou des sols.

D'après les analyses des eaux de la nappe phréatique de notre zone d'études on a constaté que notre zone est un environnement contenant des substances chimiques agressives (XA 2).

4.3. MATERIAUX UTILISES

Dans cette étude, le ciment utilisé est un ciment résistant aux sulfates CPA CEM I 42.5 de la cimenterie Ain Kebira Sétif Algérie.

-Sa masse volumique absolue est de $3,02 \text{ g/cm}^3$ [35].

La composition chimique du ciment en question est indiquée au tableau ci-dessous.

Tableau IV . 2: L'analyse chimique de ciment CPA CEM I 42.5 ES (CRS) [36].

Element	Mg	SO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O et Na ₂	Cl ⁻	P.A.F	Residues
%	1.7	1.9	22	5.5	3	64.5	0.2- 1.3	0.02	<1.5	<0.7

- L'eau de gâchage utilisée est l'eau de robinet exempte d'impuretés.

- Les granulats utilisés sont des matériaux locaux:

SA : Sable Acila roulé alluviale siliceux.

SC : Sable carrière 0/3 de Hassi Messaoud.

Granulats naturels concassé, roche naturel calcaire;

Deux classes de fractions granulaires ont été choisies (3/8, 8/16). Celles-ci permettent d'avoir des bétons ternaires avec un étendu granulaire meilleur et une formulation adaptée aux exigences voulues, consistance et résistance.

4.4. METHODES ET FORMULATION

Contribution à l'étude des indicateurs de durabilité des bétons à base des granulats, la formulation des bétons ordinaires est basée sur la méthode de composition de Dreux_Gorisse [DRE 98], Pour les besoins de l'étude, un béton référence (C_0) est fabriqué à base de 100% de sable alluviale, gravier concassé, l'étude porte sur deux bétons ordinaires de compositions différentes (C_1 et C_2), avec différentes combinaisons granulaires (sable et gravier).

4.4.1. Formulation du béton

Tableau IV .3: les compositions granulaires de trois types de bétons.

Béton	Ciment (kg/m ³)	S A (kg/m ³)	S C (kg/m ³)	Gravier (3/8) (kg/m ³)	Gravier (8/15) (kg/m ³)
C ₀	400	651,93	-	93,98	981,86
C ₁	400	329,93	329,93	111,14	934,28
C ₂	400	-	674,19	107,88	874,46

SA : sable alluviale

SC : Sable carrière

Adjuvant : l'adjuvant utiliser est super plastifiant (Medaplast) SP40 de 2.5 %.

Le rapport E/C est constant a tous composition des bétons étudiés E/C=0.42.

4.4.2. CONFECTION DES ÉPROUVETTES

Les éprouvettes utilisées dans notre étude sont des éprouvettes Figure (IV .1).

- prismatiques 7x7x28 cm
- cubique 10x10x10 cm
- Cylindrique 11x22 cm



Figure IV .1 : photo des éprouvettes de Béton

Le résultat pris en considération pour chaque essai est la moyenne de trois éprouvettes. Le nombre total est de 198 éprouvettes.

4.4.3. MALAXAGE

Il faut suivre les étapes suivantes :

- Peser les quantités nécessaires des constituants pour un mélange.
- Introduire les granulats dans le récipient de malaxage du plus gros jusqu'au plus fin conformément à la norme **NF P18-404**.
- Ajouter du ciment aux granulats et les mélanger tous à sec puis avec l'eau de gâchage et l'ajoute d'un super plastifiant SP40 .

4.4.4. MOULAGE ET DÉMOULAGE

Après le malaxage qui dure environ 5 minutes, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule. A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes **NF P18-422** et **423**. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.

4.5. LES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX

4.5.1. Détermination de la masse volumique durcie

Pour déterminer la masse volumique durcie δ_d d'un béton, on doit

- Peser la masse d'une éprouvette durcie M .
- La masse volumique est obtenue en divisant la masse M par le volume correspondant aux dimensions de fabrications V . **[38]**.

$$\delta_d = \frac{M}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4-1).$$

4.5.2. Essai de mesure de la résistance

4.5.2.1. Résistance à la flexion

L'essai choisi est celui de flexion de trois points (18-4 07). L'essai est exécuté sur des éprouvettes (7x7x28) cm. La machine d'essai est d'une capacité de 50KN et d'une vitesse de chargement de 0.1MPa par seconde Figure (IV .2) .

La contrainte de flexion est :
$$\sigma = \frac{1.5P_f L}{a^3} \quad (4-2).$$

P_f : la charge (KN).

a : dimension de section de l'éprouvette (cm^2).



Figure IV. 2 :L'essai de traction des éprouvettes prismatiques

4.5.2.2. Résistance à la compression

La compression est réalisée sur des cubes de (10x10x10) cm. La machine d'essai (type CONTROLS , ayant une capacité maximale de 1500 KN et d'une vitesse de chargement de l'ordre de 0.5 ± 0.2 MPA par seconde figure (IV. 3)[17].

La contrainte de compression est :

$$\sigma = \frac{P_c}{S} \quad (4-3).$$

P_c : charge de compression appliquée (KN).

S : la section de l'éprouvette (cm^2).



