

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université KASDI Merbah de Ouargla

—ooOoo—

Faculté des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

—ooOoo—

Mémoire  
Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De

## MASTER

Filière: Génie Civil  
Option: Voies et Ouvrages d'Art

**Thème:**

**Etude de l'effet cyclique de l'immersion  
dans le milieu agressif sur la durabilité du béton  
(cas de la nappe phréatique de Ouargla)**

**Réalisé Par : - BAAZIZ Youcef**

**- GHAMRI Abdelhak**

**Soutenu publiquement le:**

**Devant le jury composé de :**

Nom et Prénom	Grade	Université	Qualité
MOKHTARI Abdessamed	MAA	Kasdi Merbah de Ouargla	Président
BENSEKRANE K.	Magister GC	Kasdi Merbah de Ouargla	Examineur
ABIMOULOUD Youcef	MAA	Kasdi Merbah de Ouargla	Encadreur

Année Universitaire :2013 /2014

## ملخص:

تعاني مدينة ورقلة من ظاهرة صعود المياه مما يؤثر سلبا على الكثير من البنى التحتية، كما أن مستوى منسوب هذه المياه متذبذب جراء العوامل الطبيعية من تساقط، تبخر، حرارة، رشح، و سقي... الخ) و تتغير كذلك من فصل إلى آخر.

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة مدى تأثير تكرار الغمر بالمياه الجوفية (الطبقة الحرة لورقلة) على الخرسانة.

وبغرض تحقيق ذلك أجرينا مجموعة من التجارب على عينات خرسانية من اسمنت مقاوم للسلفات CRS بتكرار غمرها بالمياه الجوفية بدوريات مختلفة ( 1، 3، 7، 14، 30 يوما) .

أظهرت النتائج أن الخرسانة تتأثر بدورية الغمر، كلما زادت مدة الدور كلما كان التأثير أقل.

## **Résumé :**

La ville de Ouargla souffre du phénomène de la remontée des eaux ce qui influe négativement sur les infrastructures bâtis, toutes fois, le niveau des eaux de la nappe phréatique est fluctuant du fait de plusieurs facteurs naturels entre autres : la précipitation, l'évaporation, le drainage, la température, l'irrigation ...etc., comme elle change d'une saison à l'autre.

Le but de cette étude est de savoir l'ampleur de l'effet cyclique de l'immersion dans les eaux de la nappe phréatique de Ouargla sur le béton.

Pour ce faire, nous avons effectué des essais sur des échantillons en béton à base de ciment CRS, en les immergeant cycliquement dans l'eau de la nappe phréatique pour des périodes d'immersion variables (1, 3, 7, 14 et 30 jours).

Cette étude à décelé que le béton s'influe par le cycle d'immersion et que chaque fois que le cycle augmente l'effet diminue.

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de*

*respect à :*

*Mes parents à la mémoire de ma très chère mère la chandelle*

*de ma vie et mon très chère père que dieu la garde saine et*

*sauve.*

*Mes frères,*

*Toute ma famille en précisant mes grandes mères,*

*Mon binôme GHAMRI Abdelhak,*

*Tous mes amis*

***BAZIZ YUCEF***

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect à :*

*Mes parents à la mémoire de mon très chère père que dieux le bénisse dans son immense paradis et à ma très chère mère la chandelle de ma vie que dieu la garde saine et sauve.*

*Mon deuxième frère & mon gémeau Abdelhafid,*

*Toute ma famille en précisant mes grandes mères,*

*Mon binôme BAAZIZ Youcef.*

*Tous mes amis*

***ABDELHAK GHAMRI***

# Remerciement

*Au terme de cette étude, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements  
A notre promoteur Mr .ABIMOULOUD Youcef pour ses orientations et précieux  
conseils.*

*A tout le corps enseignants et le personnel de département de Génie Civil qui ont  
contribué à notre formation.*

*Aux membres de jury qui nous ont honorés de bien vouloir accepter de faire part  
de ce jury et de juger ce travail.*

*Nous tenons aussi à remercier vivement tous le personnel du Laboratoire LTPS  
Ouargla et Ghardaïa pour la disponibilité et les aides et efforts qui nous ont  
fournis à fin de mettre à termes ce travail.*

*Nous tenons à remercier également l'entreprise SEROEST qui a fourni les  
agrégats pour accomplir la partie expérimentale de ce travail.*

*Nous remercions encore tous ceux qui ont contribué de près au de loin à  
l'accomplissement de cette étude.*

***BAAZIZ YUCEF & ABDELHAK GHAMRI***

## Listes des figures

Titre	page
<b>Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
Figure. (I-1) : Situation générale [06].....	03
Figure (I- 2) : carte de situation de la cuvette d'Ouargla [07].....	04
Figure (I- 3) : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972) [06]...	05
Figure (I.4) : Représentation du cycle de l'eau [14].....	08
Figure (I-5) : Températures moyennes mensuelles en (C°) entre 1990-2011[15].....	09
Figure (I-6) : Températures Extrêmes Et Ecart (1988-2008) en (C°) .....	10
Figure (I-7) : Répartition mensuelle des pluies à Ouargla sur la période (1991-2006) [12].	11
Figure (I-8) : la vitesse du vent en (m/s) à Ouargla (1990-2011).....	11
Figure (I-9) : Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation (Station météorologique de Ouargla, (1990- 2011)).....	12
Figure (I-10) : Evaporation Mensuelle Moyenne (1990-2011). [8].....	13
Figure (I-11) : Coupe hydrogéologique de la nappe phréatique en 1968 [19] .....	18
Figure (I-12) : Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968 [19].....	19
Figure (I-13) : Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla, période 1992-2002 (BG, 2004) .....	20
Figure (I-14) : Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla, période 2002-2003 (BG, 2004) .....	21
Figure (I-15) : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2003 (BG, 2004) .....	22
Figure (I-16) : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2007.....	23
Figure (I-17) : Carte de profondeur de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2007.....	24
<b>Chapitre II: essais sur matériaux et formulation du béton</b>	
Figure (II-1): courbes granulométriques des granulats utilisés .....	36
Figure( II.2) : Essai d'Équivalent de sable .....	37
Figure (II-3): dispositif pour l'essai de résistance à la flexion ( 4 points).....	51
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>	
Figure (III -1): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de cycle (1 jour).....	54
Figure (III -2): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de cycle (3 jours).....	55

---

Figure (III -3): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de cycle (7 jour).....	55
Figure (III - 4): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de cycle (14 jour).....	56
Figure (III -5): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de cycle (30 jour).....	56
Figure (III - 6): présentant la résultat d'essai de résistance a la traction par flexion des éprouvettes.....	57
Figure (III -7): Résistance a la compression des éprouvettes conservations dans la nappe phréatique d'Ouargla par cycles de 1 jour.....	58
Figure (III -8): résistance a la compression des éprouvettes conservation dans la nappe phréatique de Ouargla par cycle de 3 jours.....	58
Figure (III -9): résistance a la compression des éprouvettes conservation dans la nappe phréatique de Ouargla par cycle de 7 jour.....	59
Figure (III -10): résistance a la compression des éprouvettes conservation dans la nappe phréatique de Ouargla par cycle de 14 jour.1.....	59
Figure (III -11): résistance a la compression des éprouvettes conservation dans la nappe phréatique d'Ouargla par cycle de 30 jours.....	60
Figure (III -12) : présentant la résultat d'essai résistance a la compression des éprouvettes	61
Figure (III -13) : Juxtaposition de la vitesse du son des différents milieux et cycles.....	62
Figure (III - 14): présentant le résultat d'essai d'absorption capillaire des éprouvettes d'âges (60 jours).....	63

## Liste des tableaux

Le titre	La page
<b>Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
Tableau (I-1)-Concentration des éléments agressif dans la cuvette de Ouargla	06
Tableau (I-2): répartition de débit des forages par commune:[18].....	14
Tableau (I-3): volume de précipitation l'année 2006.....	15
Tableau (I-4) : résultat de calcul de bilan hydrique de la cuvette d'Ouargla l'année 2006....	17
<b>Chapitre II: essais sur les matériaux et formulation du béton</b>	
Tableau (II-1): résultats des analyses chimiques du ciment crs (fiche technique).....	31
Tableau (II-2): résultats des analyses physiques du ciment crs, (fiche technique).....	32
Tableau (II-3): essais effectués sur le sable et le gravier.....	32
Tableau (II-4) : Analyse Granulométrique Du Sable utilisée.....	34
Tableau (II-5) : La Granulométrie du gravier utilisé.....	35
Tableau (II-6) : La granulométrie du granulat utilisé.....	35
Tableau (II-7) : Équivalent de sable.....	38
Tableau (II -8) : des classifications des sols.....	39
Tableau (II-9) : Masse volumique apparente et Absolue des granulats utilisés-Mesure.....	41
Tableau (II-10) : Les résultats des essais de calcul Coefficient D'absorption De granulats	42
Tableau (II-11): résultats des analyses chimiques.....	44
Tableau (II -12) : Composition chimique de cette l'eau utilisée en mg/l.....	46
Tableau (II-13): des valeurs de A. [39].....	47
Tableau (II-14) : La variation du coefficient K. [39].....	48
Tableau (II-15) : Pourcentages massique des composants du béton.....	48
Tableau (II.16) : Composition chimique de l'eau de la nappe phréatique d'Ouargla.....	50
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>	
Tableau (III -1) : résultats d'essai de carbonatation.....	63

## SOMMAIRE

Résumés.....	I
Dédicaces.....	II
Remercîments.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des photos.....	VI
Introduction générale .....	03
Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	03
I.1. Généralités Sur La Zone D'Etude.....	03
I.1.2 Hydrogéologie .....	04
I.1.3 La nappe phréatique .....	05
I-1-3-1Analyse chimique des eaux de la nappe phréatique.....	06
I-1-3-2 Analyse de l'influence des éléments chimiques sur le béton.....	06
a) Influence du pH sur le béton dans la cuvette de Ouargla .....	06
b) Influence du chlore sur le béton dans la cuvette de Ouargla.....	07
c) Influence du sulfate sur le béton dans la cuvette de Ouargla.....	07
d) Influence de la concentration du magnésium sur le béton dans la cuvette de Ouargla ..	07
I.1.4 Conclusion.....	07
I.1.4. données hydriques et climatiques de la zoned'étude .....	08
I.1.4.1. Introduction .....	08
I.1.4.2. Définition du cycle hydrologique .....	08
I.1.5. Données climatiques de la zone d'étude .....	09
I.1.5.1. Hydro-Climatologie.....	09
I.1.5.1.1 Température .....	09
I.1.5.1.2 précipitations .....	10
I.1.5.1.3 Vent .....	11
I.1.5.1.4 Pluviométrie .....	12
I.1.5.1.5 Evapotranspiration .....	12
I.1.6.Calcul du bilan hydrique.....	13
I.1.6.1. Calcul débit des forages de la cuvette d'Ouargla VF.....	14
I.1.6.2. Calcul du volume de précipitation.....	14
I.1.6.3.Détermination du volume d'évapotranspiration de la surface cultivée.....	15
I.1.6.4.Détermination du volume d'évaporation de plan d'eau libre.....	16
I.1.6.5. Calcul du volume d'eau refoulé vers sebka d'Oum Raneb .....	16
Conclusion.....	17
I.1.7. La remontassions et la fluctuation du niveau de la nappe phréatique .....	17
I.1.7.1. Introduction.....	17
I.1.7.2 La piézométrie avant 1956.....	18
I.1.7.3 La piézométrie après 1956.....	18
I.1.7.4 La piézométrie en 1968.....	18
I.1.7.5 La piézométrie entre 1992 et 2002.....	19
I.1.7.6 La piézométrie entre 2002 et 2003.....	20
I.1.7.7.La piézométrie en 2003.....	21
I.1.7.8.La piézométrie en 2007.....	22
I.1.7.9 Profondeur de la nappe en 2007.....	23
Conclusion.....	24

I.2 La Durabilité .....	25
I.2.1 Définition.....	25
I.2.1.1 Notion de durabilité .....	25
I.3. Les effets cycliques .....	26
I.3.1. Cyclique mouillage séchage .....	26
I.3.1.1 Action cyclique mouillage de séchage.....	26
I.3.1.1 Séchage du béton .....	27
I.3.1.2. mouillage du Béton .....	28
I.3.2.Les effets gel-dégel .....	28
I.3.2.1.1. - Les détériorations liées aux cycles gel-dégel .....	29
a) - La fissuration interne .....	29
b) - L'écaillage .....	29
I.3.3.L'influence des effets cycliques .....	29
I.3.3.1. La fatigue .....	29
a) – Définition .....	29
b) - Caractéristique de fatigue. ....	30
En conclusion .....	30
Chapitre II: Essais sur matériaux et formulation du béton.....	31
II.1. Caractérisation et essais sur matériaux .....	31
II.1.1. Introduction .....	31
II.1.2 Ciment .....	31
II.1.2.1 Analyses chimiques du ciment.....	31
II-1.2.2 Propriétés physiques du ciment .....	32
II.1.3 Granulats .....	32
Remarque.....	33
II.1.3.1 Échantillonnage des granulats .....	33
II.1.3.2 Analyse granulométrique par tamisage .....	33
a)- Module de finesse .....	33
b)- Facteur d'uniformité Cu .....	34
II.1.3.3 analyse granulométrique du sable laghouat .....	34
II.1.3.4 Analyse granulométrique du gravier utilise .....	35
II.1.3.5 Essai d'équivalent de sable .....	37
a) But de 'essai .....	37
b) Principe de manipulation .....	37
c) Mode opératoire d'essai .....	37
d) Matériel utilisé .....	38
e) Résultats d'essai.....	38
II.1.3.6 Essai Au Bleu De Méthylène .....	38
a) But de l'essai.....	38
b) Principe de l'essai .....	38
c) Préparation de l'échantillon .....	39
d) Exploitation des résultats .....	40
II.1.3.7. Détermination de la masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisé. ....	40
II.1.3.7.1 Détermination de la masse volumique absolue d'un sable ou d'un gravier.....	40
a) – Définition.....	40
b)- Méthode de l'éprouvette graduée.....	40
II.1.3.7.2 Détermination de la masse volumique apparente des agrégats utilisée ...	40
a) – Définition.....	40

b) - Mode opératoire de l'essai.....	40
II.1.2.8 Coefficient d'absorption de granulats Nf p 18-555) .....	41
a) But de l'essai.....	41
b) Principe de l'essai .....	41
II.1.3.9 Analyse chimique.....	42
II.1.3.9.1 Détermination des corps insolubles (NFP 15-461).....	42
a) – Définition.....	42
b) - Principe de l'essai.....	42
c) Étapes de l'essai.....	42
II.1.3.9.2 Détermination des Sulfates (NBS 1377/1975).....	42
a) – Définition.....	42
b) - Principe de l'essai.....	43
c)-Étapes de l'essai.....	43
II.1.3.9.3 Essai de détermination des chlorures norme BS BOWLY (Version 1979) .....	43
a) - Principe de l'essai.....	43
b)- Étapes de l'essai.....	43
II.1.3.9.4 Essai de détermination du taux des carbonates d'un sol (Norme NFP15-461) ...	44
a) Définition et but de l'essai .....	44
b) Etapes de l'essai .....	44
II.1.3.10 Propreté superficielle.....	45
II.1.3.11 Los Angeles.....	45
II.1.4 Eau de gâchage.....	45
Conclusion.....	46
II.2 Formulation de béton.....	46
II.2.1 Introduction .....	46
II.2.2 Principe de la méthode.....	46
II.2.3 Détermination de la quantité de l'eau de gâchage .....	47
II.2.4 Détermination de volume absolu des agrégats secs.....	48
II.2.5 Détermination de pourcentage de ciment.....	48
II.2.6 Détermination des pourcentages des agrégats.....	48
II.2.7 Affaissement au cône d'Abrams [41].....	49
II.3 Confection et cure des éprouvettes .....	49
II.3.1 Confection des éprouvettes .....	49
II.3.2 Conservation des éprouvettes.....	49
a) . Eau de la nappe phréatique (Hai Nasr ).....	50
II.3.3 Constatations avant écrasement des éprouvettes.....	50
II.4.Essais sur le béton durci .....	51
II.4. 1 Essais effectués sur les éprouvettes .....	51
II.4.. 1. 1 Essai de résistance à la traction par flexion.....	51
II. 4. 2 Essai de résistance a la compression (Rc).....	52
II. 1.3 Essai d'auscultation dynamique.....	52
II.1.4 Essai d'absorption capillaire .....	53
II.1 .5 Mesure de la carbonatation.....	53
En conclusion .....	53
Chapitre III : Résultats et discussion .....	54
III.1. Présentation des résultats des essais .....	54
III.1.1 Essai de résistance à la traction par flexion .....	54
a) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 1 jour .....	54

---

b) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 3 jour.....	55
c) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 7 jours .....	55
d) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 14 jours .....	56
e) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 30 jours .....	56
Remarque.....	57
III. 1. 2 Essai de résistance à la compression (Rc) .....	58
a) - Le béton ayant un cycle d'immersion d'un jour .....	58
b) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 3 jours .....	58
c) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 7 jours .....	59
d) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 14 jours .....	59
e) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 30 jours .....	60
Remarque.....	60
III.1.3 Essai d'auscultation dynamique .....	61
III.1.4 Essai d'absorption capillaire .....	62
- Absorption capillaire à l'âge de 60 jours.....	62
III.1.4. Mesure de la carbonatation .....	63
CONCLUSION GENERALE.....	64
1. Conclusion.....	64
2- Recommandations.....	64
3. Perspectives.....	65
bibliographique	
annexe	

# Introduction générale

## Introduction générale :

Après l'apparition du ciment Portland (1848), Le béton a été considéré comme un matériau de construction très durable, l'utilisation du béton dans toutes sortes de construction civiles ou industrielles a pris un grand développement, surtout et sans doute parce qu'il est simple à l'emploi, économique et qu'il s'adapte en toute souplesse aux conditions les plus variées [1].

Le béton bien conçu et bien exécuté, même dans un milieu défavorable, peut se défendre contre les agressions chimiques. [1] De nombreuses dégradations ont été constatées, dues à plusieurs facteurs, tels que la nature et la qualité des constituants, la composition, les adjuvants, le malaxage, le transport, la mise en place (hauteur de chute), la vibration, la cure, et le milieu d'exposition [2]. Après ces constatations, l'idée de durabilité a été remise en question. [3].

Le milieu d'équilibre naturel du béton est une solution très alcaline de pH supérieur à 13, donc tous les milieux extérieurs sont vus par le béton comme des acides très corrosifs [1], Les ouvrages d'assainissement implantés dans les endroits (sols) agressifs, c'est-à-dire pH inférieur à 13[4], le cas de notre zone d'étude " la vallée de Ouargla", ce problème a couplé à la fluctuation de la nappe phréatique.

Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique, dans les régions du Sud algérien et en particulier dans la région d'Ouargla, a pris des proportions alarmantes, concernant la pollution et la dégradation de l'environnement et des ouvrages.

Les régions du SUD-EST Algérien souffrent depuis plusieurs années des problèmes environnementaux et écologiques causés par la remontée des eaux de la nappe phréatique.

L'impact néfaste de ce phénomène se manifeste par :

- la dégradation de la palmeraie, des réseaux routiers, et des structures voir leurs fondations.

Néanmoins le niveau de la nappe phréatique de Ouargla n'est pas stable, il présente des fluctuations de niveau causées par un système assez complexe étant donné que les facteurs qui en dépendent sont assez variables, nous pouvons citer à titre d'exemple : l'évapotranspiration, l'évaporation, l'irrigation, le drainage, l'évacuation des eaux usées, les fuites d'eau potable, les précipitations, l'écoulement sous terrain des eaux, la température le changement des saisons...etc.

La question qui se pose, est ce qu'il y a un effet sur le béton dû à la fluctuation du niveau de la nappe phréatique ?

A ce propos, et pour répondre à cette question notre étude s'est axée sur l'impact de la remontée cyclique de la nappe sur la dégradation des bétons.

Notre mémoire comporte outre la présente introduction générale trois chapitres, dont le premier est consacré à la recherche bibliographique en passant par des généralités sur les propriétés climato-hydrologiques de la zone de Ouargla et sur la durabilité des bétons qui y sont confectionnés et les effets cycliques.

Le deuxième chapitre est réservé aux essais sur matériaux utilisé dans la partie expérimentale et la formulation du béton.

Le troisième chapitre regroupe les résultats des nos essais et la discussion y afférente y compris les interprétations si possibles.

Et enfin, nous terminerons cette étude par une conclusion générale, des recommandations et éventuellement des perspectives.

# **CHAPITRE I :RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**

## Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

### I.1. Généralités Sur La Zone D'Etude

#### I.1.1. Situation géographique :-

A 800 Km de la capitale, la wilaya de Ouargla est située au Sud Est du pays, Au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'Oued Mya. Les limites administratives sont [05]:

- A l'Est, la Wilaya d'EL OUED et la frontière Algéro –Tunisienne.- Au Nord Ouest la Wilaya de DJELFA et Nord Est, la Wilaya d'EL OUED.- Au Sud Est, la Wilaya d' ILLIZI et au Sud Ouest, la wilaya de TAMANRASSET.
- A l'Ouest, la Wilaya de GHARDAIA.

La Ville de Ouargla est située dans une dépression appelée « cuvette de Ouargla ». La superficie étudiée est de 140,000 hectares. Elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain El Beida et Sidi Khoulied. Elle s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880)  $X = 710'000$  ;  $Y = 3'530'000$  et  $X = 730'000$  ;  $Y = 3'600'000$  (cf. figure (I-1)) [06]

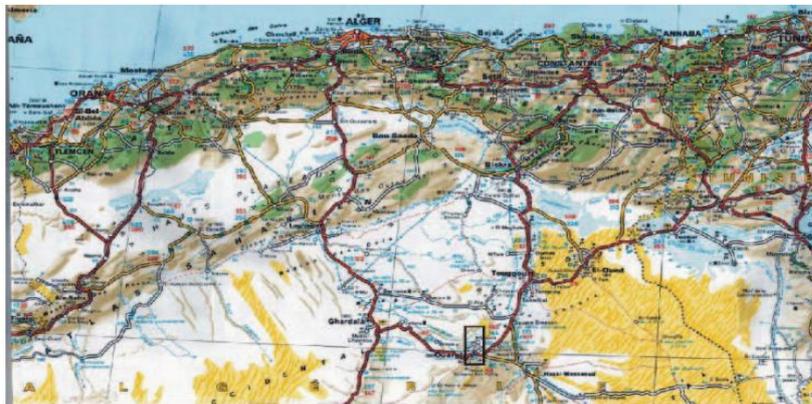


Figure. (I-1) Situation générale [06]

Elle est limitée par :

- Au Nord : la Sebkhet Safioune.
- A l'Est : les ergs Touil et Arifdji.
- Au Sud : les dunes de Sedrata.
- A l'Ouest : le versant est de la dorsale du M'Zab.

La distance du Sud au Nord est de 70 km, celle de l'Est à l'Ouest de 20 km. Comme le montre la figure (I-2).

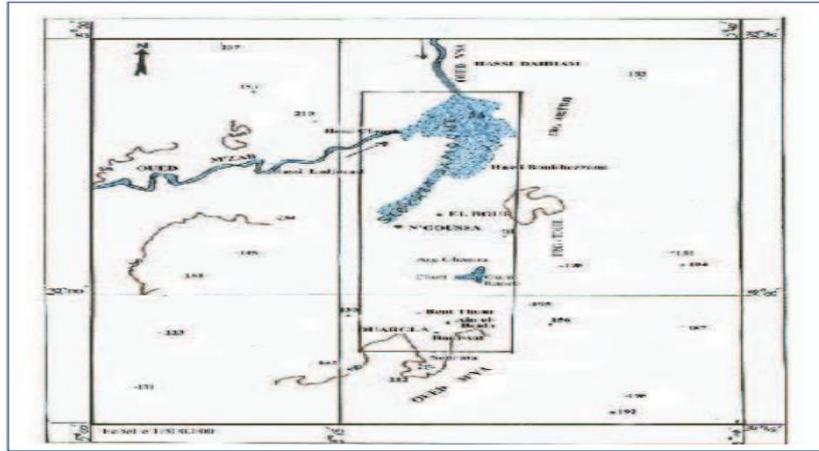


Figure (I- 2) carte de situation de la cuvette de Ouargla [07]

### I.1.2 Hydrogéologie :

Malgré les faibles précipitations et le faible nombre de jours de pluie dans la région du Sahara (12 jours en moyenne) [08]. Les écoulements sur les versants occidentaux peuvent alimenter les réseaux hydrographiques pendant quelques temps et parfois peuvent même causer des inondations très importantes.

Le réseau hydrographique traversant la région est composé des oueds suivants :

- Au nord ouest : Oued N'sa qui selon les fréquences peut présenter des crues considérables. Le bassin versant de oued N'sa couvre une superficie de 4100 Km<sup>2</sup> et une longueur de 175 Km, il reçoit divers affluents dont les plus importants sont le "Ballouh" et le "Soudou" qui arrosent l'oasis de Beriane.
- Au sud : Oued Myaqui est une création d'une ligne de talweg de Hoggar, traversant en long la cuvette en passant par la vallée d'Oued Rhir à travers Chegga pour aboutir au chott Melghir. D'après les études historiques cet oued n'arrive à la cuvette de Ouargla que pour des crues de période de retour assez importante (dépassant 100 ans).
- A l'ouest : Oued M'Zab, dont la superficie du bassin est d'environ 5000 km<sup>2</sup>, prend la direction Ouest-Est sur une distance de 350 Km de la région de Botma Rouila à une altitude de 750 m jusqu'à Sebkhet Safiounne d'une altitude de 104 m. Les crues peuvent arriver jusqu'à sebkhet Safiounne.
- A l'ouest : Oued Metlili et Oued El Menia, dont le cheminement des eaux se fait par infiltration vers la cuvette durant les périodes de crues. Le bassin de Metlili, limite de l'Oasis du même nom ne dépasse pas 400 Km<sup>2</sup>. D'une longueur totale de 210 Km, l'Oued Metlili est barré à

134 Km de son origine par le cordon dunaires de l'Erg Rhanem où plus en avale une grande partie des eaux de ruissellement est absorbée [09], [10].

Il est à signaler que les Oueds de la région sont des oueds saisonniers, est très souvent à sec. La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques [11] (cf. figure (I- 3)).

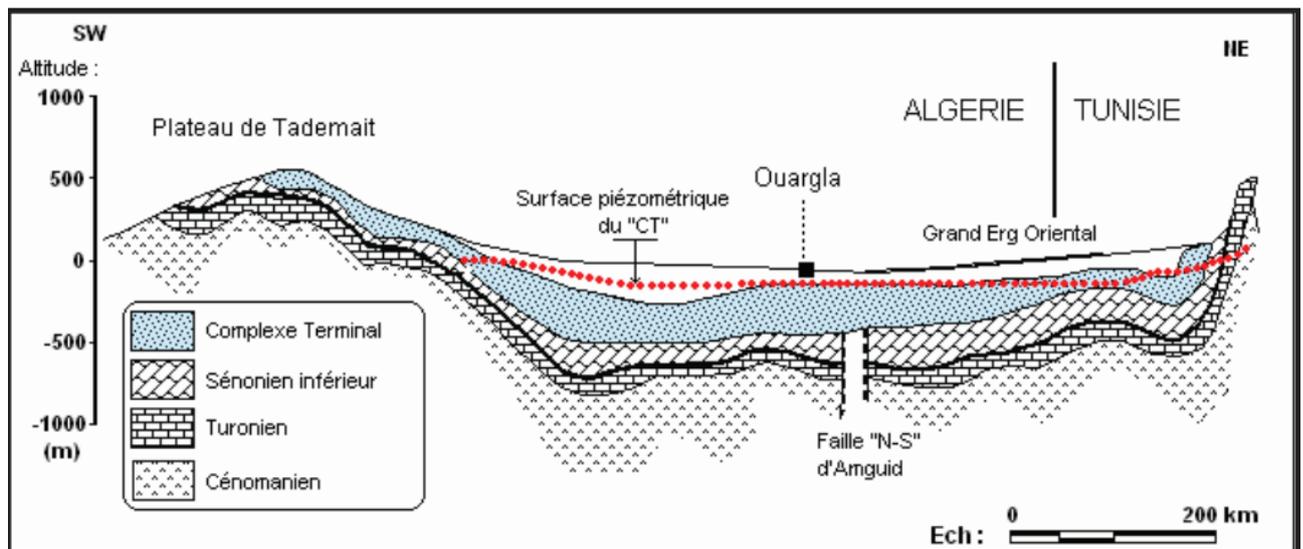


figure (I- 3) Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).

Bénéficiant de cette structure, les eaux souterraines constituent plusieurs ensembles superposés : la puissante nappe artésienne du Continental intercalaire gréseux, la nappe artésienne des calcaires marins du Sénonien et de l'Eocène, les nappes artésiennes du Continental terminal sableux (Mio-Pliocène) regroupées avec la précédente sous le nom de Complexe Terminal, enfin des nappes phréatiques largement étalées dans les formations continentales superficielles.

### I.1.3 La nappe phréatique

Elle est contenue dans des formations récentes qui sont les sols alluviaux de la vallée, avec un sens d'écoulement pas bien défini. Il semblerait qu'elle ait deux sens, du sud vers le nord suivant la pente de la vallée, et de l'ouest vers l'est pour les parties Bamendil Chott (ancienne ville Ouargla) [12]. La profondeur de la nappe peut se trouver juste à 50 cm de la surface et peut même affleurer le sol avec une qualité des eaux très salées. Cette nappe phréatique est exploitée dans certaines zones telle que : Bamendil, N'goussa, El Hadjira, et Taïbet ; où elle est aussi considérée comme une source

hydrique des palmeraies bours. Les études effectuées par l'ANRH (1994) ont permis de donner un aperçu sur la qualité de ces eaux, leur minéralisation et aussi leur limite de concentration. En effet, cette étude montre que les fluctuations saisonnières des niveaux piézométriques sont irrégulières, tenant compte des apports saisonniers et des conditions climatiques, On peut distinguer deux états ; eaux basses au printemps et à l'été et eaux hautes en automne et en hiver [13].

### I-1-3-1Analyse chimique des eaux de la nappe phréatique

La nappe phréatique de la région de Ouargla avec sa nature agressive forme l'assiette d'un nombre important d'ouvrages hydraulique et génie civil qui reposent sur celle-ci, parmi les éléments agressifs contenus dans la nappe nous citons : le chlore, le carbone et le sulfate. Les analyses chimiques des eaux de cette nappe, effectuées par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH), sont représentées sur le tableau(I-3) ci-après qui résume la concentration de ces éléments :

Tableau (I-1)-Concentration des éléments agressif dans la cuvette de Ouargla[24]

	Concentration maximale (mg/l)	Concentration minimale (mg/l)
Chlore (Cl <sup>-</sup> )	185000	685
Carbonate (HCO <sub>3</sub> )	655	24
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	115000	688

le béton armé est le matériau de construction le plus répandu dans le domaine du génie civil Néanmoins, la méconnaissance de sa performance à long terme, et l'impact incertain de l'environnement sur son comportement, rendent difficile une évaluation précise de la durabilité des ouvrages construits avec ce matériau lorsque une structure est mise en service, elle est susceptible de se dégrader, l'origine de cette dégradation peut être mécanique, physique ou chimique.

### I-1-3-2Classification de la cuvette de Ouargla suivant la concentration des éléments chimiques

Parmi les éléments chimiques agressifs sur béton, on note le chlore le dioxyde de carbone, sulfate et le magnésium.

#### a) Suivant le pH

Selon la norme préconisée par le CTC qui stipule que lorsque la valeur du pH est supérieure à 6.5 aucun danger vis à vis du béton n'est à craindre. et étant donné que l'ensemble des échantillons prélevés de la nappe phréatique de Ouargla présentent une valeur de pH supérieur à 6.5 donc le béton projeté dans ces zones ne risque aucun danger. La seule valeur inférieure à 6.5 qui est de 6.37 trouvée au quartier Hai Nacer, est classée dans la plage faible selon la même norme [24].

**b) Suivant le chlore**

D'après la littérature le seuil du chlorure ne doit pas dépasser 0.17% à 2.5% du poids du ciment. Ceci est équivalent à une concentration qui varie entre 595 à 8750 mg/l. les résultats trouvés dans la nappe phréatique indiquent que nous avons déjà cinq endroits au niveau de la cuvette de Ouargla qui dépassent la fourchette citée, donc, ils sont objet du risque de chlorure s'agissant des quartiers Hai-Nasr (parc), Bouamer, Adjadja et N'Goussa. Les quartiers qui sont dans la plage de fourchette (qui sont l'objet de jugements non précis) Sidi Abderrahmane II, l'université SaidI ,Hai-Nasr (au bord de la RN 49), Sokra et Rouissat, Bien que les quartiers Ain-Beida, Sidi Abderrahmane I , Said et N'Goussa (coté du stade) ne présentent jusqu' à présent aucun risque vis-à-vis de l'attaque de chlorure [24].

**c) Suivant le sulfate**

Selon les spécifications édictée par le CTC, la cuvette de Ouargla peut être classée en plusieurs degrés d'agressivité à savoir : Adjadja, Bouamer et Quartier Nacer (parc) classés comme zones de forte agressivité ( de 3385 à 3606 mg/l), Sidi Abderahmane II, Université, said I, Quartier Hai-Nasr (au bord de la RN49), Rouissat et N'Goussa (entrée de la ville) qui sont classés comme zones d'agressivité modérée, alors que les autres zones sont classées comme zones de faible agressivité

**d) Suivant le la concentration du magnésium**

Une concentration de moins de 100 mg/l est considérée sans effet selon les spécifications du CTC alors qu'au -delà de 3000 mg/l l'agressivité de celle -ci est classée comme très forte. les résultats obtenus d'après l'analyse chimique des eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla en terme de concentration en ions de magnésium montre qu'il existe un seul endroit (quartier Hai-Nasrdu côté de la RN49) qui est classé en zone de forte agressivité. les zones de moyenne agressivité sont à ce titre : Adjadja, saidI, et N'goussaà l'entrée de la ville .Sont considérés comme de faibles agressivités les zones : sidi AbderrahmaneII, quartier Hai-Nasr (parc)et N'goussa, alors que les autres zones sont classées comme zones ne présentant aucun risque [24]

**I.1.4 Conclusion**

Nous concluons que la ville de Ouargla est caractérisée par un climat chaud et sec et elle possède plusieurs nappes dont la nappe phréatique qui s'étant sur une superficie très large, ce qui influent sur la durabilité des ouvrages souterrains.

#### I.1.4. données hydriques et climatiques de la zoned'etude :

##### I.1.4.1. Introduction :-

L'eau est la source principale et originelle de toute vie. Elle se présente, dans la nature, sous trois états :

- Solide : neige et glace.
- Liquide: eau chimiquement pure ou chargée en solutés.
- Gazeux : à différents degrés de pression et de saturation.

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère

##### I.1.4.2. Définition du cycle hydrologique :

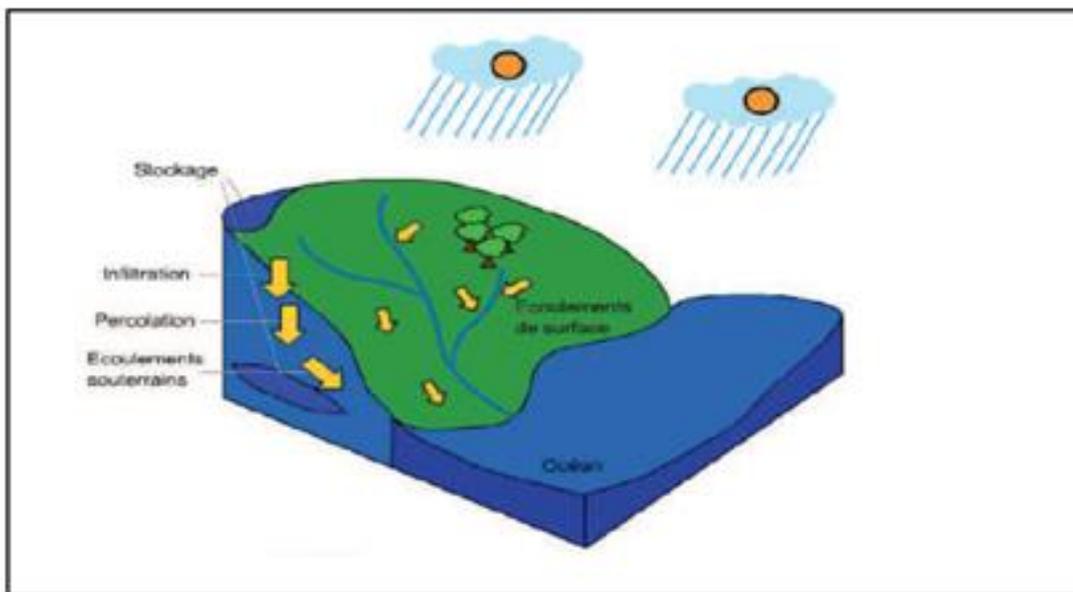


Figure (1.4) : Représent du cycle de l'eau [14]

Le cycle hydrologique est un concept qui englobe les phénomènes du mouvement et du renouvellement des eaux sur la terre (Figure (I.5)). Cette définition implique que les mécanismes régissant le cycle hydrologique ne surviennent pas seulement les uns à la suite des autres, mais sont aussi concomitants. Le cycle hydrologique n'a donc ni commencement, ni fin. Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau évaporée à partir du sol, des océans et des autres surfaces d'eau, entre dans l'atmosphère. L'élévation d'une masse d'air humide permet le refroidissement général nécessaire pour l'amener à saturation et provoquer la condensation de la vapeur d'eau sous forme de gouttelettes constituant les nuages, en présence de noyaux de condensation. Puis la vapeur d'eau, transportée et temporairement emmagasinée dans les nuages, est restituée par le biais des précipitations aux océans et aux continents. Une partie de la pluie qui tombe peut être interceptée par

les végétaux puis être partiellement restituée sous forme de vapeur à l'atmosphère. La pluie non interceptée atteint le sol. Suivant les conditions données, elle peut alors s'évaporer directement du sol, s'écouler en surface jusqu'aux cours d'eau (ruissellement de surface) ou encore s'infiltrer dans le sol. Il peut aussi y avoir emmagasinement temporaire de l'eau infiltrée sous forme d'humidité dans le sol, que peuvent utiliser les plantes. Il peut y avoir percolation vers les zones plus profondes pour contribuer au renouvellement des réserves de la nappe souterraine.

Un écoulement à partir de cette dernière peut rejoindre la surface au niveau des sources ou des cours d'eau. L'évaporation à partir du sol, des cours d'eau, et la transpiration des plantes complètent ainsi le cycle.

Le cycle de l'eau est donc sujet à des processus complexes et variés parmi lesquels nous citerons les précipitations, l'évaporation, la transpiration (des végétaux), l'interception, le ruissellement, l'infiltration, la percolation, l'emmagasinement et les écoulements souterrains qui constituent les principaux chapitres de l'hydrologie. Ces divers mécanismes sont rendus possibles par un élément moteur, le soleil, organe vital du cycle hydrologique. [14]

### I.1.5. Données climatiques de la zone d'étude

#### I.1.5.1. Hydro-Climatologie

**I.1.5.1.1 Température :-** C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région. L'analyse des températures sera faite à partir des données recueillies de l'ONM. Ouargla période (1990-2011) et l'annuaire.

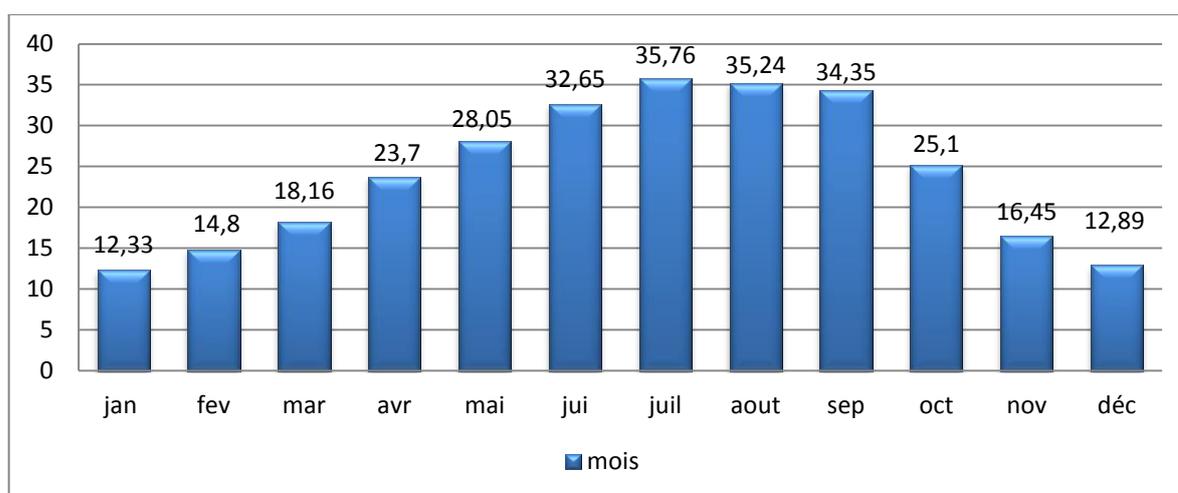
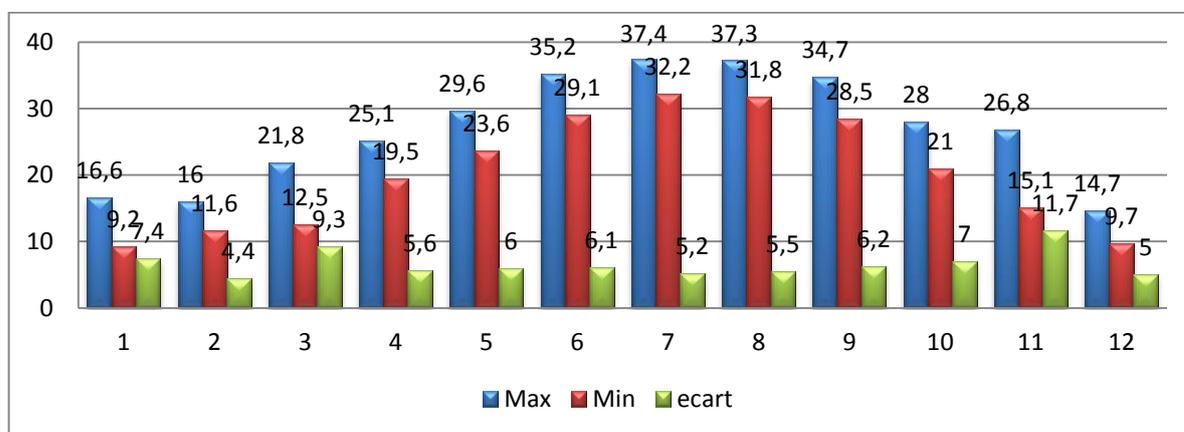


Figure (I-5):Températures moyennes mensuelles en (C°) entre 1990-2011.[15]

La figure (I-6) montre que la température est très élevée en été, Le mois de Juillet représente la période la plus chaude avec une moyenne mensuelle qui atteint 35.76 C°; Et Janvier est le moi le plus froid, Sa moyenne atteint 12.33C. Ce qui nous mène a dire que Ouargla est caractérisée par un climat hivernal doux et estival chaud.



**Figure (I-6):** Températures Extrêmes Et Ecart (1988-2008) en (C°).

Nous remarquons dans la figure (I- 6) que les températures moyennes extrêmes minimales sont enregistrées en mois de Janvier (9.4C°) et Décembre (9.7C°), Et des températures moyennes extrêmes maximales sont descendues en mois de Juillet et Août, (37.40C° et 37.30C° respectivement).

- Les écarts de température varient généralement entre 5.5C° et 7C° à l'exception du mois de Novembre ou on enregistre un écart de 11.70C°, Et le mois de Février ou l'écart de température atteint la valeur de 4.40C°. Ces données ont étaient observées durant vingt ans de recensement.

### I.1.5.1.2 précipitations :-

Sont dénommées précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. La vapeur d'eau de l'atmosphère se transforme en liquide lorsqu'elle atteint le point de rosée par refroidissement ou augmentation de pression. Pour produire la condensation, Pour la région de Ouargla d'après la figure (I-7), on remarque que le mois le plus pluvieux est novembre, juillet étant le mois le plus sec.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 18 mm, novembre est le mois le plus pluvieux (4,34 mm) et juillet le plus sec (0.09 mm en moyenne – cf. figure (I-7)).

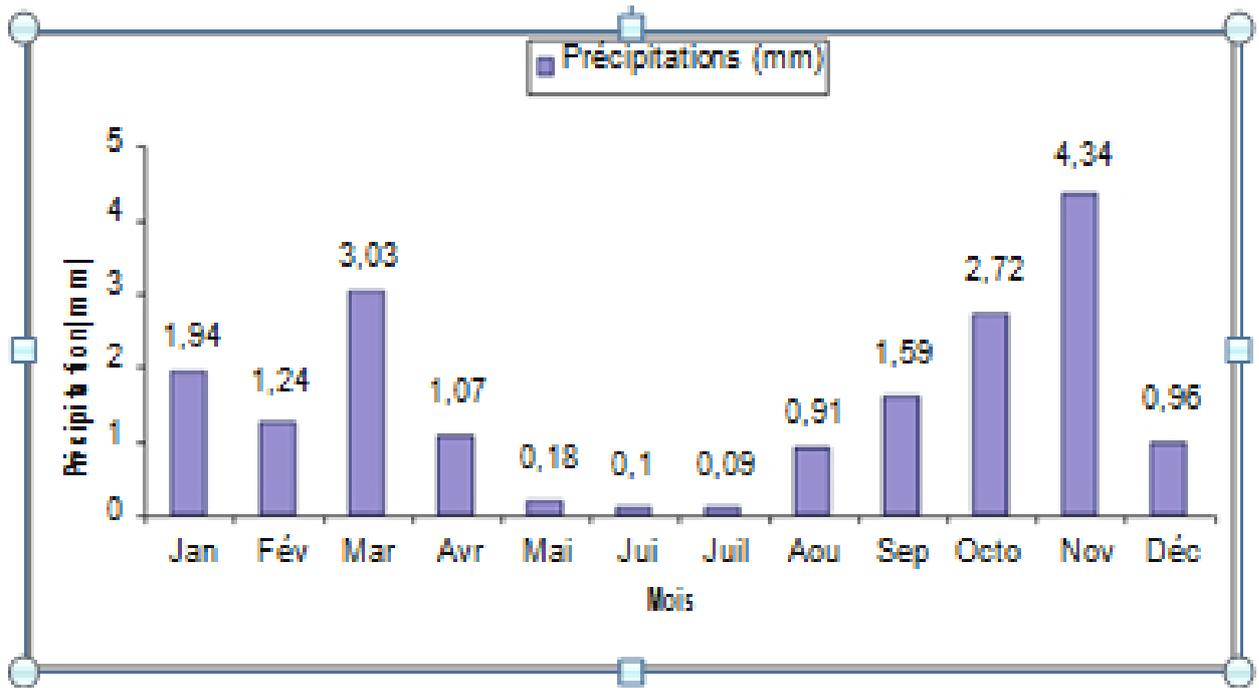


Figure (I-7) : Répartition mensuelle des pluies à Ouargla sur la période (1991-2006) [12]

### I.1.5.1.3 Vent

Le vent est un phénomène continu au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce aux particules sableuses qu'il transporte, et participe à la formation de dunes. Des vitesses de vent atteignent parfois 100 km/h, l'air reste obscurci des journées par le vent de sable et les particules minérales peuvent être soulevées jusqu'à 1500 mètres de haut.

Indépendamment de l'action mécanique que le vent exerce sur les végétaux dont il déchire les parties aériennes, il agit surtout en accentuant l'évaporation.