Figure IV. 3: Forme des éprouvettes cubiques après l'essai de compression

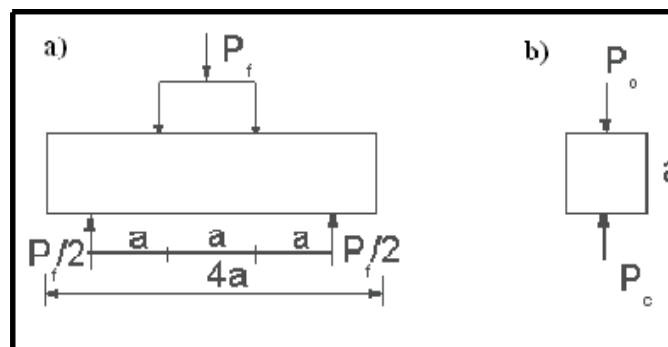


Figure IV.4: a) Essai de flexion sur prisme (3 points) [9].

b) Essai de compression sur cube [9].

4.5.2.3. Résistance à la traction par fendage

L'essai choisi est celui de traction par fendage (EN12390-6). L'essai est exécuté sur des éprouvettes (11x22) cm. La machine d'essai est d'une capacité de 50 KN et d'une vitesse de chargement de 0.1 MPA par seconde Figure (IV .5).



Figure IV. 5: L'essai de traction par fendage des éprouvettes cylindriques.

4.5.3. ESSAI DE DURABILITÉ

Dans l'essai de durabilité, on a immergé les éprouvettes dans des baques d'eau de la nappe phréatique de trois sites différents (zone A, zone B, zone C) dans la ville d'El-oued. Une série de ces éprouvettes sont soumises à un cycle de mouillage-séchage de (12h/12h), l'autre série soumise à un mouillage continu à titre comparatif. Ensuite, la résistance à la traction et à la compression a été mesurée à différents temps de séjour (après 28 jours et après 75 jours).

4.5.4. Essai d'absorption par capillarité

Après le sciage des éprouvettes prismatiques sur une de leurs faces, les échantillons ont été introduits à l'étuve pendant 24 heures à une température de 70 °. Après cela, on fait une imperméabilisation des trois faces de l'échantillon par la résine époxy ou paraffine.

Ensuite, l'éprouvette est introduite dans un bac contenant de l'eau sur leur face sciée (perméable). Puis on mesure l'évolution du poids P (g) de l'éprouvette après chaque 10 minutes, Figure (IV .6), afin de suivre la cinétique d'absorption de l'eau par la capillarité [17].

Le coefficient d'absorption capillaire AC est donné par la relation suivante :

$$Ac = \frac{P}{S\sqrt{t}} \quad (4 - 4).$$

S : surface sciée de l'éprouvette (cm²).

P : La différence des poids d'éprouvette (g).

t : temps par jour



Figure IV. 6: Photos de l'essai d'absorption par capillarité [17]

4.5.5. Essai ultrasonique

C'est un essai non destructif permettant de déterminer la vitesse de propagation des ondes longitudinales. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par onde à parcourir une distance connue. L'appareil de l'essai comprend des capteurs mis en contact avec le béton, un générateur d'ondes dont la fréquence est comprise entre 10 et 150hz, un amplificateur, un circuit de mesure du temps et un affichage digital du temps mis par ondes pour traverser le béton. [9]. Dans notre travail, les essais ultrasonique sont effectuées sur des éprouvettes cylindriques des dimensions (11x22) cm, Figure (IV .7).



Figure IV.7: photos de l'essai ultrasonique sur l'éprouvette cylindrique 11x22 cm .

4.5.6. ESSAI DE CARBONATATION

Une méthode simple et courante consiste à traiter une surface de béton fraîchement rompue avec une solution de phénophtaléine diluée dans l'alcool. Les zones non carbonatées, comportant du Ca(OH)_2 , prennent une teinte rosée, alors que la couleur n'est pas modifiée dans la zone carbonatée. Ce type d'essai est prescrit par la RILLEM. L'essai est rapide et facile à réaliser, la teinte rosée indique la présence de Ca(OH)_2 , ce qui ne signifie pas nécessairement une absence totale de carbonatation. En effet l'essai de phénophtaléine sert à mesurer le pH (la couleur est rose quand le pH est supérieur à (9,5). Figure (IV.8).

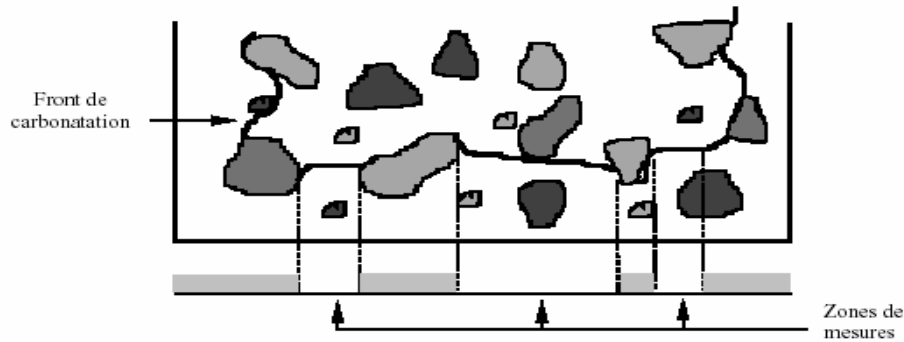


Figure IV.8 : Schéma illustrant le principe des mesures.