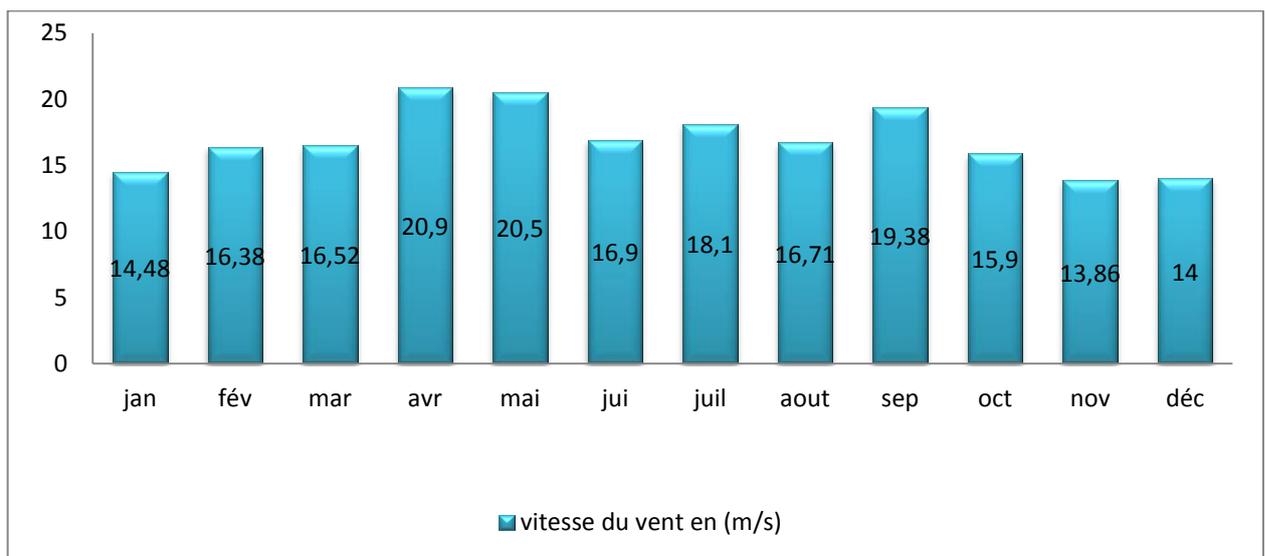


Figure (I-8): la vitesse du vent en (m/s) à Ouargla (1990-2011)

#### I.1.5.1.4 Pluviométrie :-

La rareté des précipitations est un caractère fondamental du climat saharien. Dans la figure (I-9) On remarque une grande irrégularité de la pluie, faible pendant l'Hiver et presque nulle en Eté. Leur provenance en Hiver est due aux dépressions accompagnants la migration vers le Sud des fronts polaires, en Eté elles sont dues aux dépressions de mousson, alors qu'à la cour de la période intermédiaire, Ces précipitations sont dues aux dépressions soudano-Sahariennes du Sud vers le Nord. En règle générale les pluies sont d'intensité plutôt faible dans la région.

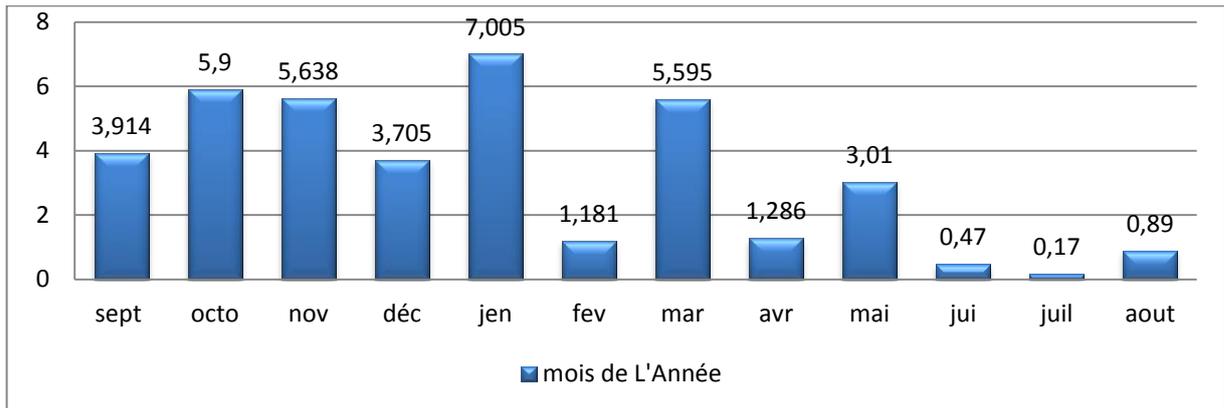


Figure (I-9): Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation (Station météorologique de Ouargla, (1990- 2011) [15]

La figure (I-10) montre que la précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 37 mm, janvier est le mois le plus pluvieux (7.01 mm) et Juillet le plus sec (<1 mm); L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 114 mm au mois de Décembre et de 403 mm au mois de Juillet, soit de 2884 mm/an. La région d'Ouargla est caractérisée par un climat de type saharien, à températures élevées, faible pluviométrie et une forte évaporation.

#### I.1.5.1.5 Evapotranspiration

La transpiration est commandée par les conditions climatiques, liées au rayonnement et à la turbulence de l'air, qui concourent à la définition de ce que les bioclimatologistes appellent l'évapotranspiration potentielle (notée Etp).

Par définition l'Etp : c'est la quantité d'eau, généralement exprimée en (mm), qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant si l'eau disponible pour l'évapotranspiration n'était pas un facteur limitant

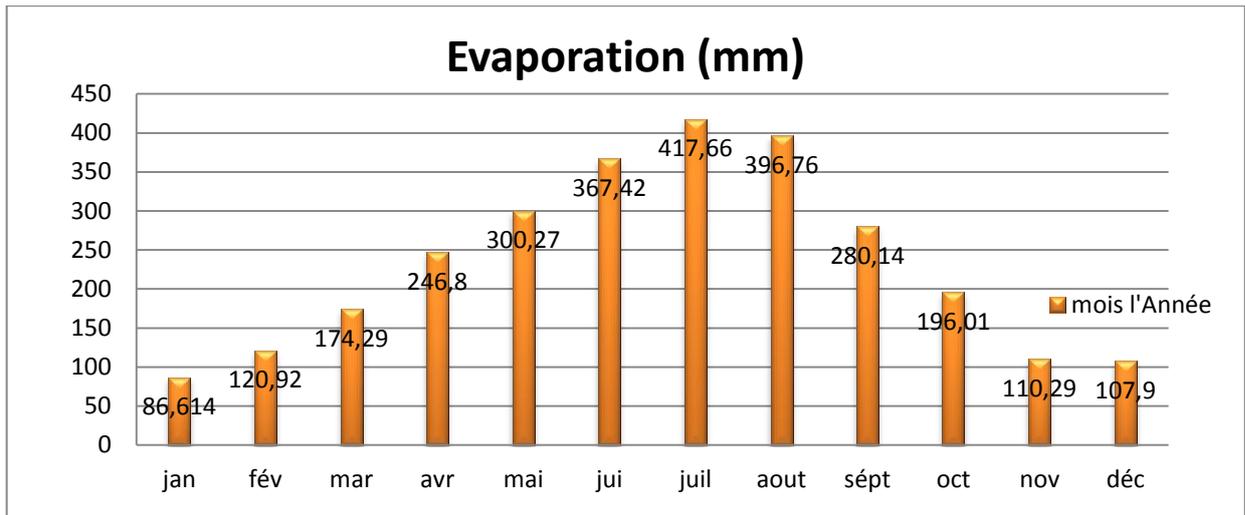


Figure (I-10): Evaporation Mensuelle Moyenne (1990-2011). [8]

La ville d’Ouargla reçoit les radiations solaires d’une durée d’ensoleillement moyenne de l’ordre de 338,86 heures en Juillet et une moyenne minimale de 217,11 heures en Février. Ce qui conduit à une évaporation de l’eau de l’ordre de 2010 mm/an.

### I.1.6. Calcul du bilan hydrique

Ce bilan se traduit par le fait que l'eau qui entre dans la zone d'étude (cuvette de Ouargla) par la pluviométrie ou débit des forages profonds est évacuée vers OUM Raneb à travers la station de pompes de chott, évaporée par la végétation, l'activité humaine ou dans la sebkha et le chott ou encore s'écoule vers le nord et le sud, le solde positif s'accumule dans la nappe ou est prélevé sur ses réserves.

La formule du bilan hydrique de la cuvette d’Ouargla est donnée comme suite:

$$R = V_E - V_S \quad \dots\dots\dots (I-1)$$

$V_E$ : volume entrant dans la cuvette.  $V_S$ : volume sortant.

$$V_E = V_{\text{Forage}} + V_{\text{Pluie}} \quad \dots\dots\dots (I-2)$$

$V_{\text{Forage}}$ : volume de débit exploité de forage dans la cuvette d’Ouargla.

$V_{\text{Pluie}}$  : volume de pluie

$$V_S = V_{ETP} + V_{PSC}$$

$V_{ETP}$ : volume d'eau évaporé par la l'évaporation de plan d'eau libre et évapotranspiration de plan cultivé.  $V_{PSC}$ : volume pompé par la station de chott vers sebkha d'Oum Raneb.

### I.1.6.1. Calcul du débit des forages de la cuvette d'Ouargla $V_F$ :-

Selon l'inventaire établie par la direction de l'hydraulique en année 2005 on estime que le nombre de forages exploités par l'ensemble des secteurs (agricole, eau potable et industriels) et de 485 forages pour un volume total de 6335 l/s.

Tableau (I-2): répartition de débit des forages par commune:[18]

Commune	Nombre deforag total	Nombre deforageexploit	Débit desforages exploités (l/s)	Débit des forages exploités(m <sup>3</sup> /année)
<b>Ouargla</b>	117	97	1912	30148416
<b>Rouissat</b>	54	33	810	12772080
<b>Ain Beida</b>	92	54	1062	16745616
<b>N'goussa</b>	71	41	788	12425184
<b>Hassi Ben Abdela</b>	121	67	1488	23462784
<b>Sidi Khouiled</b>	30	25	275	4336200
<b>Total</b>	485	317	6335	<b>99890280</b>

Le volume de l'eau pompée de la nappe profonde et alimentant la nappe libre est égal à 99890280 m<sup>3</sup>.

### I.1.6.2. Calcul du volume de précipitation :

Le volume des précipitations est donné par la formule suivante:

$$V_P = S \times P$$

$V_P$ : le volume de précipitation en litre (L)

$S$  : la surface en km<sup>2</sup>

$P$  : les précipitations en (mm)

Tableau (I-3): volume de précipitation l'année 2006

Commune	P <sub>moy</sub> (mm)	S (km <sup>2</sup> )	S (m <sup>2</sup> )	V <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> )
Ouargla	117	97	1912	30148416
Rouissat	54	33	810	12772080
AinBeida	92	54	1062	16745616
N'goussa	71	41	788	12425184
Hassi Ben Abdelah	121	67	1488	23462784
SidiKhouiled	30	25	275	4336200
Total			191851610	

Le volume total précipité au cours de l'année 2006 dans la cuvette d'Ouargla est évalué à 191851610 m<sup>3</sup>.

D'après le tableau (I-2) et (I-2) , le volume entrant dans la cuvette de Ouargla est égal :

$$V_E = V_{\text{Forage}} + V_{\text{Pluie}} = 99890280 + 191851610 = 291741890 \text{ m}^3$$

### I.1.6.3. Détermination du volume d'évapotranspiration de la surface cultivée:-

Le calcul de l'évapotranspiration au niveau des palmeraies de Ouargla a été effectué en utilisant la Formule de BLANNEY - CRIDDLE corrigée par FAO. Celle-ci a été largement utilisée au niveau des palmeraies dans des zones similaires à Ouargla. L'évapotranspiration de surface cultivée sur la Cuvette est donnée comme suite:

$$ETP_C = K * ETP \dots\dots\dots (I-3)$$

ETP<sub>C</sub>: évapotranspiration de surface cultivée (mm)

ETP : évapotranspiration potentiel (mm)

K : coefficient culturel, qui varie entre 0.5 a 1.2 suivant les cultures et les zones climatiques Pour la région de Ouargla et la surface cultive par le palmier le coefficient k=1,4

Donc:

$$ETP_C = 1344.58 \times 1.4 = 1882 \text{ mm} \quad \text{La surface irriguée est égale à 2500 ha.}$$

Le volume évaporé pour la surface cultivée est donné comme suite:

$$V_{ETPC} = 1882 \times 0.001 \times 25 \times 106 = 47050000 \text{ m}^3$$

#### **I.1.6.4. Détermination du volume d'évaporation de plan d'eau libre**

La cuvette de Ouargla caractérisée par l'existence de deux canaux de drainage ce lui du chott et Bamindile, les deux canaux sont à ciel ouvert.

- La longueur du canal de chott est de : 5500 m.
- La largeur moyenne du canal de chott est de : 07 m.
- La longueur du canal de Bamindile est de : 11500m.
- La largeur moyenne du canal de Bamindil est de : 07 m.

Donc la surface du canal de chott est égale à 38500 m<sup>2</sup> et la surface du canal de Bamindile est égale à 80500 m<sup>2</sup>.

Donc la surface totale de plan d'eau libre est égale à 119000 m<sup>2</sup>.

L'évaporation du plan d'eau libre dans la cuvette de Ouargla d'après la formule de Boutaoutaou est égale à 37257,96 mm/an.

L'évaporation du plan d'eau de la cuvette d'Ouargla est donnée comme suit:

$$E_{pd} = 37257,96 \times 119000 \times 0,001 = 4433697,24 \text{ m}^3.$$

Le volume d'eau évaporé du plan d'eau libre est égal à 4433697,24 m<sup>3</sup>

#### **I.1.6.5. Calcul du volume d'eau refoulé vers sebkha d'Oum Raneb**

Dans la station de refoulement d'eau de station de chott vers sebkha de Oum Raneb il existe 02 pompe émarginé refoulé 300 l/s par pompe, donc le débit refoulé vers le chott Oum Raneb est 600 l/s en duré de 15 heures par jour

$$V_{psc} = 600 \times 3600 \times 15 \times 365 / 1000 = 11826000 \text{ m}^3$$

Donc le volume sortant vers la sebkha de Oum Raneb est égal à 11826000 m<sup>3</sup>. Après calculer tout le volume entrant et le volume sortant dans le cuvette de Ouargla, le volume restant dans la cuvette comme réserve alimentant ainsi la nappe phréatique est présenté sur le tableau suivant :

Tableau (I-4) : résultat de calcul de bilan hydrique de la cuvette d'Ouargla l'année 2006

	Paramètre	Quantité m <sup>3</sup>
Volume entrant VE	Vf	99890280
	Vp	191851610
S/Total	Ve= vf+vp	291741890
Volume sortant VS	Vetpc	47050000
	Epd	4433697
	Vpsc	11826000
S/Total	Vs=Vetpc + Epd + Vpsc	63309697
Total	R = VE - Vs	228432193

### Conclusion:

De ce qui précède nous remarquons que la zone étudiée, soit la ville de Ouargla, est caractérisée par un climat aride de température maximale  $T_{max} = 43.14 \text{ °C}$  et température minimale  $T_{min}=4.73 \text{ °C}$  et d'une humidité relative maximale  $Hr_{max} = 64,56\%$  et humidité relative minimale  $Hr_{min} = 25,94\%$  et humidité relative moyenne  $Hr_{moy} = 44,10\%$  et un taux de précipitation d'ordre 18 mm.

Le bilan hydrique que nous avons établi, montre un surplus aux entrées, se traduit par une augmentation de la quantité d'eau stockée, d'où un risque de surélévation du niveau de la nappe phréatique.

Le bilan hydrique montre un surplus aux entrées se qui explique, en conséquence, la remontée de la nappe phréatique rencontrée dans cette zone, d'où s'impose l'utilité de l'étude de l'effet d'un tel phénomène notamment sur les constructions en place ou ceux qui peuvent être implantées dans le future.

### I.1.7.Remontée et fluctuation du niveau de la nappe phréatique

#### I.1.7.1. Introduction

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique, son origine, ses causes et son évolution ont été analysés au cours de l'histoire récente ainsi que les remèdes appliqués pour tenter de le maîtriser.

Les données collectées ont été comparées entre elles et avec des données plus anciennes, qui ont été validées avant d'être utilisées pour suivre l'évolution de la nappe phréatique.

### I.1.7.2 La piézométrie avant 1956 :

Les fluctuations du niveau de la nappe phréatique sont étroitement liées à l'histoire des palmeraies. En 1949, le réseau de drainage est rénové, 20 km de drains nouveaux sont réalisés ainsi que 5 grands collecteurs. Ces travaux se poursuivent en 1950 et fin 1951, grâce à 30 km de drainages nouveaux, le niveau de la nappe phréatique a baissé de plus de 1 m.

### I.1.7.3 La piézométrie après 1956 :

En 1956, l'augmentation du niveau de la nappe phréatique a commencé par l'installation, d'une éolienne d'exhaure qui permettait d'évacuer l'eau vers Sebket Oum Raneb. Le débit de 120m<sup>3</sup>/h s'est révélé insuffisant et deux groupes motopompes ont été adjoints à l'éolienne portant le débit total à 255 m<sup>3</sup>/h (DHW-Ouargla,2006). Ce débit étant toujours insuffisant, d'autres solutions sont envisagées :

- Bassin évaporatoire dans les chotts et sebkhas.
- Pompage et évacuation vers Sebket Oum Raneb.

### I.1.7.4 La piézométrie en 1968 :

La nappe phréatique dessine nettement un dôme sous la ville de Ouargla, sa cote est plus élevée que celle de la nappe du "CT"(Figure (1.11)).

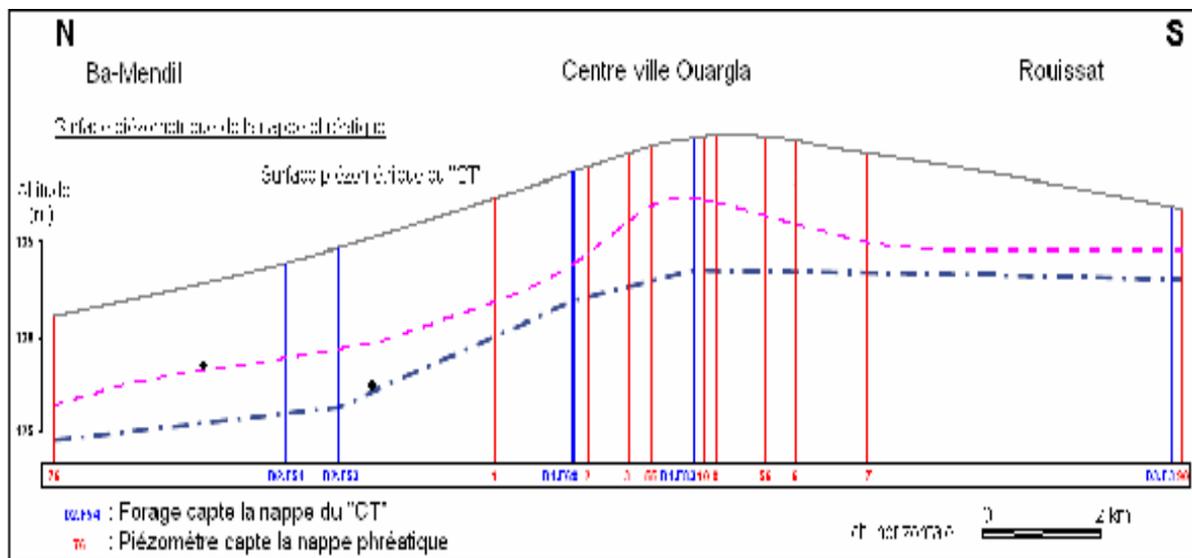


Figure (I-11): Coupe hydrogéologique de la nappe phréatique en 1968.[19]

Le Bureau d'Hydraulique-Ouargla, dessine une carte piézométrique en Avril-Mai 1968. La surface de la nappe forme un dôme culminant à la cote de 134,5 m sous le quartier Duprez avec une pente régulière en direction des chotts où elle n'atteint plus que la cote 128 m et même 127m tout au Nord (Figure (I-12)).

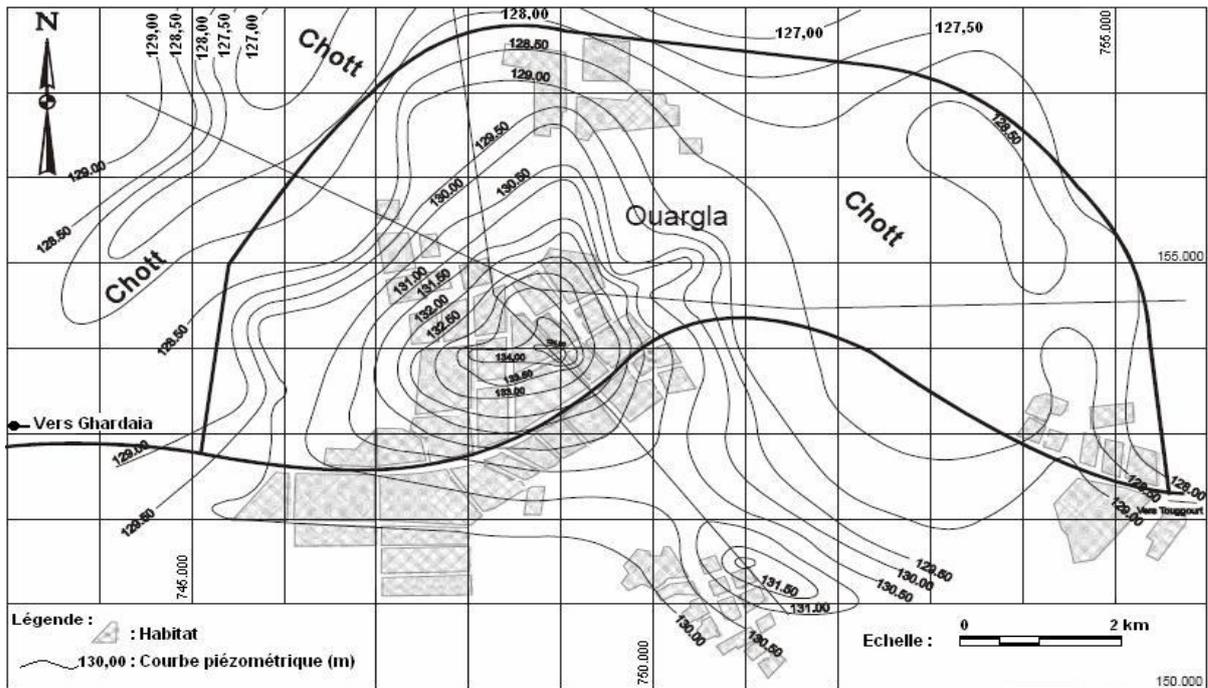


Figure (I-12) : Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968.[19]

Les isopièzes dessinent un dôme centré sous les immeubles récents. Les lignes de courant, perpendiculaires aux isopièzes, indiquent nettement un écoulement radial depuis ce point haut en direction des canaux de drainage ceinturant la ville au Nord et aussi de zones sableuses situées au Sud. On ne peut expliquer cette situation singulière que par une alimentation de la nappe phréatique à partir de son point haut sous les immeubles du quartier Duprez et un drainage par le chott.

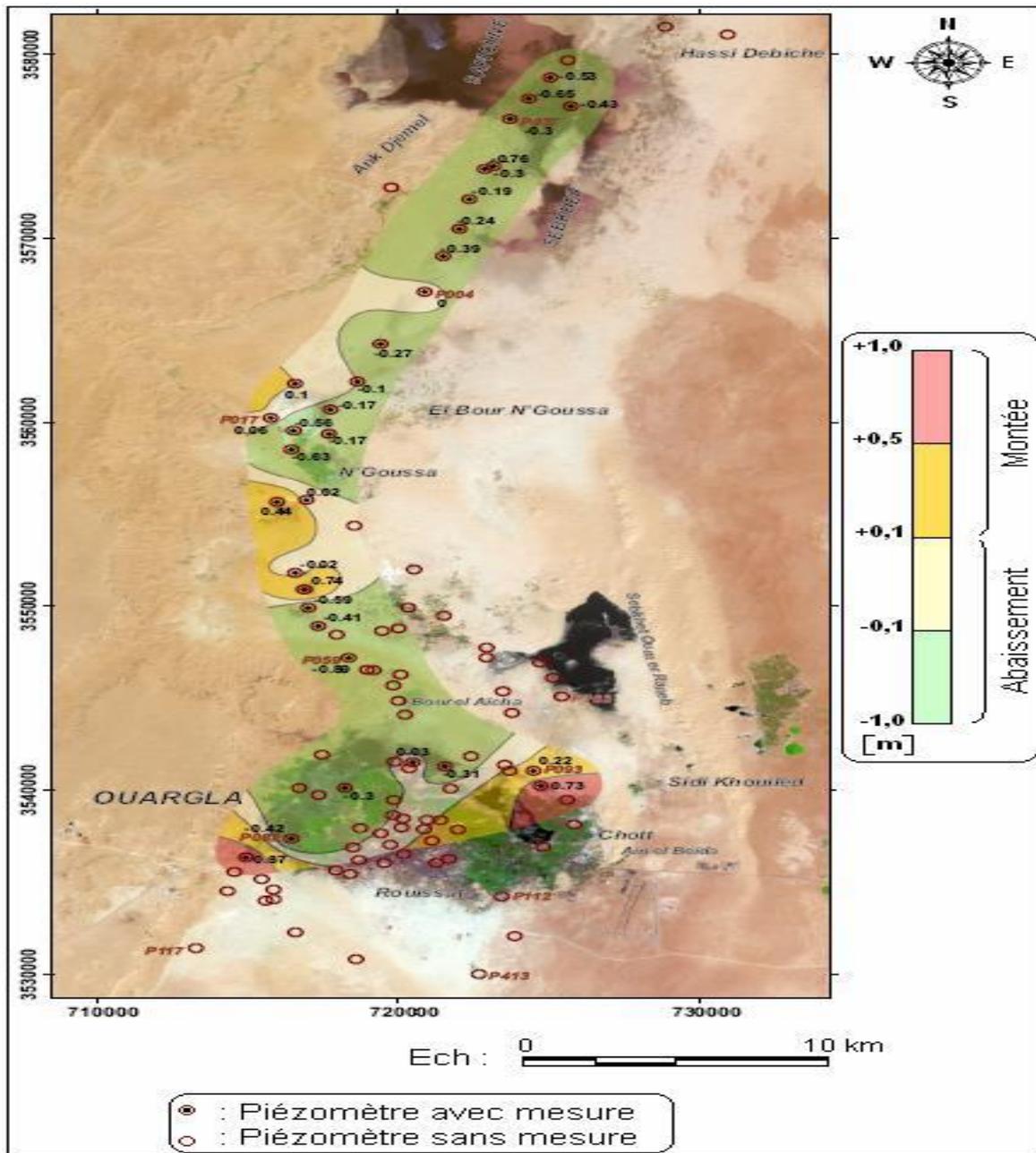
Cette alimentation ne peut pas se faire naturellement à partir des nappes plus profondes. La nappe du Complexe Terminal "CT" présente un niveau piézométrique inférieur à celui de la nappe phréatique dans toute cette zone haute.

On pourrait envisager la nappe du Continental Intercalaire "CI" qui présente un niveau piézométrique nettement plus élevé d'environ 200 m, mais pour alimenter la nappe phréatique, les eaux devraient traverser la nappe du "CT" et donc se mélanger, ce qui n'est pas le cas.

L'alimentation de la nappe phréatique ne peut provenir que d'une cause anthropique : irrigation des palmeraies et eaux urbaines.

### I.1.7.5 La piézométrie entre 1992 et 2002 :

Entre Février 1992 et Avril 2002, sur une période de 10 ans, une baisse générale de niveau est constatée. Seuls 6 piézomètres présentent une montée du niveau égale ou supérieure à 10 cm. Ils sont situés au Nord et au Sud de N'Goussa ainsi qu'à l'Est et l'Ouest d'Ouargla (Figure (I-13)).



Figure

(I-13) : Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette d’Ouargla, période 1992-2002 (BG, 2004)

**I.1.7.6 La piézométrie entre 2002 et 2003 :**

La carte de la figure (I-15) ci-dessous montre l'évolution de niveau piézométrique d'une année à l'autre.

On voit que dans la région d’Ouargla, les variations de niveau sont plus importantes et contrastées que dans le reste de la vallée.

Au niveau de la palmeraie nord, la montée semble être généralisée, entre 0,10 m et 0,50 m.

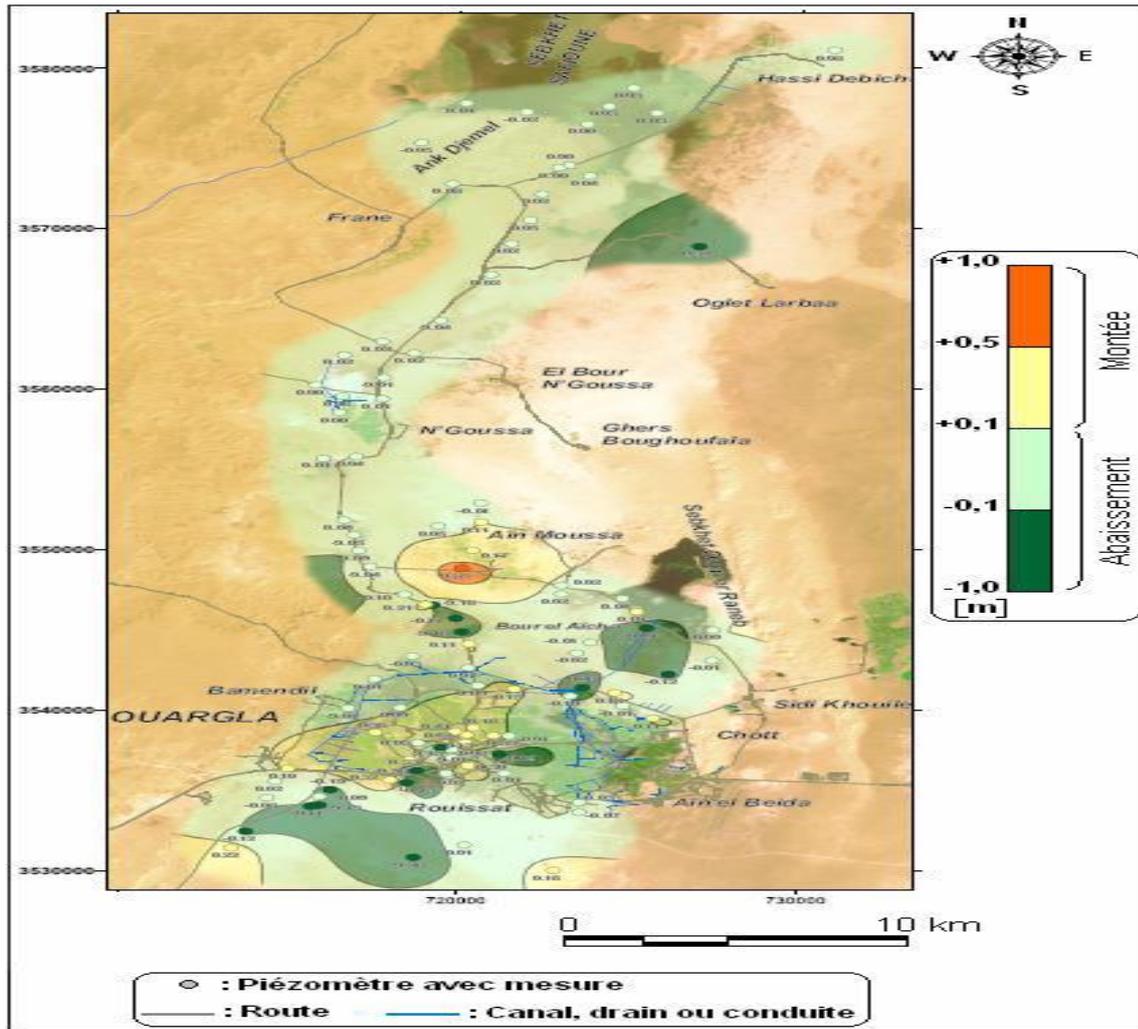


Figure (I-14): Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla, période 2002-2003 (BG, 2004)

### I.1.7.7. La piézométrie en 2003 :

Le point le plus haut de la nappe est situé sous la ville de Ouargla, de là, la nappe présente des pentes de :

- 2 ‰ vers Sebket Ba-Mendil au Nord;
- 1,5 ‰ vers le Chott à l'Est et
- 1 ‰ vers le Sud.

Une faible pente (0,4 ‰) existe entre les piézomètres situés au bord de Sebket Ba-Mendil et ceux d'Oum Raneb. Cette pente passe à 1 ‰ d'Oum Raneb en direction de N'Goussa.

De N'Goussa, la nappe présente une pente de 0,6 à 1 ‰ vers Sebket Safioune, point bas de toute la zone.

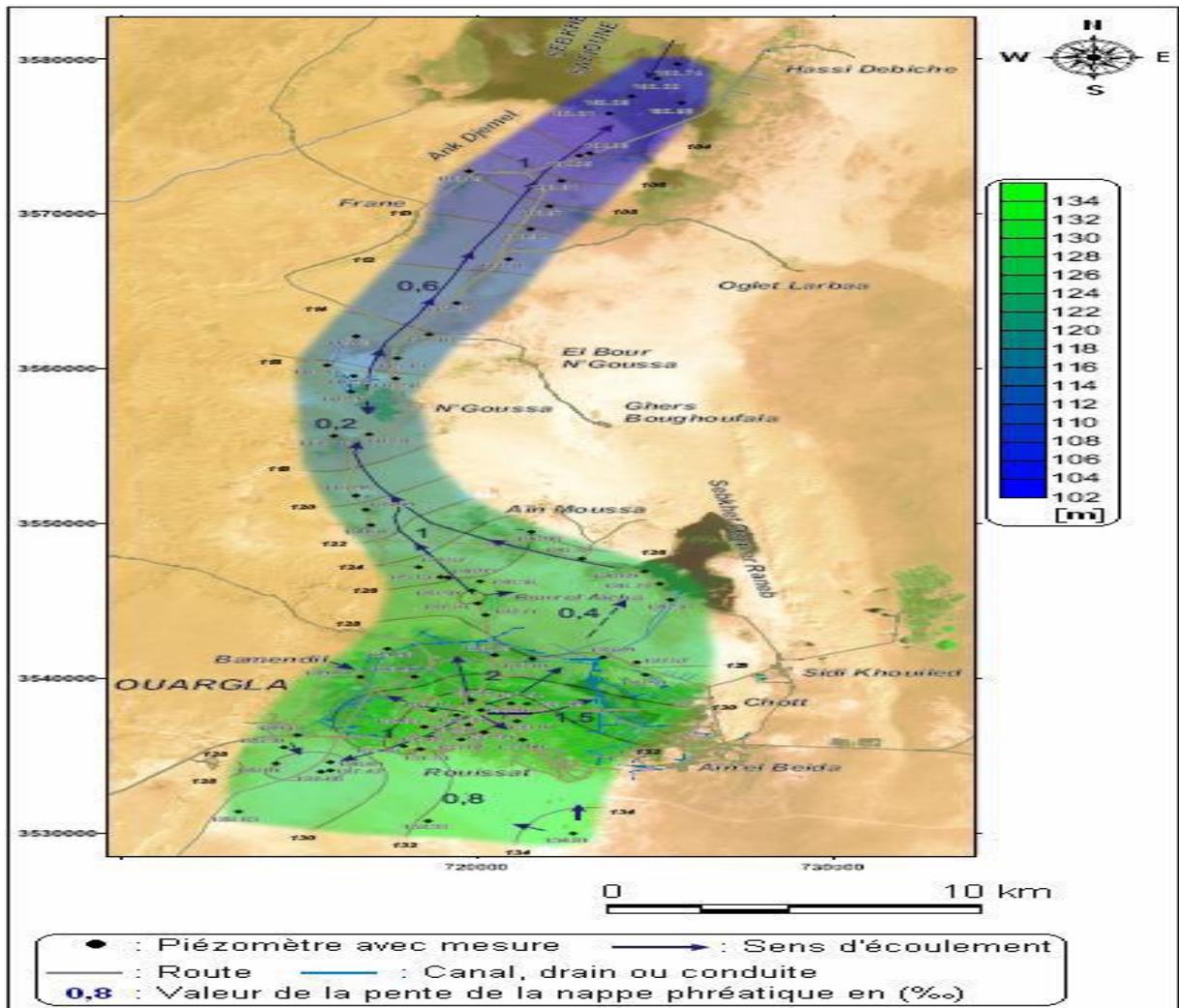


Figure (I-15) : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla en 2003 (BG, 2004)

#### I.1.7.8. La piézométrie en 2007 :

Dans la partie sud de la cuvette, la nappe s'écoule du point le plus haut (130 m d'altitude) situé sous la ville d'Ouargla vers les différents Chotts environnants :

- Ba-Mendil au Nord-Ouest.
- Oum Raneb au Nord-Est.

Entre la zone des Chotts et N'Goussa, la nappe présente une faible pente (<1 ‰) en direction de N'Goussa.

- 100 à 105 m d'altitude à Sebkhett Safioune toute au Nord;
- 108 m d'altitude aux environs sud de N'Goussa (Garet Mellala).

La nappe présente une direction d'écoulement générale du Sud vers le Nord Nord-est avec une pente faible ne dépassant pas 2 ‰.

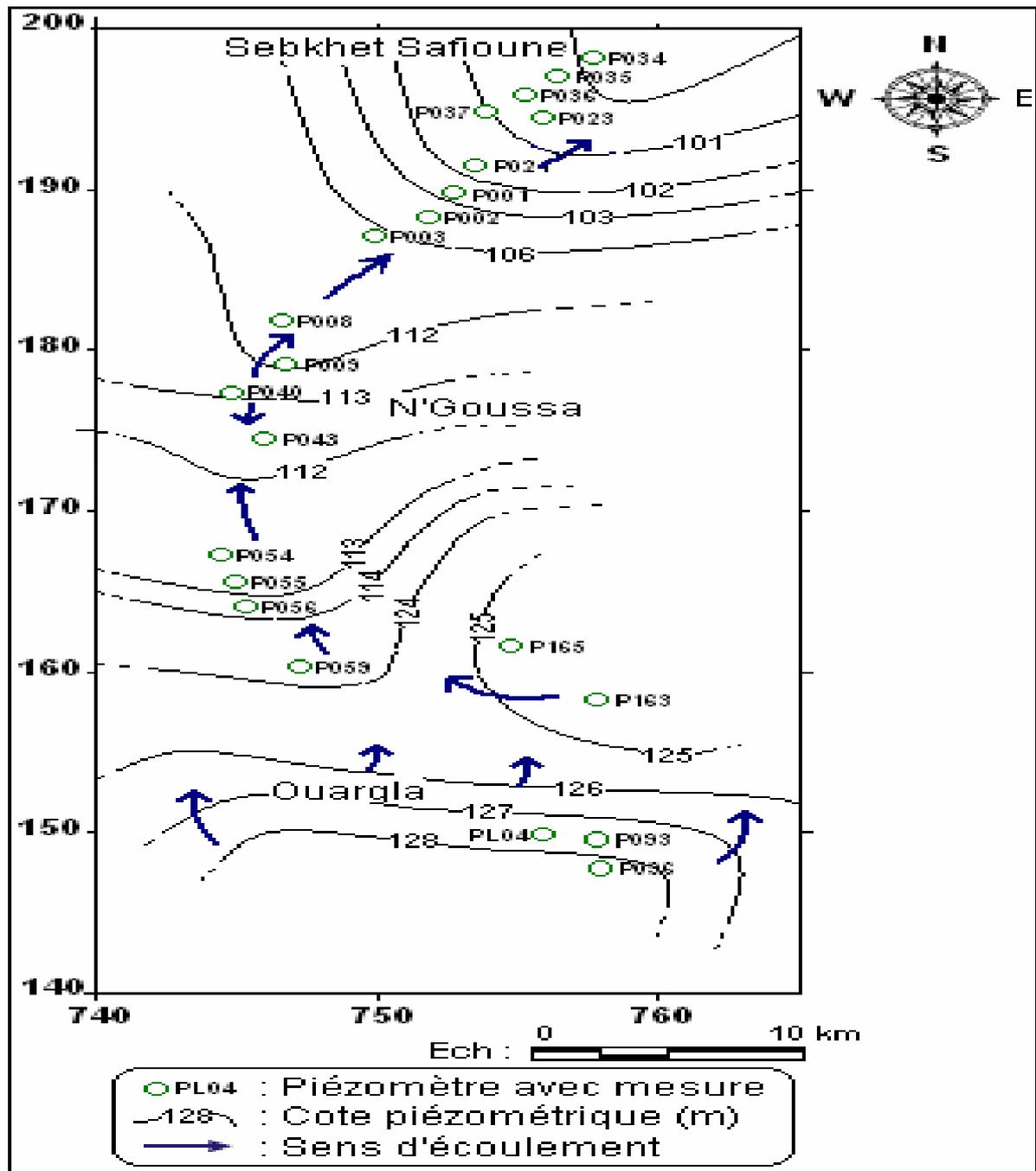


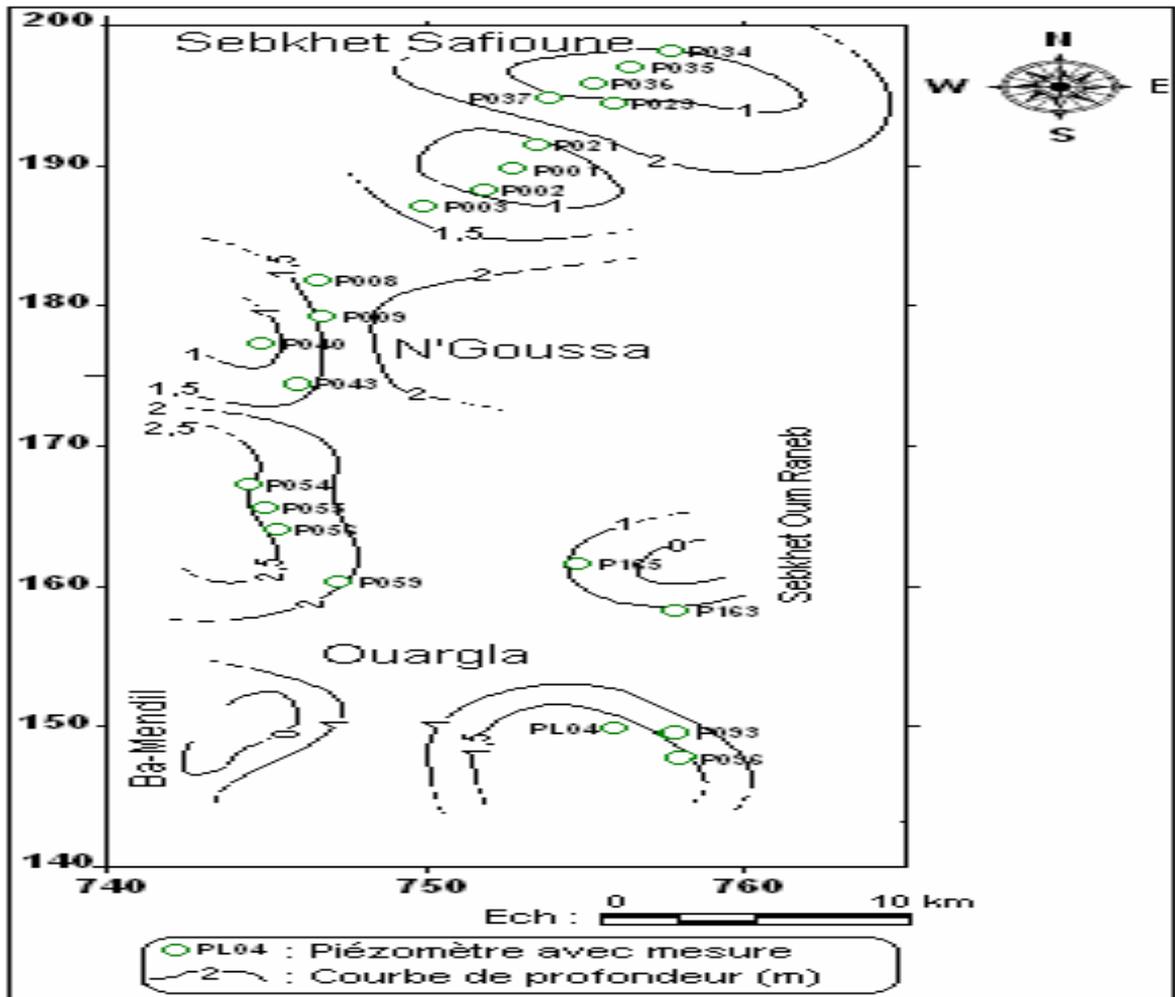
Figure (1-16) : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla en 2007.

### I.1.7.9 Profondeur de la nappe en 2007

D'après la figure (1-17) qui présente la carte de profondeur de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla en 2007, où les régions dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde sont situées au Sud de Ouargla, au Sud-Ouest d'Oum Raneb, dans la région de Bour El Haïcha, dans les collines de AnkDjemel et dans les versants au Nord-Ouest de N'Goussa. Les zones dans lesquelles la

nappe phréatique est moins profonde sont situées à proximité de palmeraies irriguées (Ouargla et N'Goussa) ou de zone de rejet des eaux (à proximité de Sebkhet Oum Raneb).

Au niveau du Chott et de Sebkhet Ba-Mendil, l'eau est entre 0,5 et 1 m excepté près de la cité universitaire où l'on trouve de l'eau stagnante.



Figure(1-17): Carte de profondeur de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla en 2007.

**Conclusion :** La nappe phréatique circule dans les sables dunaires et les alluvions d'O. Mya. Elle est en moyenne à 2 m de profondeur par rapport au sol, elle forme un dôme sous la ville de Ouargla. Les profondeurs les plus faibles (0,5 m) ont été mesurées à proximité de Sebkhet Oum Raneb et en bordure des palmeraies.

En fin de saison hivernale, la nappe au niveau de Sebkhet Safioune est à 1 m de profondeur. En Été le niveau baisse de 10 à 20 cm par ascension capillaire et évaporation.

La nappe s'écoule généralement du point le plus haut situé sous la ville d'Ouargla vers le point le plus bas situé à Safioune.

## **I.2 Durabilité**

### **I.2.1 Définition de la durabilité**

La durabilité d'un béton est de pouvoir conserver sa résistance et de continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile pas à une durée indéfinie, il en résulte que le béton doit résister aux mécanismes de dégradation aux quels il peut être exposé, tels que les cycles de gel-dégel, mouillage-séchage et certaines formes d'attaques chimiques.

La mauvaise durabilité se manifeste par une détérioration qui peut résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes du béton, les actions peuvent être mécaniques, physiques ou chimiques, Ces dernières sont causées par les réactions alcali-silice et alcali-carbonate, les attaques chimiques externes sont causées par la présence d'ions agressifs tels que les chlorures, les sulfates et les gaz carboniques ainsi que de nombreux gaz et liquides d'origines naturelles ou industrielles. Il convient de noter avant toutes choses que la détérioration du béton est rarement attribuable à une seule cause: le béton peut souvent se comporter de façon satisfaisante en dépit de certaines déficiences, mais lorsqu'un facteur défavorable s'ajoute, les désordres apparaîtront. [21]

Dans notre cas d'étude, Le béton est soumis au pire des cas, ou les ouvrages sont exposés a deux milieux très agressifs, d'un coté l'eau de la nappe phréatique de Ouargla qui présente un cas rare d'agressivité , dont les substances chimiques sont ceux qui dégradent le plus les ouvrages en béton.

#### **I.2.1.1 Notion de durabilité**

On dit que le béton est durable s'il conserve aussi longtemps qu'il le faut à la fois son intégrité et les caractéristiques requises. La durabilité du béton armé est directement liée à :

Ses propriétés de transfert, c'est-à-dire à la résistance qu'il oppose à la pénétration et à la diffusion des agents agressifs en son sein (pénétration des chlorures et du dioxyde de carbone par exemple), sa susceptibilité à développer des pathologies internes (alcali-réaction, réaction sulfatique interne par exemple).

La durabilité introduit donc des notions de propagation et de cinétique.

Durabilité du béton vis-à-vis de la corrosion des armatures.