4.6. RÉSULTATS ET INTERPRETATIONS

4.6.1. Résultats de résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm³ conservées à l'eau de la nappe phréatique (pour des cycles mouillage/séchage et pour un immersion continu comme témoin) sont regroupés dans le tableau (IV.2).

Tableau IV. 4 : Résultats de résistance du béton à la compression (MPa).

Composition	Zone A		Zone B		Zone C		Zone A	Zone B	Zone C
	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)	75J (M C)	75J (M C)	75J (M C)
C ₀	25,53	29,10	34,60	36,70	30,00	32,33			
C ₁	35,23	39,77	41,52	43,00	38,73	42,83	43,93	43,40	44,03
C ₂	40,20	40,67	38,25	39,13	38,30	43,30			

M/S: mouillage/séchage, M C: immersion continu

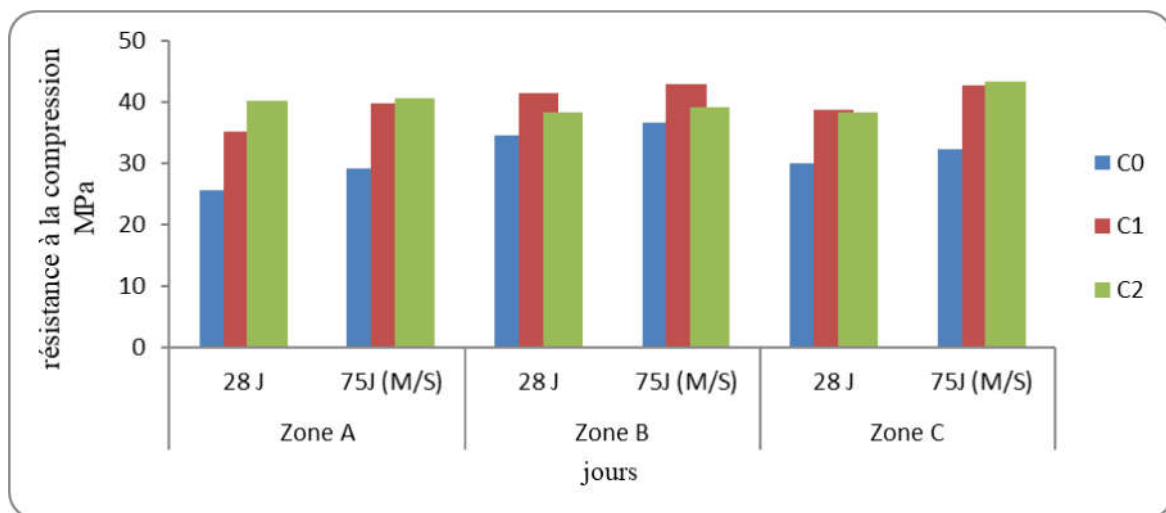


Figure IV.9 : Résistance à la compression (conservation à l'eau de la nappe Phréatique avec M/S).

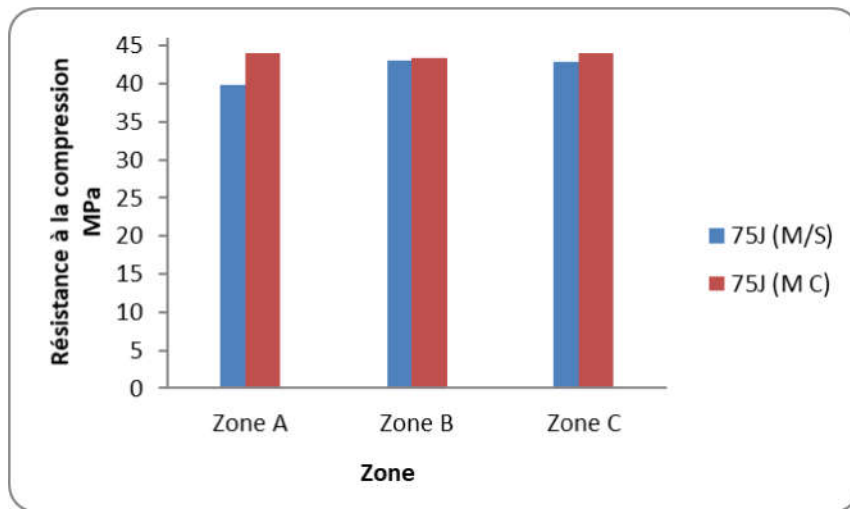


Figure IV.10 : Résistance à la compression (conservation à l'eau de la nappe Phréatique avec M/S et M C).

D'après les résultats on constate que la résistance à la compression est évoluée au cours du temps (28 j, 75 j). l'évolution le plus importants de C_1 10% , C_0 et C_1 a un évolution de résistance à la compression de 6%.

4.6.2. Résultats de résistance à la flexion

Les résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm conservées à l'eau de la nappe phréatique (pour des cycles mouillage/séchage et pour un immersion continu comme témoin) sont regroupés dans le tableau (IV.5).