Durabilité vis-à-vis de l'alcali-réaction et de la réaction sulfatique interne.

Pour réaliser un bon béton En première approche, un béton durable est un béton de faible porosité capillaire. La porosité capillaire est le volume total des canaux qui traversent le béton, ce qui correspond au volume entre les grains de ciment non comblé par les hydrates. Pour réduire la porosité capillaire.

### **I.3.Les effets cycliques**

Sur le long de sa vie, le béton est soumis par la nature à plusieurs effets cycliques.

#### **I.3.1. Cycle mouillage séchage**

Comme le béton est généralement un composant extérieur de nos structures, il doit résister aux effets des attaques physiques et chimiques. Le béton devient vulnérable lorsqu'il est fréquemment exposé aux vents, soleil, pluie, neige et haute concentrations des solutions de chlorure. Certaines combinaisons de ces types d'attaques sont cycliques dans nature tels que gel et de dégel, cycles ou de cycles de mouillage et de séchage.

Des recherches approfondies ont été menées sur le béton exposé aux cycles de gel - dégel, et le mécanisme physique qui régit ce type d'attaque sont bien comprises. Il est connu que cyclique mouillage et de séchage permet une pénétration plus profonde des ions agressifs, et peuvent conduire à des taux de corrosion 20 fois plus élevés que l'exposition à un brouillard de manière continue [21].

Toutefois, la cinétique de séchage mouillage cyclique n'est pas complètement comprise, et plus de recherches sont encore nécessaires. [21]

##### **I.3.1.1 Action cyclique mouillage- séchage**

Le phénomène cyclique mouillage séchage provoque un mouvement continu de l'humidité à travers les pores du béton [21]. Cet effet cyclique accélère les problèmes de durabilité car il soumet le béton à l'accumulation des éléments chimiques agressifs tels que les sulfates, les acides, et les chlorures.

Le phénomène cyclique mouillage séchage est un problème qui menace la résistance à la compression des structures en béton armé exposées aux chlorures et leurs effets sont principalement plus graves dans trois sites à savoir:

- 1- Structures implantées dans les zones marines, en particulier dans les zones de brouillard.
- 2- Dans les aires de stationnements exposés à des sels agressifs.
- 3- Structures routières, comme les ponts et autres routes surélevées, par exemple le Autoroute de Gardner.

Lorsque le béton est sec ou partiellement sec, puis exposé à l'eau salée, il imbibé l'eau salée par aspiration capillaire. Le béton va continuer à l'aspirer jusqu'à saturation en eau salée, ou jusqu'à ce

que il n'y a pas plus de vides pour recevoir d'eau salée. Un gradient de concentration de chlorures se développe dans béton, qui s'arrête à un certain point à l'intérieur du béton. Si l'environnement extérieur devient sec, puis l'eau pure s'évapore depuis les pores, et les sels qui étaient à l'origine de solution peuvent précipiter dans les pores proches de la surface. Le point ayant la concentration la plus élevée de chlorure existe maintenant dans le béton. Le mouillage ultérieur, contribue à la dissolution des chlorures qui peuvent pénétrés plus profondément dans le béton.

La vitesse à laquelle les chlorures pénètrent dans le béton dépend de la durée du mouillage et les périodes de séchage. Si le béton reste humide, certains sels peuvent migrer dans du béton de la surface par diffusion. Cependant, si la période de mouillage est courte, l'entrée de l'eau de mer par absorption permet la pénétration des sels à l'intérieur du béton et deviennent plus concentrés pendant le séchage. Simulation

Le mouillage et le séchage cyclique augmente les concentrations d'ions tels que les chlorures, par évaporation de l'eau. Le séchage du béton permet également d'augmenter la disponibilité de l'oxygène requis pour la corrosion de l'acier, de l'oxygène à un coefficient de diffusion nettement plus faible dans le béton saturé.

En effet, la diffusion de l'oxygène dans l'air est 10 000 fois plus élevée que la diffusion de l'oxygène dans eau [21]. Quand béton se sèche les pores deviennent moins saturée, l'oxygène aura une meilleure chance de se diffuser dans le béton et atteindre le niveau nécessaire pour induire et soutenir la corrosion. Par exemple; les structures en béton soumises à l'eau de mer et sujet au phénomène mouillage et séchage sont les plus exposées à la détérioration, par rapport à des structures en béton immergées d'une façon permanente dans l'eau de mer [21]. dans ce cas il ya une disponibilité accrue des oxygène qui contribue également à la dégradation par rapport à la partie de la structure immergée.

En outre, pour le béton qui est complètement submergé, il ya moins de chlorure qui peuvent pénétrer dans le béton. Et le mécanisme de pénétration le plus dominant est la diffusion à travers la solution interstitielle.

Il ya plusieurs facteurs qui peuvent influencer sur le degré de pénétration des chlorures dans le béton sous l'effet cyclique séchage- mouillage. Et encore de sa durée

### **I.3.1.1 Séchage du béton**

Semblable à d'autres milieux poreux, le béton sèche en deux étapes. L'étape initiale se produit dans les 3 à 7 premiers jours, et dans les étapes initiales le taux de séchage est élevée et constante. Cette vitesse de séchage constante montre qu'il existe une présence d'une eau libre liquide dans le béton. L'écoulement vers l'extérieur de l'eau est entraînée par les forces capillaires au cours de la deuxième période, lorsque les taux de saturation sont beaucoup plus faibles. La vitesse de séchage diminue avec le temps. Le taux de séchage est lié à la racine carrée du temps, étant donné qu'il est également un processus de diffusion. Lorsque le béton est réduit à une teneur en eau de 70 à 80 % de sa saturation initiale, le taux de séchage sera gêné par la diffusion [21].

En général, il ya deux conditions qui peuvent affecter le taux de séchage du béton l'humidité relative (RH), et les caractéristiques du béton lui-même. RH est la quantité d'humidité dans l'air par rapport à la teneur en vapeur d'eau saturée, et varie de 0 à 100% . Le taux de séchage du béton est également affecté par la microstructure du béton et des matériaux avec lesquels il est composé. Il dépend encore de la matière, la taille des pores, leur distribution et leur taille, leur continuité, la tortuosité et micro- fissures de la partie superficielle, aura une incidence sur le taux d'humidité qui sera dégagée de l'échantillon. [21]

### **I.3.1.2.Mouillage du béton**

Le processus de mouillage se produit également en deux étapes distinctes, bien que le mouillage se produit plus rapidement que le séchage. Pour la plupart des bétons, l'étape initiale de mouillage se produit en quelques heures et elle est mieux représentée par l'équation d'absorption. Lorsque le béton atteint un certain degré de saturation, il existe un écart par rapport à l'équation du temps représentée par la racine carrée du temps, où une équation polynomiale convienne le mieux.[21]

### **I.3.2. Effets gel-dégel**

Lorsque la température extérieure descend en dessous de  $-3^{\circ}\text{C}$ , l'eau contenue dans les pores du béton gèle en commençant par les plus gros pores proches du parement. En gelant, l'eau augmente de volume et provoque une pression hydraulique dans le réseau poreux qui, si elle dépasse la résistance à la traction du béton, provoque la fissuration du béton dans la masse.[22]

L'endommagement du béton est progressif : il résulte de la succession de cycles de gel-dégel. Il dépend de la vitesse de refroidissement, du nombre de cycles, de la température minimale atteinte et de la durée du gel.

Le béton durci est conçu pour résister aux effets du gel. Le risque naît lorsque les cycles gel-dégel sont intenses et répétés comme c'est le cas en montagne et dans les zones les plus exposées. L'alternance des phases de gel et dégel peut alors être l'une des causes de dégradation des ouvrages et des revêtements en béton.

#### **I.3.2.1.1. - Les détériorations liées aux cycles gel-dégel**

Il existe deux types principaux de détérioration liée aux cycles gel-dégel : la fissuration interne et l'écaillage des surfaces.

Ces effets n'ont pas les mêmes origines et ne sont pas nécessairement concomitants.

**a) - La fissuration interne :-** se manifeste par l'apparition de microfissures en surface et à l'intérieur de la masse de béton soumise au gel. La fissuration interne du béton diminue la performance du matériau en réduisant ses caractéristiques mécaniques, en particulier ses résistances à la compression et à la traction, ainsi que son imperméabilité. Dans un béton mal protégé contre le gel, l'intensité de la fissuration interne dépend surtout du nombre de cycles de gel dégel et de la sévérité des cycles (écarts entre les températures minimales et maximales, taux de gel, degré de saturation...).

**b) - L'écaillage :-** peut également advenir sur les structures fortement exposées aux cycles de gel-dégel. Il s'agit d'un mode de dégradation qui touche la surface du béton (les premiers millimètres) en contact avec le milieu externe. Cette action se manifeste par le décollement progressif de petites particules de pâte sous la forme de squames. L'écaillage de surface se produit principalement lorsque le béton est en contact avec des sels fondants, ou dits de déverglaçage, couramment utilisés en hiver pour permettre une bonne praticabilité des routes.

### **I .3.3.Influence des effets cycliques :**

#### **I .3.3.1. La fatigue :**

##### **a) – Définition :**

On entend par fatigue ou endommagement par fatigue, la modification des propriétés des matériaux dû à l'application de cycle d'effort dont la répétition peut conduire à la rupture.

L'étude de ce phénomène est d'une grande importance car la contrainte de rupture en fatigue est très inférieure à celle de la rupture en traction pour certains matériaux cette contrainte peut même être inférieure à leur limite élastique. [23]

**b) - Caractéristique de fatigue :**

La durabilité du béton dépend de plusieurs facteurs entre autre la fatigue. La rupture du matériau, peut se réduire si celui-ci bien sure est soumis a des cycles de sollicitations connus, dont la forme est définie par :

- 1-  $\sigma_{max}$  La valeur de contrainte maximale atteinte au cours d'un cycle.
- 2-  $\sigma_{moy} = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2$  la valeur de la contrainte minimale et la contrainte.
- 3-  $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$  Le rapport de la contraint minimale et la contrainte maximale.
- 4- La fréquence de sollicitation.
- 5-  $\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})$  La forme du signal de chargement.

**En conclusion :**

Les effets cycliques dans la nature sont nombreux et se manifestent différemment, l'exemple d'un château d'eau qui se remplit d'eau pendant la nuit et se décharge le jour, exerce des charges cycliques sur le sol d'assise ayant un cycle de 24 heures.

Les effets cycliques dus à la nature sur les structures en béton peuvent être de nature mécanique, physique ou chimique.

Les effets cycliques dépendent de plusieurs facteurs entre autres la fréquence du cycle où la présente étude va éclaircir ce point en faisant varier le cycle en sémillant l'effet de la fluctuation du niveau de la nappe supposée agressive sur le béton.

## **Chapitre II : Essais sur les matériaux utilisés et formulation du béton**

## Chapitre II: Essais sur les matériaux utilisés et formulation du béton

### II.1. Caractérisation et essais sur les matériaux utilisés:

#### II.1.1. Introduction :

Le choix des composants du béton et leur caractérisation est une condition nécessaire pour l'obtention d'un béton ayant des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature. Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser dans la confection du béton à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes, normes françaises et les modes opératoires en vigueur. Ces essais sont effectués en collaboration avec le laboratoire L.T.P .S unité d'Ouargla.

#### II.1.2. Ciment

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

Le ciment utilisé dans cette étude est le CRS, ce ciment a été choisi pour sa capacité de résister aux agressions chimiques et pour le fait que tous les travaux en béton enterrés sont faits avec ce ciment.

##### II.1.2.1 Analyses chimiques du ciment:

Les résultats de l'analyse chimique du ciment utilisé sont représentés dans le tableau (II-1) ci-après:

Tableau (II-1): Résultats des analyses chimiques du ciment crs (fiche technique)

Perte au feu en (%)	<1.5
Résidus insolubles en (%)	<0.7
Teneur en anhydride sulfurique SO <sub>3</sub> en (%)	1.80-2.00
Teneur en magnésie MgO en (%)	1.60-1.80
Teneur en chlorures (%)	0.01-0.03

**II.1.2.2 Propriétés physiques du ciment :**

Les résultats des propriétés physiques sont représentés dans le tableau (II-2):

Tableau (II-2): résultats des analyses physiques du ciment crs, (fiche technique)

Consistance normale de la pate de ciment en (%)	25.50 - 26.50
Finesse suivant la méthode de Blaine	3000 – 3200
Chaleur d'hydratation J/g	<310
Retrait à 28 jours µm/m	<1000
Expansion mm	<5

**II.1.3 Granulats :**

Les granulats naturels sont :• Le sable naturel de Laghouatà la classe granulaire (0/5).• Le gravier naturel de classe granulaire (3/8) et (8/15) provient, de la station de concassage "BEN BRAHIM", Haoud El -Hamra, au PK 669 de la RN3.

Une série d’essais d’identification a été effectuée sur le matériau granulat utilisé, sable et gravillon, afin de les caractériser comme montré sur letableau (II-3) ci-après :

Tableau (II-3): Essais effectués sur le sable et le gravier

Essais ou analyses	Normes	Sable	Gravier
Analyse chimique	Mode opératoire	X	X
Analyse Granulométrique	(NF EN 933-1)		
	(NF EN 933-21)	X	X
Module de finesse	(XP P 18-540)	X	
Masses volumiques	(NF EN 1097-3)		
	(P 18-555)	X	X
	Mode opératoire (P 18-554)	X	X
Absorption d'eau	(P 18-555)	X	
	(P 18-554)		X
Équivalent de sable	[P 18-598]	X	
Essai au bleu de méthylène	(NF EN 933-9)	X	
Propreté superficielle	[P 18-591]		X
Los Angeles	[P 18-573]		X

**Remarque:** Les essais d'identification des constituants de béton, ont été réalisés au laboratoire LTPS (Laboratoire des Travaux Publics du Sud).

### II.1.3.1 Échantillonnage des granulats :

L'échantillonnage est un procédé de prélèvement, ayant pour objectif d'obtenir un échantillon global qui soit représentatif des propriétés moyennes de la quantité de production d'un tel granulat [25]. Il s'effectue soit avec une sonde, manuelle ou mécanique, enfoncée dans le stock, soit à la pelle, manuelle ou mécanique. Pour une prise d'essai donnée, l'échantillon de laboratoire doit être réduit jusqu'à une masse minimale spécifiée par l'essai [26]. La réduction de l'échantillon a été effectuée par deux procédés, utilisés séparément ou conjointement, en fonction de la quantité nécessaire à l'essai et de la dimension maximale des grains :

- Réduction de l'échantillon à l'aide d'un diviseur ou par quartage.

### II.1.3.2 Analyse granulométrique par tamisage :

L'analyse granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées [27] de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. On trace ensuite la Courbe Granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs [28]. L'analyse a été effectuée conformément à la norme européenne NF EN 933 -1 [29], en utilisant les tamis préconisés par la norme européenne NF EN 933 - 2 [27] ainsi que les tamis nécessaires à la couverture des dimensions comprises entre:

- 0,08 mm et 2D Pour les sables, • 0,63d et 2D Pour les gravillons [30].

a)- **Module de finesse** : c'est un module qui nous permet de caractériser la finesse des différents types de sable par la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis de série suivant (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5 mm).

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ refus}}{100} \dots\dots\dots(\text{II-1})$$

**b)- Facteur d'uniformité : Cu**

C'est un coefficient pour la classification des agrégats. On définit l'uniformité d'une granulométrie par le coefficient de HAZEN ou coefficient d'uniformité.

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \dots(\text{II-2})$$

D60:représente l'ouverture du tamis auquel passe 60 % du poids des grains,

De même pour D10.

pour  $(D_{60}/D_{10}) > 2$ , la granulométrie est dite étalée.Et pour  $(D_{60}/D_{10}) < 2$ , la granulométrie est dite serrée [31]

**II.1.3.3 Analyse granulométrique du sable de Laghouat :**

- Les résultats de l'essai granulométrique sont représentés sur le tableau (II, 4) ci -après:

Tableau (II-4) : Analyse Granulométrique du Sable utilisé.

Ouverture des tamis	Refus partiel	Refus cumulés	Refus (%)	Passant (%)
5	55.70	55.70	5.57	94.43
4	14.00	69.70	6.97	93.03
3.15	9.08	78.78	7.88	92.12
2.5	10.92	89.7	8.97	91.03
1.25	26.74	116.44	11.64	88.36
0.63	77.75	194.19	19.42	80.58
0.315	412.13	606.32	60.63	39.31
0.200	222.00	828.32	82.83	17.17
0.160	99.80	928.12	92.81	7.19
0.080	59.69	987.81	98.78	1.22

Selon la formule (II-1) et (II-

2) on trouve :Mf = 1.99, Le module de finesse se trouve dans la fourchette des résultats acceptables

Cu=2,70 L'analyse granulométrie de sable concassée montre que la granulométrie est étalée.

### II.1.3.4 Analyse granulométrique du gravier utilisé

Le gravier utilisé pour la confection du béton est un gravier de la classe 3/8, 8/15 prélevé de la station de concassage situé à Haoud el hamra, Hassi-Méssaoud Ouargla. Le tableau (II, 5) montre l'analyse granulométrique de ce dernier.

Tableau (II-5) : Granulométrie du gravier utilisé

Ouverture des tamis (mm)	% passant	
	3/8	8/15
20	100	100
16	100	93
12,5	100	64
10	100	35
8	97	11
6,3	76	2
5	23	0
2,5	14	0
1,25	6	0
0,63	/	/

Tableau (II-6) : La granulométrie du granulat utilisé

Ouverture des tamis (mm)	% passant				
	gravier		sable	ciment	optimale
	3/8	8/15	0/5	/	/
20	100	100	100	100	100
16	100	93	100	100	97,06
12,5	100	64	100	100	84,88
10	100	35	100	100	72,7
8	97	11	100	100	62,26
6,3	76	2	100	100	55,96
5	23	0	94	100	46,96
2,5	14	0	91	100	44,98
1,25	6	0	88	100	43,12
0,63	1	0	80	100	40,12
0,315	0	0	39	100	27,70
0,160	0	0	4	100	17,20
0,080	0	0	1	100	16,30
0,0065	0	0	0	100	16

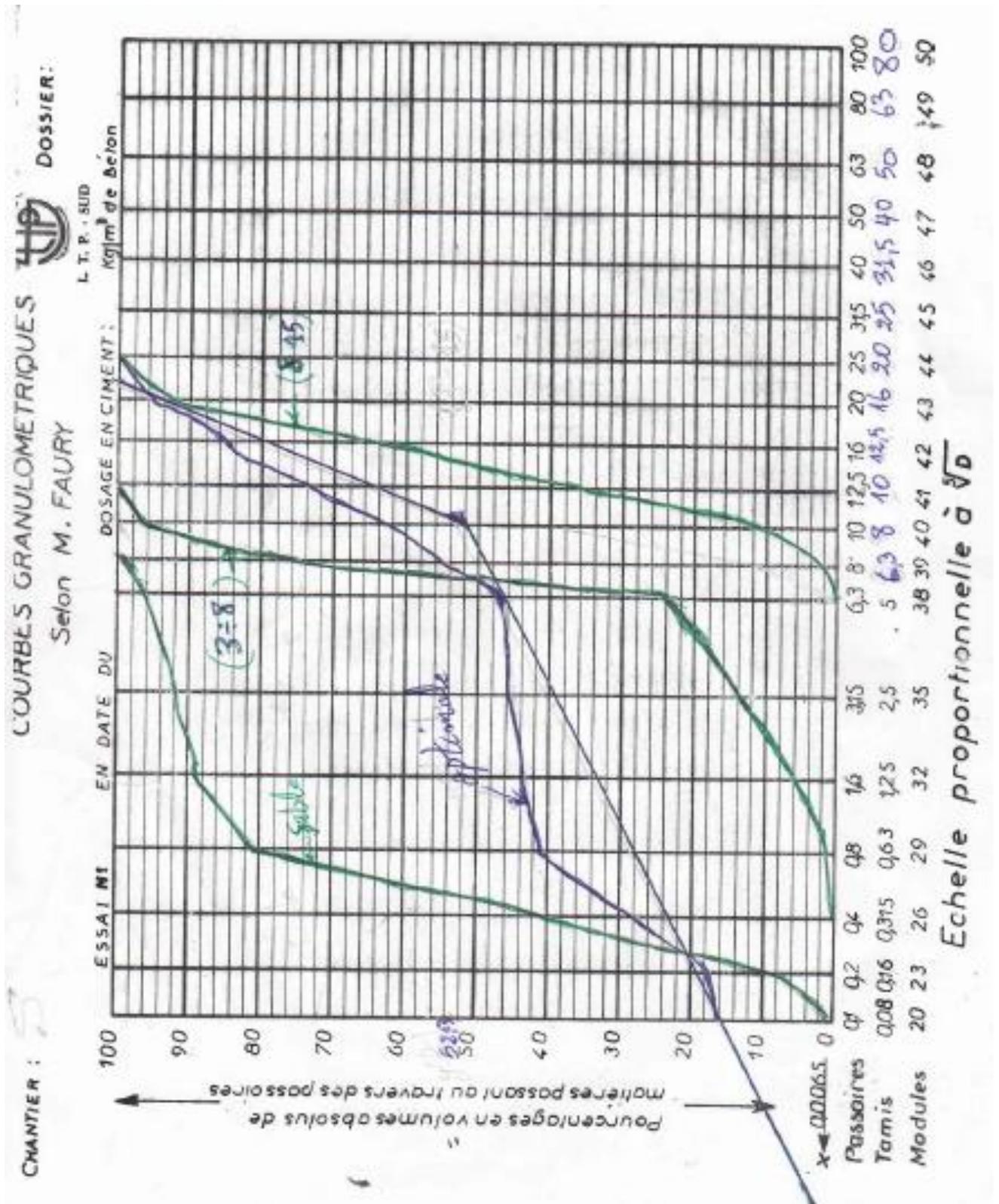


Figure (II-1): Courbes granulométriques des granulats utilisés.

La figure (II-1), montre les courbes granulométriques des granulats utilisés, ou nous remarquons que les différents granulats choisis (sable, 3/8 et 8/15) sont bien étalés ce qui nous permet une bonne homogénéité et densité du béton.

### II.1.3.5 Essai d'équivalent de sable (NF P 18-597) [32]

a) **But de l'essai :** l'essai de l'Équivalent de sable utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le granulat des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de terminer un coefficient d'Équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

b) **Principe de manipulation :** L'essai est effectuée sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide pour ne pas perdre les éléments fins.

c) **Mode opératoire d'essai :**

- Remplir les éprouvettes avec la solution lavante, jusqu'au premier trait (inférieur).
- Verser la quantité de sable  $120 \pm 1$ g et laissé au repos 10 min.
- Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube plongeur.
- Boucher les éprouvettes et les agiter par des mouvements rectilignes horizontaux de 20 cm d'amplitude, 90 allés en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine, si possible).
- Sortir le tube, fermer le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20 min en évitant toute vibration. La tolérance sur le temps de repos est faible (plus ou moins 10 sec) car la hauteur du floculat dépend fortement de celui-ci.
- Mesurer à vue les hauteurs  $h_1$  et  $h_2$ . Procéder à la mesure à l'aide d'une règle la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculat et  $h_2$  à l'aide d'un piston descendu jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.

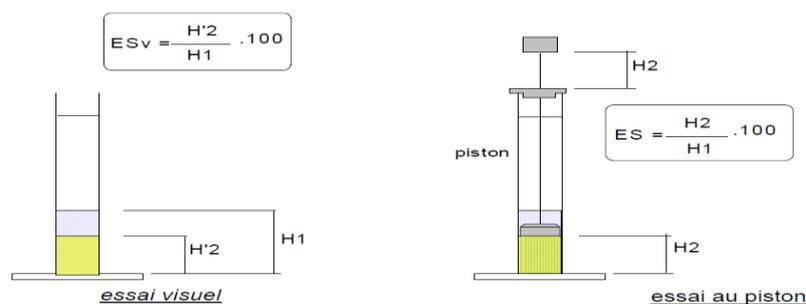


Figure II.2 : Essai d'Équivalent de sable

$$ES = \frac{H_2}{H_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (II-3)$$

**d) Matériel utilisé :**

- Éprouvettes en plexiglas avec deux traits repères et leurs bouchons.
- Entonnoir pour introduire le sable.
- Bonbonne de solution la vante avec son bouchon, le siphon et le tube souple.
- Tube laveur métallique plongeant.
- Règle métallique pour la mesure des hauteurs des sables.
- Piston taré à masse de 1 Kg pour la mesure de l'ES.
- Un chronomètre.

e) **Résultats d'essai** dans le cadre de notre étude, on a réalisé l'essai d'Équivalent de sable pour contrôler la propreté, Le résultat de l'Équivalent de sable est présenté dans le tableau (II, 6) suivant :

Tableau (II-7) : Équivalent de sable.

Échantillons	ES %	Observation
Sable roulé	70.28	Propre

**II.1.3.6 Essai au bleu de méthylène (NF EN 933-9)**

**a) But de l'essai:** Cet essai, utilisé d'une manière courante pour caractériser l'activité des argiles contenues dans les sols, est également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans les sables et graviers d'origine naturelle ou artificielle. Cet essai est un test performant pour quantifier d'une manière précise et simple la propreté des granulats.

**b) Principe de l'essai :** Il consiste à introduire, dans le bain contenant la prise d'essai, des quantités croissantes de bleu de méthylène, par doses successives, et à contrôler après chaque ajout l'absorption du bleu du test « de la tache » jusqu'à ce que les particules argileuses du matériau soient saturées de bleu (test de la tache devenant positif).

**c) Préparation de l'échantillon :** Cet essai s'effectue sur la fraction granulométrique 0/5mm. Ce sont principalement les éléments inférieurs à 2 mm qui contiennent la fraction

argileuse. Cette fraction donne l'essentiel de la réaction au bleu de méthylène et donc quantifie la sensibilité du sol à l'eau.

On prélève 100g de fraction 0/5 mm sèche que l'on met à tremper dans 200 ml d'eau déminéralisée, le mélange est maintenu à l'aide de l'agitateur à ailette. Une fois cette procédure effectuée on passe au « test de la tache ». Cet essai consiste à injecter, successivement des dosages précis de bleu de méthylène jusqu'à avoir saturation des particules d'argiles.

- Si la goutte centrale bleu est cerclée d'une zone incolore, le résultat du test est alors négatif.
- Si la goutte centrale bleue est cerclée d'une zone teintée de bleu plus claire, le test est donc positif. Pour la lecture du résultat, on procède de la manière suivante :  
Ajout de 2 cm<sup>3</sup> de bleu et faire la tache.
- Si le test est négatif répéter l'opération jusqu'à l'obtention d'un test positif,
- Si le test est positif, fin du dosage.

**d) Exploitation des résultats :** Une fois le test effectué est positif, on exploite les résultats :

$$V_{bs} = \frac{n}{M} \dots\dots\dots (II-4)$$

n: Volume (ml) de solution de bleu utilisé jusqu'à obtention du test positif. M : Masse (g) sèche de la prise d'essai. Classification des sols :

Tableau (II -8):Classification des sols.

<	Classification des sols
0,1	sol insensible à l'eau
0,2	apparition de la sensibilité à l'eau
1, 5	seuils distinguant les sols sablo limoneux des sols sablo argileux
2,5	seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
6	; seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
8	; seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

**Résultats d'essai :** Pour 100 g sable concassée on a trouvé un volume de 10 ml en bleu de méthylène,  $V_{bs}=0.1\text{ml/g}$ , Cette valeur caractérise un matériau insensible à l'eau et signifie que le sable ne contient pas des fines argileuses.

### II.1.3.7 Détermination de la masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés :

La masse volumique absolue et apparente permet le passage de la masse au volume des différentes classes granulaires, elle est souvent très nécessaire dans la composition du béton.

#### II.1.3.7.1 Détermination de la masse volumique absolue d'un sable ou d'un gravier

a) **Définition:** La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

b) **Méthode de l'éprouvette graduée :** Cette méthode est très simple très rapide et elle utilise un matériel très courant du laboratoire, Toutefois, sa précision est faible.

- Mettre dans une éprouvette un volume  $V_1$  d'eau.
- Peser une masse  $M$  du corps (de l'ordre de 300 g), et l'introduire dans l'éprouvette.
- Lire de nouveau le volume  $V_2$ .
- Le volume absolu est  $V = V_2 - V_1$ .

La masse volumique absolue est :

$$MV_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots (II-4)$$

#### II.1.3.7.2 Détermination de la masse volumique apparente des agrégats utilisés :

a) **Définition :** C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

b) **Mode opératoire de l'essai :** Prendre l'échantillon dans les deux mains.

- Verser l'échantillon toujours au centre du récipient, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône, raser à la règle et Peser le contenu.
- Calculer la masse volumique apparente à partir de la formule suivante :

$$MV_{app} = \frac{M_T - M_0}{V} \dots\dots\dots (II.5)$$

Avec : Mo : la masse du récipient de mesure vide. MT : la masse du récipient avec l'échantillon. V : le volume du récipient de mesure. Les résultats des masses volumiques absolues et apparentes des matériaux utilisés sont présentés dans le tableau (II-9) suivant :

Tableau (II-9) : Masse volumique apparente et Absolue des granulats utilisés

Matériaux	Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	Masse volumique Absolues (g/cm <sup>3</sup> )
sable concassé	1.507	2.566
Le gravier 3/8	1.334	2.644
Le gravier 8/15	1.363	2.602

**II.1.2.8 Coefficient d'absorption des granulats Nf p 18-555) :**

**a) But de l'essai :** Les granulats peuvent présenter des fissures ou des vides appelés porosité, il y a deux formes de porosité, Porosité ouverte et porosité fermée. La porosité ouverte est celle qui pose un problème en construction, puisque l'eau pénètre dans ces vides et gèle, Par la suite provoque l'éclatement du béton. [33]

**b) Principe de l'essai :** calculer le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après l'imbibition par l'eau de la masse sèche de l'échantillon. On fait imbiber l'échantillon pendant 24h et après, l'étaler sur surface plane non absorbante et on le met à l'air chaud à fin d'obtenir un échantillon avec des surfaces externes des grains séchés et pesés Ma.

$$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100 \dots\dots\dots (II-6)$$

Ab : coefficient d'absorption

Ma : masse de l'échantillon imbibé (après le pose d'eau 24h).

Ms : masse de l'échantillon sec.

Tableau (II-10) : Résultats des essais du Coefficient d'absorption des granulats

	sable	gravier 3/8	gravier 8/15
Ma( g )	314.50	1019.50	1013.66
Ms( g )	300.00	1000.00	1000.00
Ab( % )	4.833	1.950	1.366

### II.1.3.9 Analyse chimique

#### II.1.3.9.1 Détermination des corps insolubles (NFP 15-461)

**a) Définition :** les insolubles sont des corps insolubles dans l'acide chlorhydrique et ce sont des silicates.

**b) Principe de l'essai :** l'essai consiste à bouillir l'échantillon avec l'acide chlorhydrique et filtrer le mélange pour déterminer les corps qui ne sont pas solubles dans l'acide chlorhydrique.

**c) Étapes de l'essai :** On prend  $m_e = 2g$  de l'échantillon et on le met dans un bêcher de 250 ml.

- On ajoute 100 ml de l'acide chlorhydrique HCl 10%.
- On chauffe le bêcher contenant le mélange jusqu'à l'obtention d'une couleur jaune claire.
- On fait refroidir le mélange à la température ambiante.
- On filtre le mélange sur un papier filtre sans cendre.
- On lave le bêcher à l'aide de l'eau distillée.
- On réserve le filtrat qui servira à l'essai de détermination de sulfate.
- On met le papier filtre contenant les insolubles dans un creuset qui a été déjà pesé vide  $m_0$  dans un four à 900°C.
- On pèse le creuset après calcination  $m_1$ .

$$\text{Insol} = \frac{m_0 - m_1}{m_e} \times 100 \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

#### II.1.3.9.2 Détermination des Sulfates (NBS 1377/1975)

**a) Définition :** On trouve les sulfates dans les sols sous formes de sodium ( $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ ) et sous forme de sulfate de magnésium ( $\text{Mg SO}_4$ ) et sous forme de sulfate de calcium ( $\text{Ca SO}_4$ ). L'essai de détermination de sulfate est très important puisque le sulfate peut attaquer le béton et par la suite chuter la résistance des constructions.

**b) Principe de l'essai:** L'essai consiste par l'obtention d'une précipitation blanche à l'aide de chlorure de baryum ( $BaCl_2$ )  $CaSO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4 + CaCl_2$

Soluble + soluble  $\rightarrow$  précipitation insoluble + soluble

**c)-Étapes de l'essai :**

- Prend le filtrat obtenu par l'essai des insolubles (voir l'essai de détermination des insolubles).
- Ajuster ce filtrat jusqu'à 250 ml avec l'eau distillée, puis agiter.
- Prendre 100 ml du filtrat dans un bêcher.
- Ajouter 10 ml de  $BaCl_2$  diluée à 5% (détecteur).
- Bouillir doucement 4 à 5 min.
- Refroidir à température ambiante.
- Filtrer la solution avec le papier filtre N° 541
- Peser un creuset vide P1
- Mettre le papier filtre dans le creuset
- Peser le creuset après calcination et après refroidissement  $SO_3 = 34.3 \times (P_2 - P_1) / PE \dots \dots \dots (II.8)$

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O = (184.23(P_2 - P_1)) / PE \dots \dots \dots (II.9)$$

PE : la prise d'essai.

### II.1.3.9.3 Essai de détermination des chlorures norme BS BOWLY (Version 1979) :

**a) Principe de l'essai :** on fait agir en milieu neutre de pH une solution à titre de nitrate d'argent sur une prise d'essai en présence de chromate de potassium  $K_2CrO_4$ . La solution est de couleur jaune, quand on verse la solution  $AgNO_3$ , le chlorure précipite à l'état de  $AgCl$  la couleur rouge brique persistante est due à la formation de  $(CrO_4 Ag)_2$ .

**b) Étapes de l'essai :**

- Prendre 1 Kg d'un échantillon représentatif (les particules  $\leq 20 \mu m$ ).
- Étuver l'échantillon à 105-110°C.
- Écraser l'échantillon et tamisé au tamis 600  $\mu m$ .
- Placer 100g de l'échantillon dans une fiole de 500 ml.
- Ajouter à l'échantillon 200 ml de l'eau distillée, et agiter pendant 24 heures.
- Filtrer la solution dans le papier filtre.
- Prendre 100 ml de filtrat.

- Ajouter 03 gouttes de l'acide nitrique HNO<sub>3</sub>.
- Ajouter une pincé de carbonate de calcium Ca CO<sub>3</sub>.
- Ajouter 03 gouttes de chromate de potassium à 10%.
- Titrer goutte à goutte par le nitrate d'argent Ag NO<sub>3</sub> jusqu'à l'obtention d'une couleur rouge brique.
- lire le volume d'Ag NO<sub>3</sub>.NaCl (%) = V(AgNO<sub>3</sub>) x (0.585) .....(II.10)

**II.1.3.9.4 Essai de détermination du taux des carbonates d'un sol (Norme NFP15-461) :**

**a) Définition et but de l'essai** On détermine le taux des carbonates d'un sol pour déterminer le taux de calcaire une teneur en carbonate élevée signifie une faible teneur en minéraux argileux et généralement indique une résistance au cisaillement relativement élevée.

**b) Etapes de l'essai :**

- Prendre un échantillon et le tamiser au tamis 0,4µm.
- Etuvé 24h à T° 110 à 115 °C.
- Prendre une prise d'essais me = 0,5g (échantillon représentatif).
- Ajouter un volume Va = 10 ml de l'acide chlorhydrique HCl 1N.
- Chauffer le mélange pour activer la réaction.
- Ajouter 02 gouttes de phénol phtaléine 0,1% (détecteur).
- Titrer avec NaOH 1N jusqu'à l'obtention d'une couleur violette.
- Prendre le volume de titrage de NaOH 1N (Vb).

$$CaCO3 = \frac{5(Va - Vb)}{me} \dots\dots\dots(II.11)$$

Les résultats des analyses chimiques sont résumés dans le Tableau suivant:

Tableau (II-11): résultats des analyses chimiques

	<b>Sable utilisé</b>	<b>Gravier utilisé</b>
<b>% insoluble ( insol )</b>	96.28	28.16
<b>% Sulfates(SO<sub>3</sub>)</b>	0.19	0.58
<b>% gypse (CaSO<sub>4</sub>)</b>	1.05	3
<b>% Carbonate( CaCO<sub>3</sub>)</b>	2	68
<b>% Chlorures( Cl )</b>	0.009	0.0074
<b>%Chlorure desodium (NaCl)</b>	0.014	0.0121

### II.1.3.10 Propreté superficielle

L'essai a été réalisé conformément à la norme française (P 18 - 591) [34], Il consiste à déterminer la propreté superficielle des granulats supérieurs à 2 mm par élimination des poussières et des particules argileuses inférieures à 0,5 mm. L'élimination est réalisée par lavage de l'échantillon sur le tamis correspondant. Le rapport du passant à 0,5 mm au poids total de l'échantillon représente la propreté superficielle des gravillons :

$$P = 100 (m/Ms) \dots\dots\dots(II-13)$$

Dans notre cas  $P = 0.84\%$ , Essai effectué sur le gravier (8/15), Le résultat obtenu nous indique que le gravillon utilisé est pratiquement propre.

### II.1.3.11 Los Angeles

L'essai Los Angeles a été effectué conformément à la norme française (P 18 – 573) [35]. Il consiste à mesurer la masse  $m$  d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite par fragmentation du matériau testé de classe granulaire (10/14), soumis aux chocs d'une charge de 11 boulets par la mise en rotation du cylindre de la machine Los Angeles de 500 tours. Le coefficient Los Angeles (LA) est le pourcentage du rapport de la masse  $m$  par le 5kg du matériau testé :

$$LA = 100(m/5000) \dots\dots\dots (II-14)$$

LA trouvé est égal à 26.20%.

On remarque que le gravillon naturel convient bien pour la confection de béton de qualité (granulat de catégorie A).

### II.1.4 Eau de gâchage

L'eau de gâchage peut avoir une influence sur le temps de prise, l'évolution des résistances du béton et la protection des armatures contre la corrosion [36]. Les eaux naturelles conviennent comme eaux de gâchage du béton, à moins qu'elles contiennent des substances qui gênent le durcissement comme certaines eaux usées ou des eaux marécageuses. En cas de doute, une analyse chimique s'impose [37]. En effet, l'eau potable est considérée comme appropriée pour la fabrication du béton [38]. L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents éprouvettes de béton est une eau potable de robinet du laboratoire L.T.P.Sud, Unité de Ouargla.

Tableau (II -12): Composition chimique de l'eau utilisée en mg/l.

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	salinité
242	125	31	536	755	14,5	755	124	7,75	2799

**Conclusion** L'analyse des résultats des caractéristiques des différents matériaux étudiés dans ce chapitre montre que Le ciment, l'eau de gâchage ainsi que les gravillons sont appropriés pour la confection de béton.

## **II.2 Formulation de béton**

### **II.2.1 Introduction**

L'objectif de cette partie est d'étudier expérimentalement la formulation d'un béton destiné aux ouvrages servant d'évacuer les eaux usées dans la vallée de Ouargla La composition du béton préparé au laboratoire LTPS unité d'Ouargla dans le cadre de cette étude a été faite selon la méthode de "Faurry" où on s'est fixé initialement un rapport E/C de 0,5.

### **II.2.2 Principe de la méthode**

a) Déterminer la courbe du mélange des éléments secs, et chercher de se rapprocher le plus possible de la « courbe optimale » déterminée par la méthode de calcul classique.

b) Formulation et dosage des bétons

c) Courbe optimale Deux segments de droites, formant une ligne brisée. Il faut donc définir :  
L'Origine : Point de l'axe des abscisses correspondant au tamis de 0,0055 mm.

L'Extrémité : Point d'abscisses D et d'ordonnée 100

**Point de brisure** :- Abscisse : D/2.

- Ordonnée Y D/2, donnée par formule :

$$Y (D/2) = A + 17 \times \sqrt[5]{D} \dots \dots \dots (II-14)$$

Avec :A = constante, traduisant la maniabilité du béton.

D = plus grande dimension de tamis

$$D_{max} = D1 + (D1 - D2) \times \frac{X}{Y} \dots\dots\dots(II-15)$$

Avec :D1 : le diamètre de l'avant dernier tamis

D2 : le diamètre de tamis qui est après le tamis D1 On trouve :

$$D_{max} = 16 + [ (16 - 12.5) \times (7 / 29) ] .$$

Donc  $D_{max} = 16.845$  mm

Et on a :

$$X = 100 - \% D1 = 100 - 93 = 7$$

$$Y = \% D1 - \% D2 = 93 - 64 = 29$$

Donc  $D_{max}/2 = 8.422$  mm

Et avec :

$$Y D/2 = A + 17,8 * \sqrt[5]{D}$$

$$Y D/2 = 26 + 17.8 * \sqrt[5]{8.422}$$

On aura  $Y D/2 = 53.25$  %

A : dépend de la consistance du béton désiré et de la provenance des granulats. Le tableau (II-9) nous montre les valeurs de A.

Tableau (II-9): Valeurs de A. [39]

Consistance du béton	Sable roulé		S. concassé
	G. roulé	Gravier concassé	
Assez plastique	24 à 26	26 à 28	30 à 32
Plastique	26 à 28	28 à 30	32 à 34

$D < 25$  mm : Béton armé courant pour Bâtiment et Ouvrages d'Art.

### II.2.3 Détermination de la quantité de l'eau de gâchage

$$E = [K/\sqrt[5]{D}] \times 1000 (II-16)$$

K : coefficient qui dépendant des agrégats, de la consistance et de la mise en place de béton. Le Tableau II-10 donne la variation de K. [40]

Tableau (II-10) : La variation du coefficient K. [39]

Consistance	Serrage	Sable et gravier roulés	Sable roulé et gravier concassés	Sable et gravier Concassés
Très fluide	Inexistant	$\geq 0.37$	$\geq 0.405$	$\geq 0.46$
Molle	Moyen	0.35 – 0.37	0.375 – 0.405	0.43 – 0.46
Ferme	Très soigné	0.33 – 0.35	0.350 – 0.375	0.40 – 0.43

$$E = (0.350)^{1/5} \sqrt[5]{16.845} \times 1000 = 198 \text{ L}$$

#### II.2.4 Détermination du volume absolu des agrégats secs :

Volume absolu des éléments secs = 1000 dm<sup>3</sup> - volume de l'eau.

$$V_{as} = 1000 - 198 = 802 \text{ L (II-18)}$$

#### II.2.5 Détermination du pourcentage de ciment :

$$C = 400/3.1 = 129.03 \text{ L (II-19)}$$

$$\% C = (129 / 802) \times 100 = 16.08\%$$

Masse volumique absolue du ciment = 3,1 g/cm<sup>3</sup>

#### II.2.6 Détermination des pourcentages des agrégats

Faury a mis au point une méthode particulière, la « Méthode des Indices Pondéraux » qui traite le problème par le calcul. On applique la méthode graphique, le tableau ci-dessous montre les Pourcentages des agrégats pour les différents types de béton. On note que la quantité de sable est obtenue par :  $\text{sable}(\%) = 100 - [(\%) \text{ 3/8} + (\%) \text{ 8/15} + (\%) \text{ C}] = 30\%$ .

Tableau (II-11) : Pourcentages massique des composants du béton

Les composants	Ciment (%)	Sable (%)	gravier 3/8 (%)	gravier 8/15 (%)	Quantité de l'eau ( l )
Quantité ou Pourcentages	16	30	12	42	198

### **II.2.7 Affaissement au cône d'Abrams [41].**

L'ouvrabilité du béton composé a été appréciée à partir des mesures de consistance par affaissement au cône d'Abrams, avant la confection des éprouvettes au laboratoire LTPS. L'essai d'affaissement a été effectué conformément à la norme européenne NF EN12350-2 On remplit en trois couches, piquées chacune de 25 coups par une tige de Ø16 mm, un moule tronconique en tôle (D =20 cm ; d =10 cm ; h=30 cm). Le moule est retiré lentement et la mesure de l'affaissement est réalisée. Dans notre cas l'affaissement est de 8 cm.

### **II.3 Confection et cure des éprouvettes :**

Conformément à la norme européenne NF EN12390 -1[42], nous avons utilisé les moules prismatique (7 x 7 x 28) cm<sup>3</sup> pour la confection des éprouvettes par tout les essais réalisés dans cette étude (voir le photo (II-3) annexe photos).

#### **II.3.1 Confection des éprouvettes :**

La préparation des mélanges a été effectuée suivant un dosage pondéral des granulats et conformément à la norme française NF P18 - 404 [43], qui consiste à :

- Introduire, en premier lieu, dans un malaxeur à béton, (Photo (II-1) annexe photos), les constituants dans l'ordre suivant : gravillons, liant, sable,
- Malaxer à sec les éléments de l'ordre de 1 min.
- Ajouter l'eau de gâchage et poursuivre le malaxage pendant.

Nous avons prélevé la quantité volume pour le remplissage des moules en deux couches pour les moules prismatiques. Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage, par table vibrante , pour chaque couche du béton introduite .

#### **II.3.2 Conservation des éprouvettes :**

Après la mise en place du béton, les éprouvettes sont maintenues pendant 24 heures, dans leurs moules à l'intérieur du laboratoire (T = 15±5 °C, HR= 20±5).

Après démoulage, les éprouvettes témoin sont entreposées dans de l'eau pendant (7 ,30 , 60) jours au laboratoire(LTPS), à une température de [15÷22]±20C, mais les autres éprouvettes ont été conservées selon le mode de conservation stipulé dans la présente étude soit la mise dans l'eau de la nappe phréatique provenant du cité Ansr (khafdji) à proximité de l'ouvrage d'art encours, les éprouvettes sont mises dans un bac métallique au laboratoire LTPS avec une alternance

d'immersion cyclique de 3, 7, 14 et 30 jours, voir le Photo (II-4)annexe photos, jusqu'à la date des écrasements.

**a) Eau de la nappe phréatique (Hai Nasr) et mode de conservation:**

Nous utilisons cette eau pour étude les influences des effets cycliques de la fluctuation de la nappe sur le béton, soit l'immersion successivement dans l'eau de la nappe phréatique. Cette opération est effectuée en cinq cycles soit : cycle d'un jour, 3jours, 7jours,14jours et 30jours), vu le temps assez limité, la présente étude s'est étalée uniquement sur deux mois.

**Tableau II.6 :** Composition chimique de l'eau de la nappe phréatique d'Ouargla

<b>Composants</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeurs (nappe phréatique)</b>
pH	-	7.8
K <sup>+</sup>	mg/l	170
chlorures (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	5786.5
NaCl	mg/l	9535.5
sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	mg/l	5791.33
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	00
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	150
calcium (Ca <sup>+2</sup> )	mg/l	801.6
magnésium (Mg <sup>+2</sup> )	mg/l	972
oxyde de carbone	mg/l	00
Conductivité	ms/cm	29,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0

**II.3.3 Constatations avant écrasement des éprouvettes**

Les éprouvettes témoins conservés au laboratoire avaient une allure normale. Les éprouvettes conservées dans la nappe phréatique avaient des cristaux de sel formés sur la surface, difficilement nettoyées à la brosse métallique. Quelques éprouvettes prismatiques conservées dans l'eau de la nappe phréatique étaient collées l'une à l'autre.

## II.4.Essais sur le béton durci :

### II.4.1 Essais effectués sur les éprouvettes :

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton Selon le mode de conservation et comparer ceux-ci aux propriétés de béton témoin conservé au laboratoire (LTPS).Lors des essais destructifs, l'aspect interne des éprouvettes écrasées montre une bonne homogénéité. Les essais sont effectués en collaboration avec :

- ✓ Laboratoire L.T.P .S de Ghardaïa.
- ✓ Laboratoire L.T.P .S unité d'Ouargla.
- ✓ Laboratoire de l'université Kasdi Merbah d'Ouargla.

#### II.4. 1. 1 Essai de résistance à la traction par flexion

Les essais de la traction par flexion (4 points) ont été réalisés au laboratoire de l'institut de génie civil à l'Université Kasdi Merbah Ouargla. L'essai a été effectué conformément à la norme française NF P 18 - 407 [44] par l'emplacement de l'éprouvette prismatique ( $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$ ) dans l'appareil de chargement de la machine d'essai (Photo( II-7) annexe photos), en prenant comme faces de chargement, les faces de moulage.