Tableau IV.5 : Résultats de résistance du béton à la flexion (à l'eau de la nappe phréatique, MPA)

Composition	Zone A		Zone B		Zone C		Zone A	Zone B	Zone C
	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)	75J (M C)	75J (M C)	75J (M C)
C_0	4,63	4,91	5,02	5,75	5,29	6,48			
C_1	6,02	6,20	5,29	6,20	5,57	6,48	7,19	6,83	7,19
C_2	5,48	7,01	4,74	6,02	5,11	6,48			

M/S: mouillage/séchage, M C: immersion continu

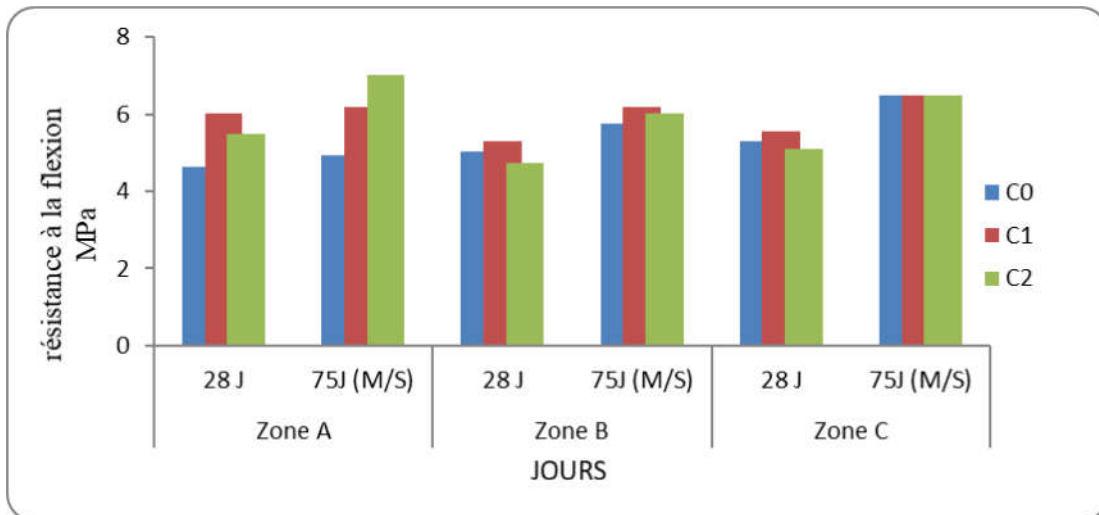


Figure IV.11: Résistance à la flexion (conservation à l'eau de la nappe phréatique avec M/S).

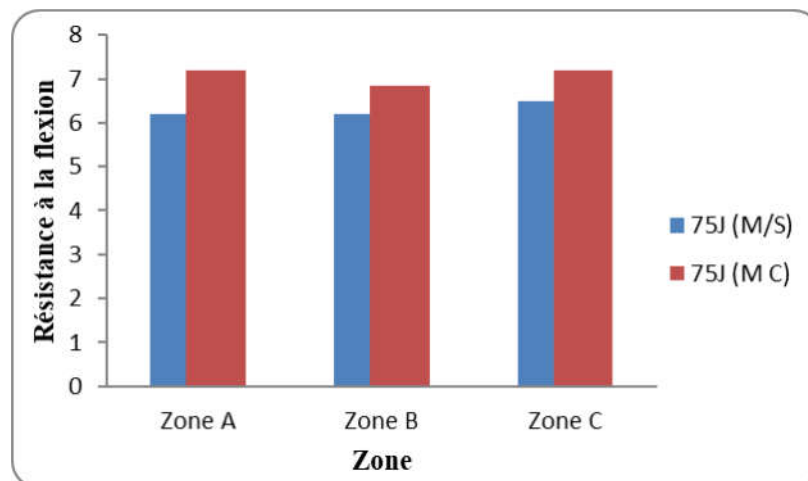


Figure IV.12 : Résistance à la flexion (conservation à l'eau de la nappe phréatique avec M/S et M C).

on a constaté que la résistance à la flexion augmente au cours de temps de 5 % à 20 % aux tous types des bétons ,les valeurs les plus importants obtenus par le béton C₁.

4.6.3. Résultats de résistance à la traction par fendage

Les résultats de la résistance à la traction par fendage des éprouvettes cylindriques (11x22) cm conservées à l'eau de la nappe phréatique (pour des cycles mouillage/séchage et pour un mouillage continu comme témoin) sont regroupés dans le tableau (IV .6).

Tableau IV. 6 : Résultats de résistance du béton à la traction par fendage (à l'eau de la nappe phréatique, MPA).

Composition	Zone A		Zone B		Zone C		Zone A	Zone B	Zone C
	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)	75J (M C)	75J (M C)	75J (M C)
C ₀	2,18	2,26	2,56	2,43	2,41	2,47			
C ₁	2,81	2,88	2,92	2,72	2,69	2,44	3,01	2,66	2,82
C ₂	2,62	2,59	2,86	2,78	3,18	2,56			

M/S: mouillage/séchage, M C: immersion continu

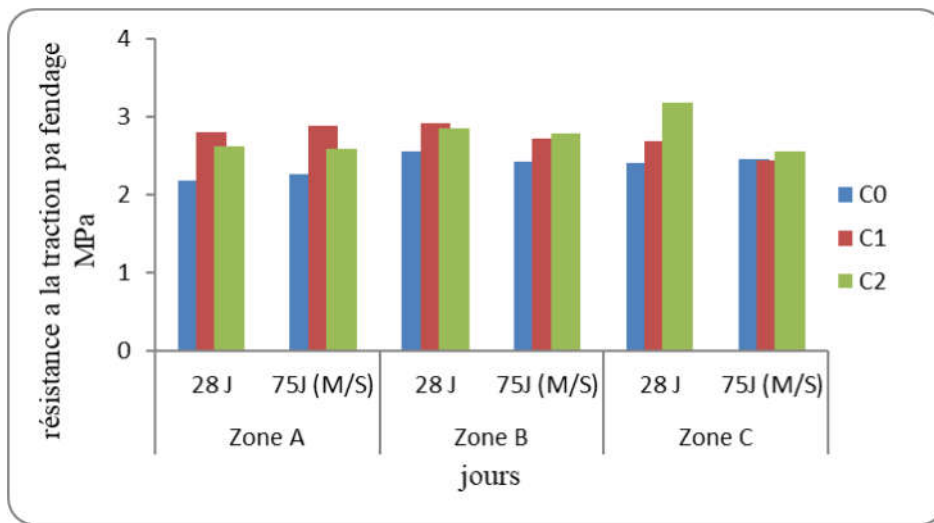


Figure IV.13 : Résistance à la traction par fendage (conservation à l'eau de la nappe phréatique avec M/S).

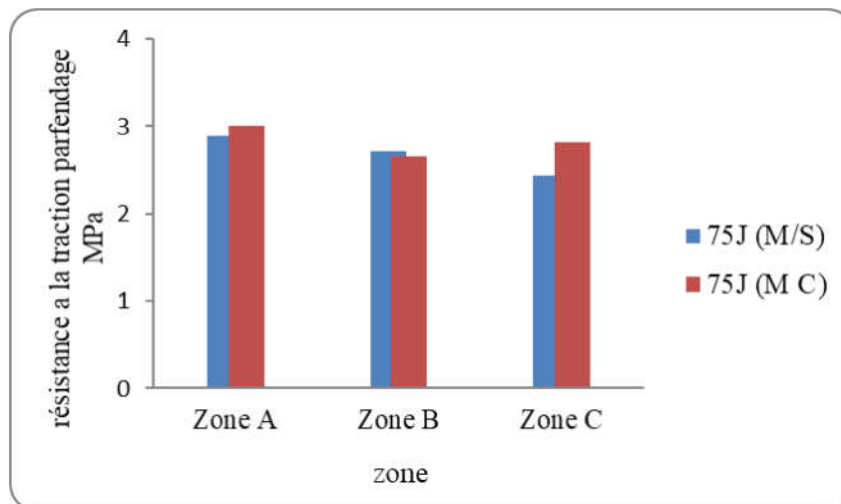


Figure IV.14 : Résistance à la traction par fendage (conservation à l'eau de la nappe phréatique avec M/S et M C).

Les résultats montrent que la résistance à la compression et à la traction accroît avec l'âge du béton. La conservation dans l'eau peut créer un environnement humide et avec une température convenable permettant de continuer l'hydratation du ciment de manière uniforme.

La dégradation du béton n'est pas observée clairement car la durée de l'essai n'est pas suffisante.

Nous pouvons constater que la résistance maximale à la compression et traction est obtenue dans le cas du béton composé d'un mélange des deux sables (formule C₁) comparativement aux bétons C₀ et C₂.

Remarque : on voit que les résultats obtenus dans les trois zones d'exposition sont presque similaires (très proche), nous avons limité notre étude en une seule zone (zone A) dans le reste de notre travail.

4.6.4. Résultats d'essai d'absorption capillaire à l'eau

Les résultats d'essai d'absorption capillaire sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 7 : Résultats d'essai d'absorption capillaire d'éprouvettes à 28 jours d'âge.

Temps (mn)	Absorption d'eau (g)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	1440
C ₀	817,9	820,82	821,6	822,12	822,5	822,79	823,07	823,34	823,56	823,78	831,6
C ₁	817,67	819,75	820,23	820,59	820,87	821,14	821,33	821,52	821,65	821,78	827,8
C ₂	823,67	825,42	826	826,46	826,8	827,09	827,39	827,56	827,76	827,96	834,3