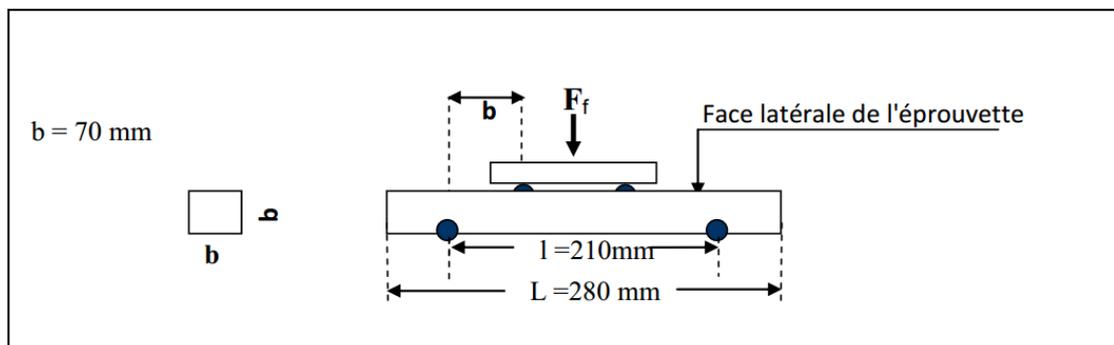


Figure (II-3): dispositif pour l'essai de résistance a la flexion (4 points).

$$Rf = \frac{3Ff}{b^2} \text{(II-19)}$$

- Avec:
- Rf : résistance à la flexion en MPa.
  - Ff: charge de rupture de l'éprouvette en flexion (N).
  - b : côte de l'éprouvette est égal à 70 mm.

#### II. 4. 2 Essai de résistance à la compression ( $R_c$ )

Les essais de compression ont été réalisés au laboratoire LTPS unité de Ouargla, conformément à la norme européenne NF EN12390 - 3 [ 45 ] , par application d'un effort de chargement sur une éprouvette cylindrique, dans le sens perpendiculaire de son axe longitudinal, jusqu'à la rupture, sous une presse (machine control (Photo II- 6)annexe photos, la résistance du béton est donnée par la formule (II-20) suivante :

$$R_c = \frac{F}{A_c} \dots\dots\dots (II-20)$$

Avec:F= la charge maximale à la rupture de l'éprouvette (en Newton).

$A_c$  = l'aire de la section chargée de l'éprouvette (en  $mm^2$ ).

#### II. 1.3 Essai d'auscultation dynamique :

L'essai d'auscultation dynamique, par vitesse du son, consiste à mesurer le temps de propagation d'ondes sonique dans une éprouvette de béton à l'aide d'un appareil à ultrasons, L'essai a été effectué conformément à la norme française P18 - 418 [46] La vitesse de propagation du son est calculée par la formule suivant e :

$$V = \frac{d}{t} \text{(m/s)} \dots\dots\dots (II-11)$$

Où :

D : Distance entre faces de l'éprouvette mesurée en mètres,T : Temps de propagation d'ondes en secondes

Les vitesses de propagation du son calculées, sont exprimées en mètres par seconde, sous la forme de la moyenne des valeurs mesurées sur trois éprouvettes. La vitesse de propagation du son est d'autant plus élevée que le béton est plus dense donc plus résistant. Elle fournit une indication sur les qualités des bétons, telles que :

- Homogénéité du béton.
- Cavités, fissures, défauts dus à l'effet du feu ou du gel.
- Module d'élasticité.
- Résistance à la compression.

#### II.1.4 Essai d'absorption capillaire :

Cet essai consiste en des mesures d'absorption d'eau à la pression atmosphérique. déshydraté a l'étuve jusqu'à masse constante, l'éprouvette subit un sciage sur la face absorbante et un traitement imperméabilisant sur les autres faces avec de la paraffine, l'éprouvette est mise sur la face sciée dans un bac contenant du sable saturé d'eau pendant 72 heures [47], En mesure ensuite l'accroissement du poids de l'éprouvette en fonction du temps.[48] Avec la formule suivante:

$$A.C = 100 * P / (S * t^{0.5}) \dots\dots\dots (II-4)$$

P: poids d'eau absorbé.

t = 72 heure. S: surface sciée de l'éprouvette en contact avec l'eau.

#### II.1.5 Mesure de la carbonatation :

La technique à mettre en œuvre pour mesurer la profondeur de carbonatation des bétons correspond au test à la phénolphthaléine réalisé sur des fractures fraîches de béton. La phénolphthaléine est un indicateur de pH coloré dont la valeur se situe aux alentours de 8.3. Cela permet de différencier la zone carbonatée (pH <8.3) qui reste incolore, de la zone non carbonatée (pH >8.3 et allant jusqu' à 13) colorée en violet. Cet essai doit être effectué à l'échelle d'un ouvrage, sur un nombre de points de mesure représentatifs en tenant compte des conditions locales d'exposition et de l'hétérogénéité possible du matériau. Ce test permet une mesure fiable et rapide de la profondeur de carbonatation dans le cadre de diagnostic d'ouvrages.[49]

L'essai a été effectué au laboratoire LTPS d'Ouargla, sur deux types des éprouvettes de section (7x7) cm<sup>2</sup> à l'âge de 30 et 60 jours, que se soit pour le béton témoin et le béton conservé cycliquement dans l'eau du nappe phréatique.

#### En conclusion :

Les essais réalisés lors de cette étude se résument en ce qui suit :

Essai d'osculation dynamique.

Essai de traction par flexion en 4 points. 7x7x28 cm<sup>3</sup>.

Essai de compression 7x7x7 cm<sup>3</sup>.

Essai d'absorption capillaire.

Teste de la profondeur de carbonatation.



# **CHAPTER III : Résultats et discussion**

## Chapitre III : Résultats et discussion

### III.1. Présentation des résultats des essais

Dans ce chapitre on présente les résultats des essais de résistance à la traction par flexion et la résistance à la compression, les essais d'absorption capillaire, et d'auscultation dynamique ainsi que les essais de mesure de la carbonatation, sous forme de courbes, histogrammes ou bien des tableaux, qui nous permettent d'expliquer clairement les phénomènes constatés.

Les essais effectués sont réalisés à raison de 3 à 4 éprouvettes pour chaque essai, que se soit pour le béton témoin ou pour le béton ayant connu différents cycles d'immersion soit : 1, 3, 7, 14 ou 30 jours de mouillages-séchages.

#### III.1.1 Essai de résistance à la traction par flexion

Les figures suivantes, présentent les résultats de la résistance à la traction par flexion des éprouvettes en béton, en fonction de l'âge du béton (7, 30, et 60 jours).

##### a) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 1 jour :

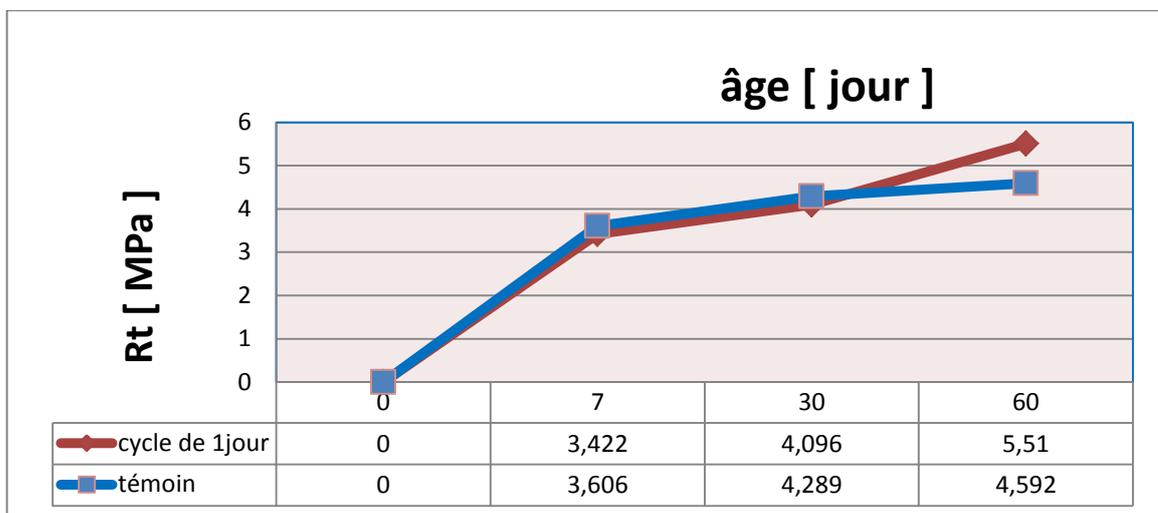


Figure (III -1): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes ayant un cycle (1 jour).

D'après la figure (III -1), la courbe de résistance à la traction par flexion des éprouvettes des cycles de 1jour est croissance de forme ordinaire, elle augmente de 3.422 MPa à 7 jours d'âge jusqu'à 5.51 MPa à l'âge de 60 jours.

## b) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 3 jour

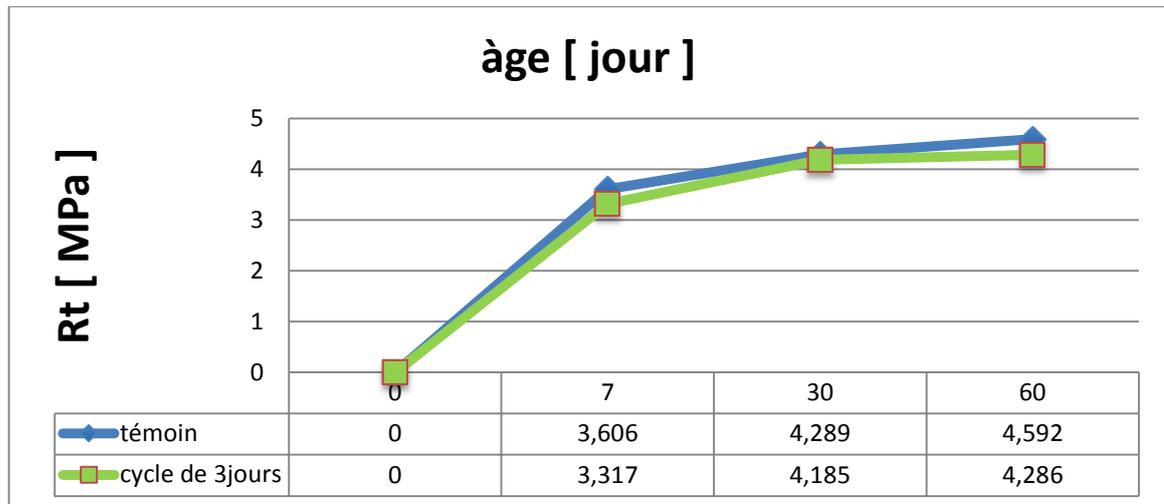


Figure (III -2): Résistance à la traction par flexion des échantillons de cycle (3 jours).

La courbe verte de résistance à la traction par flexion des échantillons du cycle de 3 jours représentée par la figure (III -2), est croissante de forme ordinaire, elle varie de 3.317 MPa à 4.286 MPa respectivement à 7 et à 60 jours d'âge.

## c) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 7 jours :

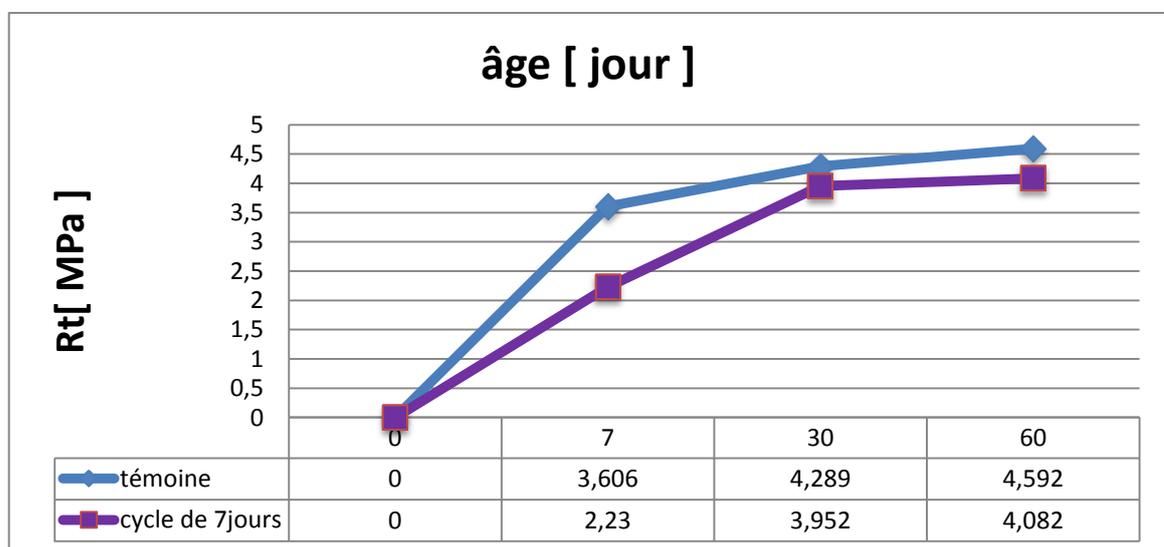


Figure (III -3): Résistance à la traction par flexion des échantillons de cycle (7 jour).

On voit sur la figure (III -3), que la courbe violette de résistance à la traction par flexion des échantillons du cycle 7 jours évolue de forme ordinaire, elle est de 3.952 MPa à l'âge de 30 jours et de 4.082 MPa à l'âge de 60 jours.

d) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 14 jours :

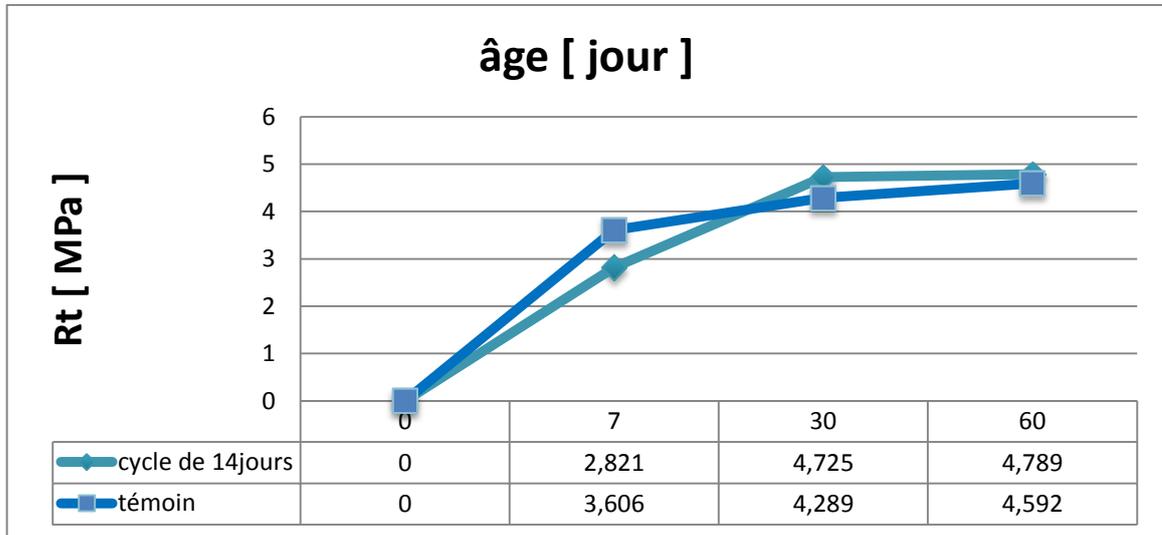


Figure (III - 4): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de cycle (14 jour).

D'après la figure (III -4), la courbe de résistance à la traction par flexion des éprouvettes du cycle de 14jours est croissante de forme ordinaire, elle augment de 4.725 MPa à 30 jours d'âge jusqu'au 4.789 MPa à l'âge de 60 jours.

e) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 30 jours :

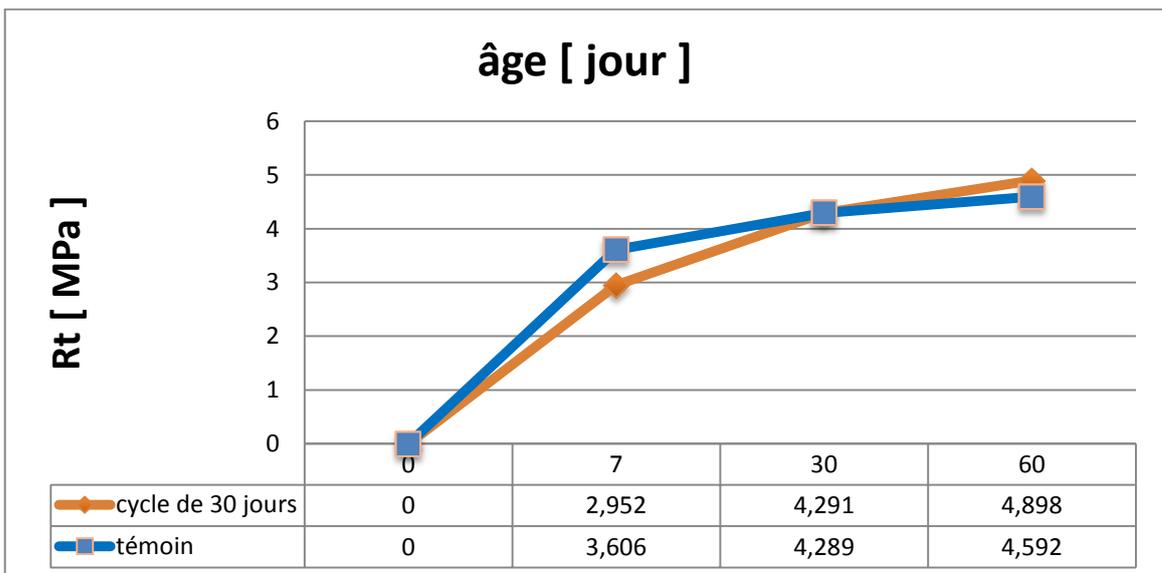


Figure (III -5): Résistance à la traction par flexion des éprouvettes de cycle (30 jour).

On remarque d'après la figure (III -5) que la courbe de résistance à la traction par flexion des éprouvettes des cycles 30 jours évolue jusqu'à 4.9 MPa à 60 jour d'âge.

**Remarque :** La courbe de résistance des essais de résistance à la traction par flexion des éprouvettes témoins est croissance de forme ordinaire, elle est de 3.606 MPa à 7 jours d'âge jusqu'à 4.592 MPa à l'âge de 60 jours.

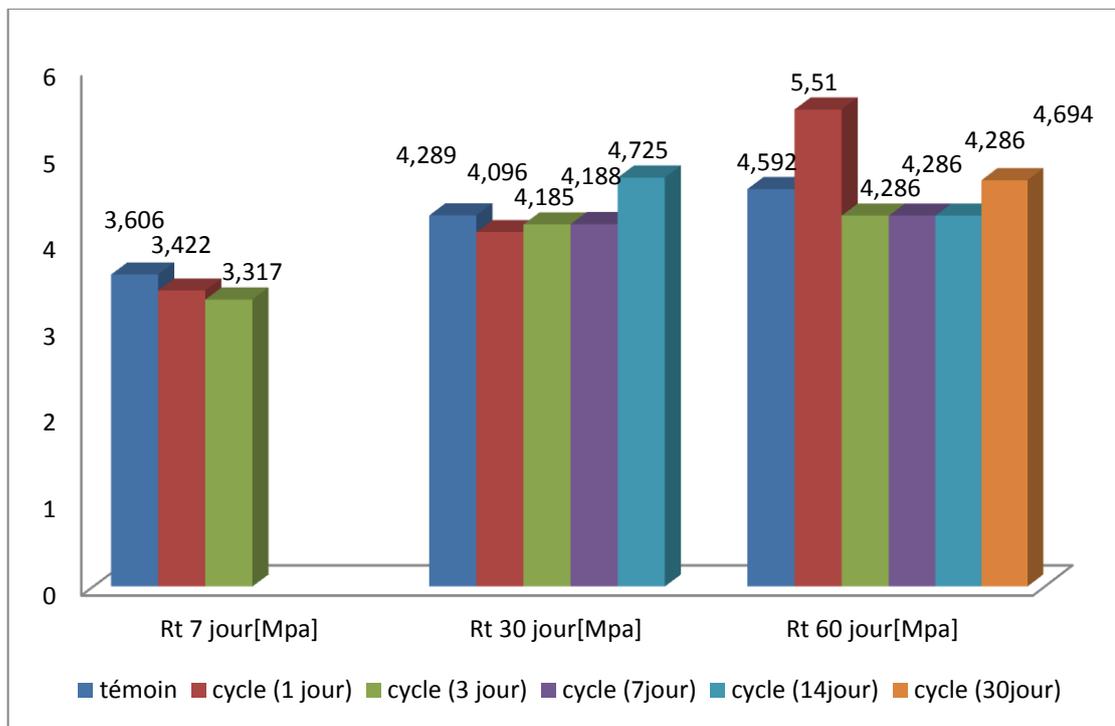


Figure (III - 6): Résultats d'essai de résistance à la traction par flexion des éprouvettes.

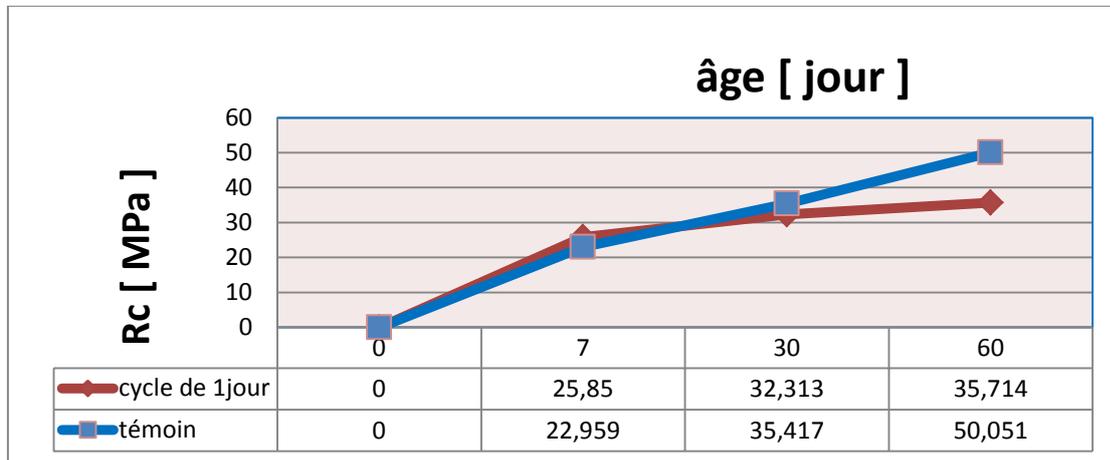
La comparaison entre les résultats de résistance à la traction des éprouvettes soumises cycliquement à l'eau de la nappe phréatique et les éprouvettes témoins est illustrée par la figure (III - 6), où nous enregistrons :

- 1 – Un recul de 5.10% et 8.01% à 7 jours d'âge, respectivement pour les cycles de 1jour et 3 jours. Comparativement au béton témoin.
- 2 - Un recul de 4.50%, 2.42%, 2.35% et un dépassement de 10.17% à 30 jours d'âge, respectivement pour les cycles 1, 3, 7 et 14 jours.
- 3 - Un recul de 6.66%, 6.66%, 6.66% et un dépassement de 19.99% et 2.22% à 60 jours d'âge, respectivement pour les cycles des 3, 7, 14 et 1, 30.

### III. 1. 2 Essai de résistance à la compression (Rc)

Les figures suivantes, illustrent les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes d'étude, en fonction de l'âge, (7, 30, et 60 jours).

#### a) - Le béton ayant un cycle d'immersion d'un jour :



Figure

(III -7): Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans la nappe phréatique de Ouargla pour un cycle de 1 jour.