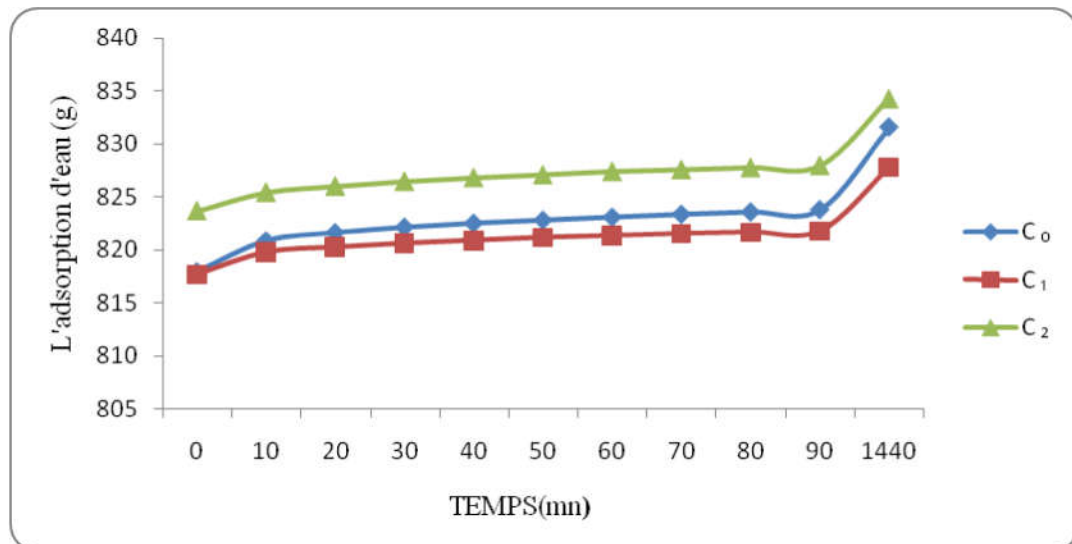


Figure IV .15 : Représentation d'absorption capillaire pour les différents Bétons conserver dans la zone A avec M/S

En faisant recours aux résultats d'absorption capillaire, les valeurs élevées d'absorption d'eau du béton à base de sable 100% carrière sont une indication propre de la porosité et de la perméabilité élevées de ce type de béton.

4.6.5. Résultats d'essai ultrasonique

Les résultats d'essai ultrasonique à l'âge de 28 j de différent type du béton sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 8 : Résultats d'essai ultrasonique à l'âge de 28 jours.

Composition	Vitesse de son (m/s)	Résistance à la Traction
		(MPA)
C ₀	3800,14	2,18
C ₁	4200,25	2,81
C ₂	4065,33	2 ,62

La vitesse ultrasonique est variable dans le même sens que la résistance. Il est évident que le son est plus vite dans les corps rigides, donc, plus le béton est compact, plus la vitesse ultrasonique, et la résistance sont meilleure.

4.6.6. Essai de carbonatation

Les mesures correspondent aux distances (mm) des éprouvettes à l'âge de 28j et 75j (pour le cycle mouillage-séchage et immersion contenu (témoin)) entre la surface externe du béton et le front de coloration sont présentés dans la figure suivante :

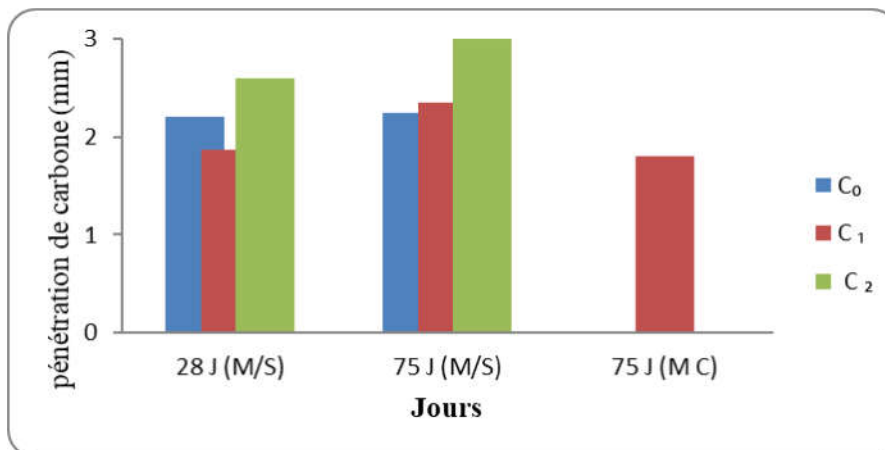


Figure IV .16 : l'évolution de pénétration de carbonate au béton.

D'après la figure (IV.16) les dégradations maximales à la carbonatation sont prélevées pour le béton C₂ à base de sable 100% carrière, alors que le béton à base de sable alluviale pure C₀, et le béton à base de mélange de sable alluviale et sable carrière C₁ montrent une résistance importante aux attaques des carbonates, cela est dû probablement à sa compacité.

4.6.7. Pénétration des chlorures

Les mesures correspondent aux distances (mm) des éprouvettes à l'âge de 28j et 75j (pour le cycle mouillage-séchage et immersion contenu (témoin)) entre la surface externe du béton et le front de coloration sont présentés dans la figure suivante :

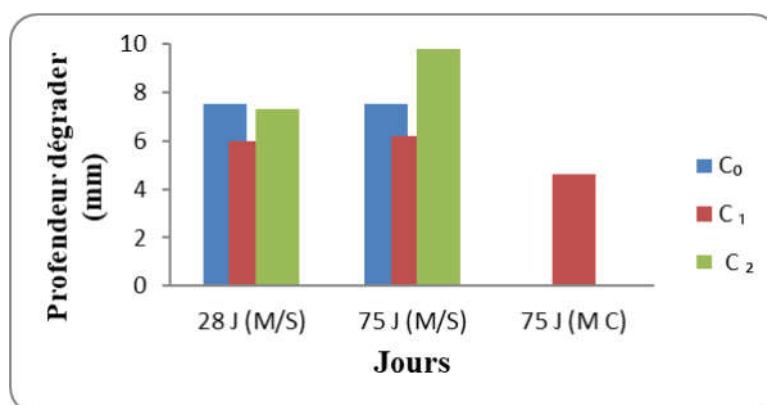


Figure IV.17: Profondeur dégradé (mm).

On a observé que la pénétration de chlorures et augmente au cours de temps. A long terme cette pénétration provoque une augmentation de la porosité dans le matériau et une diminution de la cohésion entre les granulats. il provoque des pertes de rigidité et de résistance .

4.7. DISCUSSION

Tableau IV. 9 : Récapitulation des résultats de la résistance et la durabilité.

	C ₀		C ₁		C ₂	
	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)	28 J	75J (M/S)
R à la Compression (MPA)	25,53	29,10	35,23	39,77	40,20	40,67
R à la Traction (MPA)	4,63	4,91	6,02	6,20	5,48	7,01
R à la Traction Fendage (MPA)	2,18	2,26	2,81	2,88	2,62	2,59
Ultrasonique (m/s)	3800.14	-	4200.25	-	4065.33	-
Coeff icient D'absorption (24 H)	3,46	3,61	3,45	3,68	3,48	3,67
Pénétration Carbonatation (mm)	2,21	2,24	1,86	2,35	2,6	3,03
Pénétration de chlorure (mm)	7,50	7,53	5,99	6,20	7,33	9,82

- Les résultats des résistances à la compression des éprouvettes cubiques montre que les bétons C₁ et C₂ à l'âge de 75 j presque similaire, et sont supérieures de 30 % au valeur de la résistance obtenue par le béton C₀.
- les résultats des résistances à la traction des éprouvettes prismatiques montre que la formulation de béton C₁ nous donne les meilleures résultats à 28 j et à 75 j.
- les essais ultrasoniques des éprouvettes cylindriques montre que le béton C₁ donne des valeurs supérieures de 3% à 10 % par rapport aux bétons C₂ et C₀, ce qui implique l'homogénéité granulaire du béton C₁.
- D'après les résultats obtenus de carbonatation et pénétration des chlorures on a constaté que le béton C₁ présente une résistance aux attaques chimiques ,cette résistance au pénétration des agents agressives est due à la compacité et de faible porosité de béton.

***Conclusion
générale***

CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous pouvant maintenant dresser le bilan général des travaux présentés dans ce mémoire.

Certains milieux sont agressifs pour les matériaux de construction ; eaux usées, eaux souterraines chargées en sulfates ; milieux industriels ou agricoles.

Le béton, par une composition adaptée lui procurant des caractéristiques spécifiques, résiste durablement dans ces environnements (fondations dans des sols agressifs, piles de ponts dans des zones de marnage, ouvrages soumis à des conditions climatiques sévères, au gel, aux sels de déverglaçage...).

L'attaque chimique est la cause principale qui influence sur la durabilité des matrices cimentaires. L'objectif de notre étude était donc :

1. d'analyser le comportement des différents bétons après immersion dans l'eau de la nappe phréatique.
2. Optimiser une formulation résiste au attaque chimique des eaux de la nappe phréatique

Pour cela nous avons confectionné des éprouvettes de béton de trois forme cubique (10x10x10) cm, prismatique (7x7x28) cm, cylindrique (11x22) cm, avec trois formule de béton (C₀, C1, C2), un rapport E/C constant de 0.42, afin d'apprécier leurs influences sur le comportement des bétons vis-à-vis de l'agression chimique.

Les paramètres qui nous a permet l'évaluation de la durabilité des bétons sont les suivants :

Modification de la résistance mécanique.

Profondeur de la zone dégradée.

. Absorption capillaire.

Ces essais ont mis en évidence la cinétique de dégradation chimique des différentes compositions de bétons. De plus ils montrent l'influence de composition de bétons sur la cinétique de lixiviation.

Les essais mécaniques ont été réalisés sur des éprouvettes en bétons à 28 j, 75 j pour mouillage –séchage et à 75 j pour immersion contenu dans l'eau de la nappe phréatique

(témoins). Ces essais ont mis en évidence l'influence de la dégradation chimique sur les propriétés mécaniques, mais dans notre cas ; la durée de l'essai est courte, donc la diminution de la résistance en compression et traction n'est pas observée (le béton conserve son durcissement).

L'étude comparative des différentes compositions de bétons a montré que des propriétés physiques et mécaniques élevées du béton (C1), vis-à-vis l'agressivité de l'eau de la nappe phréatique.

Perspectives

Cette étude nous a permis d'orienter notre champ d'investigation sur d'autres thèmes de recherche :

- Suivi du pH de la solution du milieu agressif.
- Etude approfondie de la microstructure.
- Modélisation du processus de dégradation chimique.



Bibliographie

Références Bibliographiques

- [1]-LTPS, : «Rapports internes de laboratoire des travaux publics sud» 2005.
- [2]-GARNIER.M., : «Guide véritas» Tome 1, publication du moniteur1993.
- [3]-ANRH: «Rapport interne de l'agence nationale des ressources hydrauliques» 1990.
- [4]- DMO, : «Rapport interne de direction des mines» Ouargla2003.
- [5]- DREUX. G et FESTA. J., : «Nouveau guide du béton et ses constituants» P 409 édition Eyrolles 1998.
- [6]-GUERRIN.A et DANIEL. G., : «La fabrication et l'utilisation des tuyaux en béton armé et non armé» édition Eyrolles1953.
- [7]-www.sika.fr, Fiche système A 04 : «Le béton imperméable destiné aux ouvrages hydrauliques» 101, rue de Tolbiac - 75654 PARIS 2004.
- [8]-Creargos.com ; Web expert de construction : «Le Durabat : Ciment en sacs pour travaux en milieux agricoles et viticoles» 2004.
- [9]- NEVILLE. A.M.,: «Propriétés des bétons» P805 édition Eyrolles 2000 .
- [10]- PETROV. N, THIBAUT. M et TAGNIT-HAMOU.A., : «Attaques externes et internes par les sulfates; similarités et différences» ; Communication en 1^{er} congrès international sur la technologie et la durabilité du béton, USTHB2004.
- [11]-www.ciments-calcia.fr «Ciments Calcia» Italcementi Group, les Techno des BP 01 - 78931 Guerville2006.
- [12]- KRIKER. A., : «Durabilité du béton à base de laitier» Thèse de magistère école national polytechnique 1992.
- [13]- ARROUDJ. K et OUDJIT. M. N., «Influence du sable de dune finement broyé sur l'hydratation des ciments» Communication en 2^{eme} colloque maghrébin Biskra2002. [14]- PLANEL.D., :«Les effets couplés de la précipitation d'espèces secondaires sur le comportement mécanique et la dégradation chimique de Bétons»Thèse de doctorat 2002.

[15]- **HANHAN .A** and **ZAYED. A.M.**,: «Influence of S₀₃ content of cement on durability» P (141-146) 2005.

[16]- **Réunion d'ingénieurs** « Matériaux de construction» P401, 3^{eme} édition Eyrolles 1979 Paris.

[17]- **GORISSE. F.**, : « Essais et contrôle des bétons » P200 édition Eyrolles1978.

[18]- Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC : «Le béton hydraulique, connaissances et pratique» P409, 1998.

[19]- **REMADNIA .A.**,: «Etude de l'influence de la qualité des granulats locaux sur les propriétés des mélanges de béton et des bétons durcis dans les conditions des entreprises de préfabrication de la région de Annaba » Thèse de magistère université de Annaba P180, 1986.

[20]-Presse de l'école national des ponts et chaussées LCPC : «béton de sable ; caractéristiques et pratique» P237, 1994.

[21]- **DREUX.G.**,: «Contribution à l'étude de l'influence de la propreté du sable sur les qualités du béton »Anneles J.T.B.T.P, 1964 .

[22]- **DUPAIN. R, LANCHON.R** et **SAINT-ARROMAN .J.C.**,: «Granulats , sols , ciments et bétons» P236, édition Casteilla 1995.

[23]- **CHAUVIN.J.J.**,: «Les sables, guide pratique d'utilisation routière» ; Laboratoire régional de Bordeaux, centre d'étude technique de l'équipement du sud- ouest P(7-14), 1970.

[24]- **BENMALEK .L.**,: «Contribution à l'étude des bétons de sable dunaire pour élément de structure» Thèse de magistère, école national polytechnique P111 ENPT1992.

[25]- **KOTZIAS.**, : «Concrete without coarse aggregate» A.C.I journal1971.

[26] **MELKMI. S** et **TEBERMACINE. N.**,: «Étude comparative entre un béton de sable à base d'un sable roulé et un béton de sable à base d'un sable de dune de la région de Biskra» Mémoire de fin d'étude, université de Biskra1996 .

[27]- **MEROUAINI .Z** et **BATATA .A.**,: «Le béton de sable : sa formulation et ses propriétés» Revue de construction N⁰ 44, 1992 .

[28]- **AZZOUZ. L, KENAI .S** et **BOUHICHA .M.**, : «Comportement physico mécanique du béton de sable dunaire avec additions calcaires» Communication en 2^{eme} colloque maghrébin Biskra P(111-118) ,2002.

- [29]- **GUETTELA. A , MEZGHICHE. B et CHEBILI .R.,** : «Valorisation d'un déchet industriel pour la confection d'un béton de sable» Communication en 2^{ème}seminaire international M'sila P(413-421), 2003.
- [30]- **BENTATA .A.,**: «Etude expérimentale d'un béton avec le sable de dune»Thèse de magistère université de Ouargla P 79, 2004.
- [31]- **BENCHEIKH .M., BELOUADAH. M., CYR. M. et ETP. CLASTRES,**: «effets des adjuvants sur la perméabilité et la porosité d'un béton a base de matériaux locaux sous conditions climatiques» Communication en 1^{er} colloque international USTHB Algérie 2004.
- [32]- **GHRIEB. A.,**: «Etude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques» Thèse de magistère, école nationale polytechnique ENPT.
- [33]- « Définition du béton» Article extrait de l'Encyclopédie Encarta 2005.
- [34]- **www.industrie.gouv.fr/sessi.,** Novembre : « société des études statistiques industrielles du secrétariat d'état à l'industrie» Ministère de l'économie Paris, France 2001.
- [35]-**LARRARD.F. ,** : «Construire en béton ; l'essentiel sur les matériaux» édition LCPC, P29, 2002.
- [36]- **Cimenterie d'Algérie** : «Fiche technique de ciment CPA CEMI ES 42.5». [37]- **Association technique de l'industrie des liants hydrauliques,**: «Guide pratique pour l'emploi des ciments » P 74, édition Eyrolles1998.
- [38]- **KEDJOUR. N.E.,** : «Le laboratoire de béton» office des publications universitaires P 308, 2003.
- [39]- **Société de dérivés de bitume Algérie (DBA)** : «Fiche technique de flintkote».