On note que la courbe de la figure (III -7), représente la résistance à la compression des éprouvettes ayant connues un cycle d'immersion d'un jour, est croissante, elle est augment de 25.85 MPa à 7 jours d'âge jusqu'à 35.71 MPa à l'âge de 60 jours.

#### b) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 3 jours :

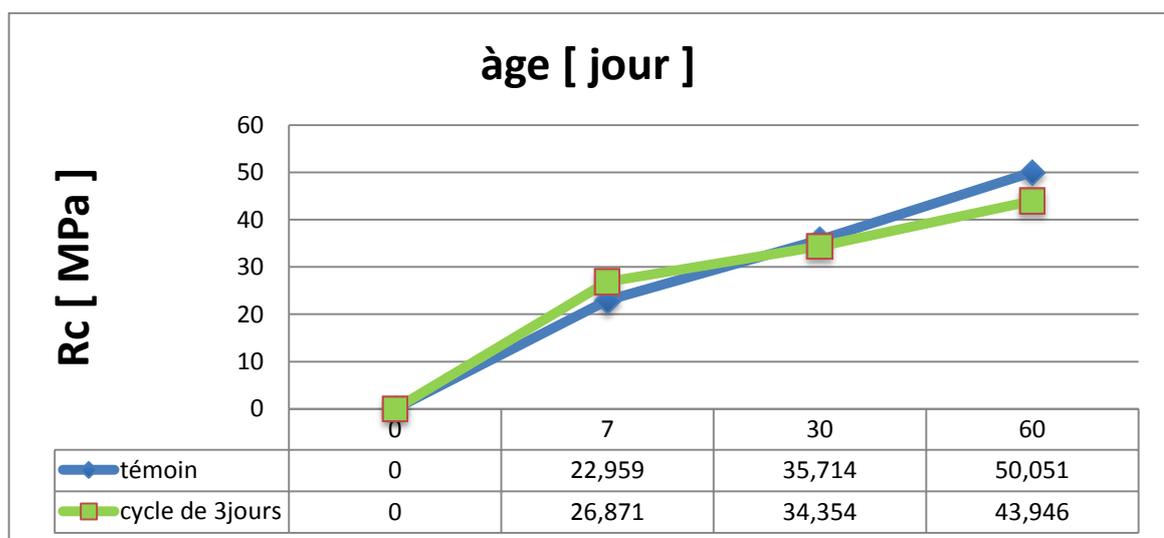


Figure (III -8): Résistance a la compression des éprouvettes conservées dans la nappe phréatique de Ouargla pour un cycle d'immersion de 3 jours.

La courbe de résistance à la compression des éprouvettes de cycle de 3jours illustrée dans la figure (III -8) est croissante de forme ordinaire, la résistance varie de 26.87 MPa à 7 jours d'âge à 43.95 MPa à l'âge de 60 jours.

**c) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 7 jours :**

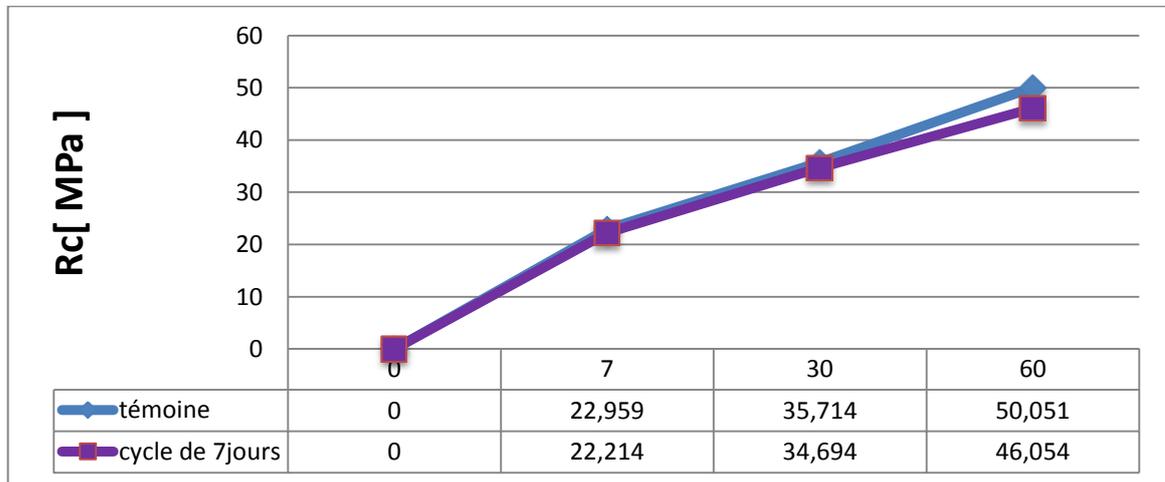


Figure (III -9): Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans la nappe phréatique de Ouargla pour un cycle d'immersion de 7 jours.

D'après la figure (III -9), la courbe de résistance à la compression des éprouvettes de cycle de 7 jours est croissante de forme ordinaire, la résistance varie de 34.69 MPa à 30 jours d'âge à 46.05 MPa à l'âge de 60 jours.

**d) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 14 jours :**

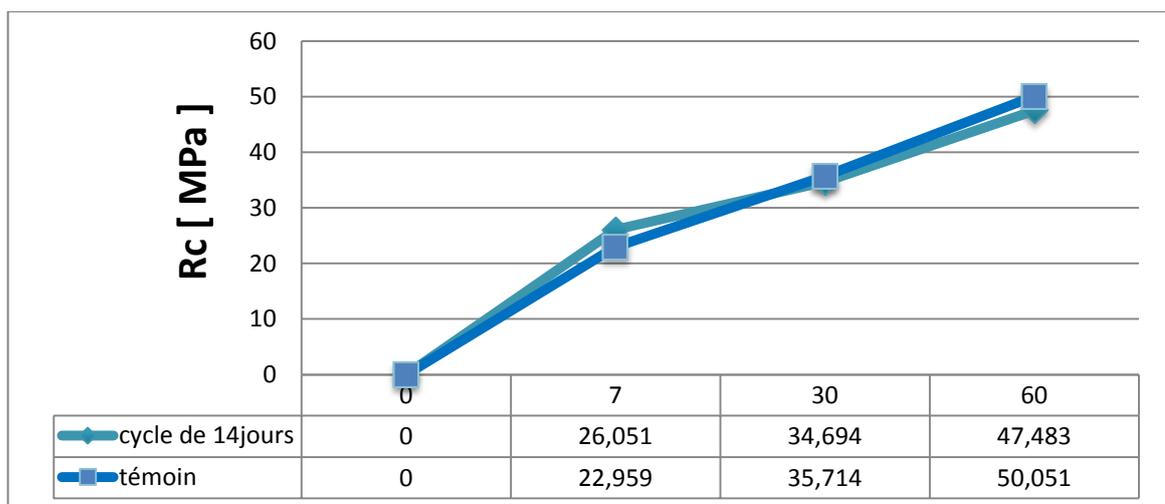


Figure (III -10): résistance à la compression des éprouvettes conservées dans la nappe phréatique de Ouargla pour un cycle d'immersion de 14 jours.

D'après la figure (III -10), la courbe de résistance à la compression des éprouvettes de cycle de 14 jours est croissante de 34.694 MPa à 30 jours d'âge à 47.48 MPa à l'âge de 60 jours.

**e) - Le béton ayant un cycle d'immersion de 30 jours :**

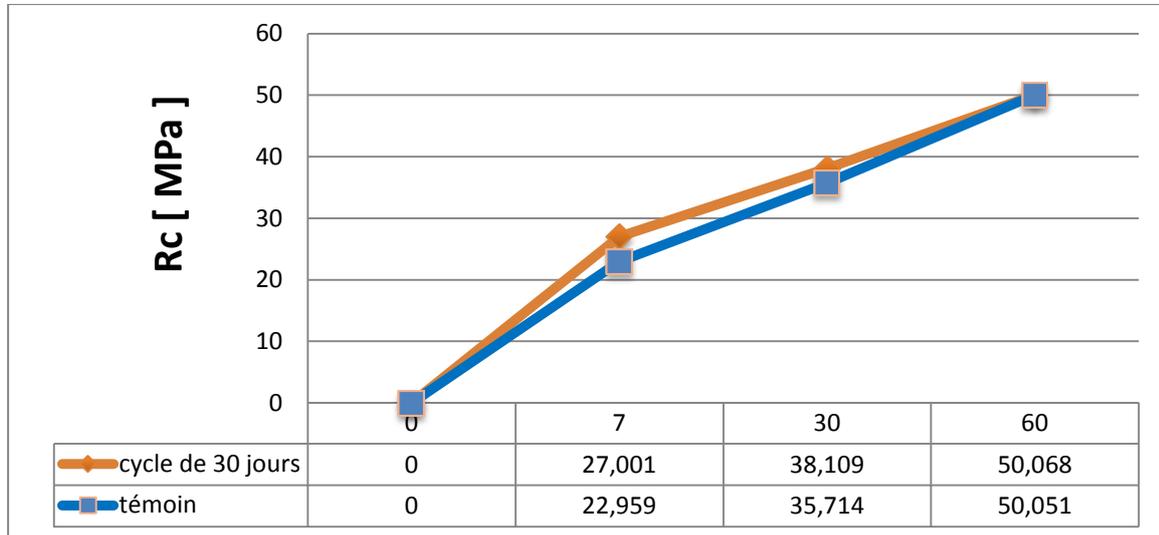


Figure (III -11): Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans la nappe phréatique de Ouargla pour un cycle de 30 jours.

La figure (III -11) précédente représente la courbe de résistance à la compression des éprouvettes immergées pendant 30 jours dans les eaux de la nappe et puis laissées à l'aire libre jusqu'à 60 jours, la résistance acquise à cet âge est de 50.07 MPa.

**Remarque :** Pour les essais de résistance à la compression des éprouvettes témoins, la courbe de résistance est croissante de forme continue, dont la résistance est de 22.96 MPa à 7 jours d'âge et de 50.05 MPa à l'âge de 60 jours.

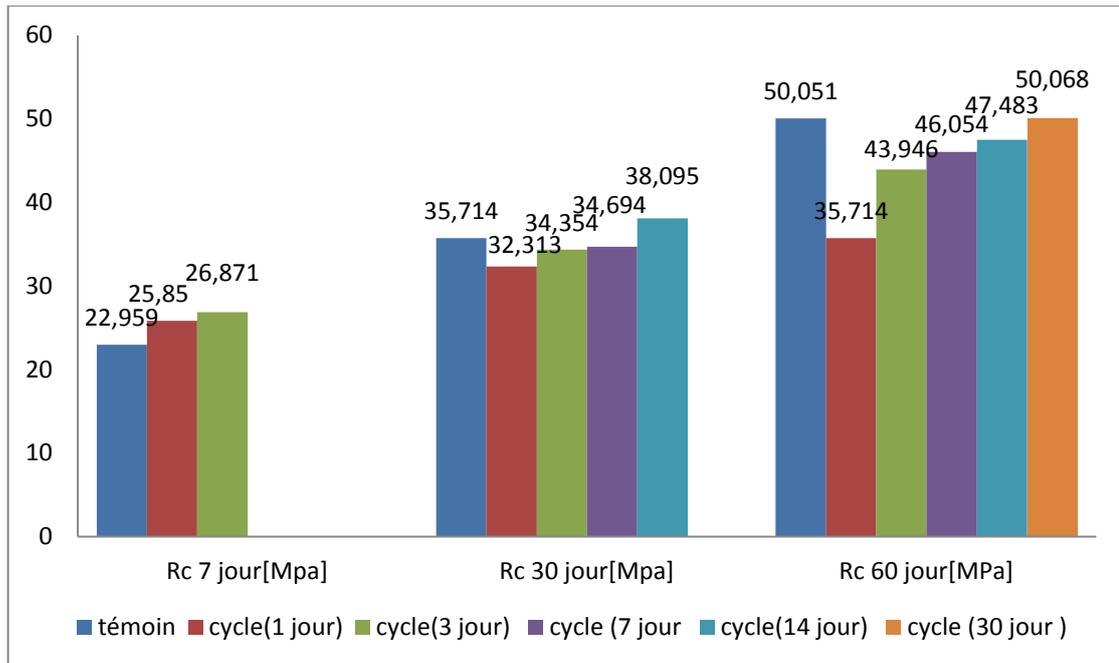


Figure (III -12) : Résultat d'essai de résistance à la compression.

La comparaison entre les résultats de résistance à la compression des éprouvettes soumises cycliquement dans l'eau de la nappe phréatique et les éprouvettes témoins est illustrée par la figure (III -12), où on enregistre ce qui suit :

- 1- Un dépassement de 12.59%, 17.04% à 7 jours d'âge, respectivement pour les cycles de 1 et 3 jours.
- 2- Un recul de 9.52%, 3.81%, 2.86% et un dépassement de 6.67% à 30 jours d'âge, respectivement pour les cycles de 1, 3, 7 et 14 jours.
- 3- Un recul de 28.64%, 12.20%, 7.99%, 5.13% et un petit dépassement de 0.03% à 60 jours d'âge, respectivement pour les cycles de 1, 3, 7, 14 et 30 jours.

L'effet cyclique de l'immersion est assez clair sur la résistance à la compression où nous constatons que lorsque le cycle est assez court la résistance diminue. Donc les endroits du béton où la nappe est fluctuante présente un grand risque quant à la résistance à la compression.

### III.1.3 Essai d'auscultation dynamique :

La figure suivante, présente les résultats d'essai d'auscultation dynamique des éprouvettes testées en fonction de l'âge du béton pour 7 et 60 jours.

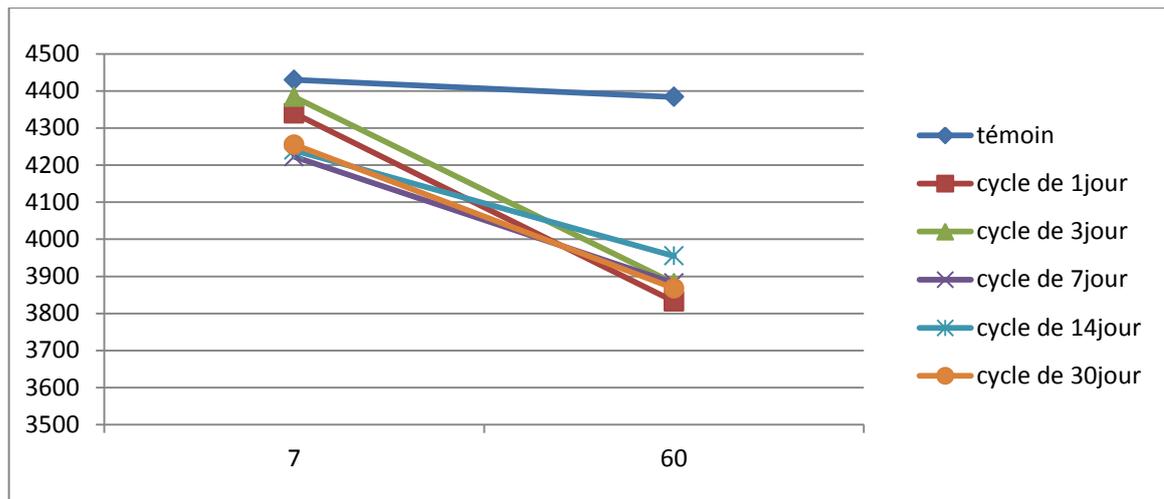


Figure (III -13) : Juxtaposition de la vitesse du son des différents milieux et cycles.

D'après la figure (III-13) on remarque que le béton conservé dans l'eau au laboratoire (éprouvettes témoins) présente la vitesse de son la plus élevée ce qui signifie un béton plus dense, cependant les bétons immergés cycliquement dans l'eau de la nappe phréatique présentent des résultats différents, plus la durée du cycle augmente plus la vitesse augmente.

A l'âge de 60 jours, on remarque que la vitesse de son augmente avec la durée du cycle, constat confirmé par les résultats de comparaison de résistance à la compression au même âge soit 60 jours.

#### III.1.4 Essai d'absorption capillaire :

Les essais ont été effectués au laboratoire LTPS d'Ouargla, sur cinq séries d'âge 30 et six séries d'âge 60 jours des deux éprouvettes ( $7 \times 7 \times h = \text{var}$ )  $\text{cm}^3$ , ces séries ont été conservées dans deux milieux différents (eau nappe phréatique et témoins). Les résultats obtenus sont représentés dans les histogrammes suivants:

##### - Absorption capillaire à l'âge de 60 jours :

La figure (III -15) montre que les éprouvettes immergées cycliquement dans l'eau de la nappe phréatique à différents cycles soient : 1, 3, 7, 14 et 30 jours, absorbent respectivement 9.02, 10.05, 11.81, 11.97 et 11.2  $\text{g/cm}^2$  dépassent les éprouvettes témoins de 2.18, 3.21, 4.97, 5.13 et 4.36  $\text{g/cm}^2$  l'équivalant d'une augmentation d'absorption de 31.87%, 46.93%, 72.66%, 75% et 63.74% comparativement au béton témoin.

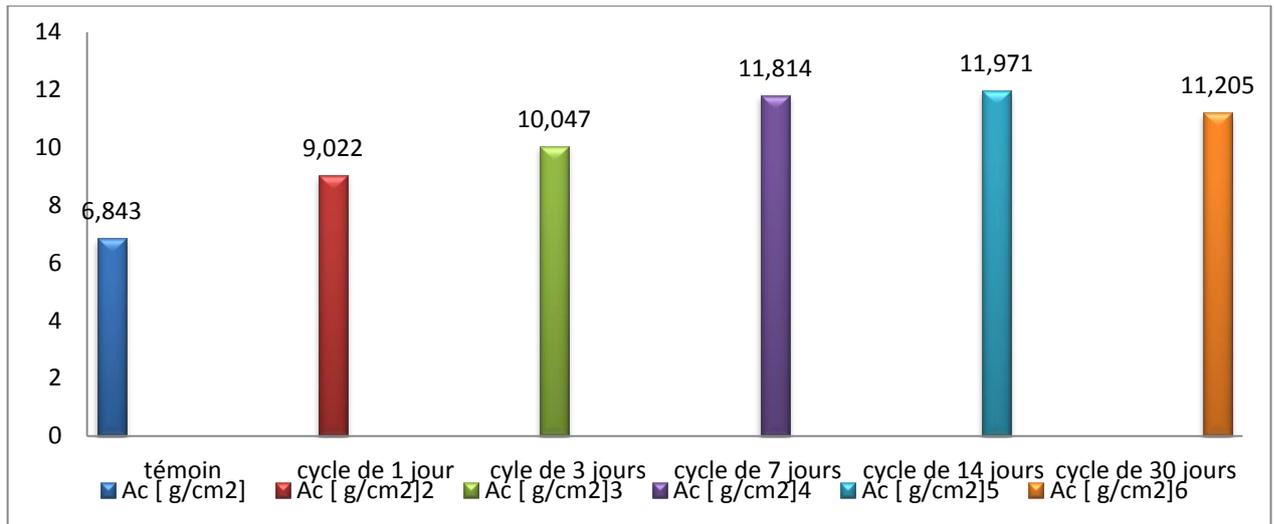


Figure (III - 14): Résultat de l'essai d'absorption capillaire à 60 jours d'âges.

Ces résultats indiquent que le béton immergé d'une façon cyclique dans l'eau de la nappe phréatique est plus poreux que le béton témoin.

L'absorption est d'autant plus élevée que la durée du cycle d'immersion est élevée. Ces résultats concordent avec ceux de la vitesse de son.

#### III.1.4. Mesure de la carbonatation :

Les essais ont été effectués au laboratoire LTPS d'Ouargla, sur deux séries des éprouvettes d'âge 30 et 60 jours ( $7 \times 7 \times h = \text{var}$ )  $\text{cm}^3$ , les séries ont été conservés dans deux milieux différents (l'eau de la nappe phréatique et témoins). Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau (III - 1) : Résultats d'essai de carbonatation

Milieu de conservation	Nappe phréatique	témoin
Profondeur (mm)	0	0

D'après les résultats du tableau (III - 1), on remarque que les essais de la carbonatation effectués sur le béton conservé dans l'eau de la nappe phréatique donnent des résultats positifs.

Le béton à base de ciment CRS ne présente aucun risque quant à la carbonatation lorsqu'il est immergé entièrement dans la nappe ou immergé d'une façon cyclique.

# CONCLUSION GENERALITE

## CONCLUSION GENERALE

### 1. Conclusion :

Dans le cadre de cette étude les points de conclusion suivants peuvent être émis :

- a- nous avons pu résumer dans la bibliographie la notion d'effet cyclique de la nature sur les constructions en béton notamment l'effet de séchage-mouillage, et le type de dégradation qu'il peut causer sur le béton le mécanisme de détérioration, physique, mécanique ou chimique.
- b- Le bilan hydrique de la nappe phréatique montre une fluctuation saisonnière et même quotidienne qui menace les parties enterrées des structures en béton.
- c- Les résultats des essais de la résistance à la compression ont montré que le risque sur le béton est plus élevé lorsque le cycle de l'immersion est assez court que lorsque ce cycle est plus long, malgré que le béton testé est confectionné à la base d'un ciment résistant aux sulfates.
- d- Les résultats des essais de la résistance à traction par flexion ainsi que l'osculation dynamique et l'absorption capillaire ont montré un comportement différent à ce lui de la résistance à la compression. Et où l'explication est encore méconnue, vue le manque de moyens et du temps pour reconfirmer ou infirmer ces résultats.
- e- L'essai de carbonatation à la phénolphthaléine sur le béton testé s'avère vaine ce qui indique que l'immersion cyclique n'a pas d'effet sur la carbonatation du béton.

### 2- Recommandations :

Dans le cadre de cette étude nous recommandons ce qui suit :

- a- Tenir compte du risque de la fluctuation de la nappe pour les structures en béton notamment les zones qui sont en contact directe avec la nappe et où ce phénomène est assez fréquent.
- b- Malgré que le ciment CRS est un ciment qui résiste dans les milieux agressifs, l'effet cyclique est à craindre. Ceci nécessite la recherche d'un ciment adéquat à ce genre d'effets cycliques.

### **3. Perspectives :**

Pour la poursuite cet axe de recherche, nous recommandons les perspectives ci-après :

- a- Etude de l'effet cyclique de l'immersion dans le milieu agressif à long termes plus d'une année.
- b- Etude de l'incorporation d'ajouts minéraux dans le béton exposé aux effets cyclique de tels milieux.

# Références bibliographiques

## Bibliographie

- [01] "la durabilité des bétons"; (presse de l'école des ponts et chaussées ; Paris 1992
- [02] ABIMOULOUD.Y, "contribution à l'analyse de l'effet du type et durée de cure sur la qualité du béton en climat chaud", mémoire de magistère, université de Chlef 2004.
- [03] .STEOPOE. AL La durabilité du béton, EYROLLES éditeur Parie 1970.
- [04] MACHRI B, "influence de la nappe phréatique sur les ouvrages hydrauliques et génie civil", mémoire de magistère, université d'Ouargla 2009.
- [05] ROUVILOISE et BRIGOLE, "Le pays de Ouargla" (Sahara Algérienne).
- [06] "Études D'assainissement Des Eaux Résiduaires, Pluviales Et D'irrigation. Mesures Complémentaires De Lutte Contre La Remontée De La Nappe Phréatique"(mission II- Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau), juillet 2002, Bureau d'études B.J suisse.
- [07] Mémoire de fin d'étude d'ingénierie de Garib A/Alaziz, 2007, département géologie, Université Kasdi Merbah Ouargla
- [08] J DUBIEF, "Le climat du Sahara", tome II fascicule I ; édition Alger ; 1963
- [09] FRANLAB; "Etude et gestion des ressources en eau du Sahara septentrional", volume I, pour UNESCO, 1972.
- [10] Cornet A; "Données sur l'hydrologie Algérienne, les eaux du crétacé inférieur, le continental dans le Sahara Algérien"; 1952.
- [11] "Etudes D'assainissement Des Eaux Résiduaires, Pluviales Et D'irrigation. Mesures Complémentaires De Lutte Contre La Remontée De La Nappe Phréatique"(mission IA reconnaissance et diagnostic de l'assainissement), juillet 2002, Bureau d'études B.J suisse.
- [12] LELIEVRE R F, "Assainissement de la cuvette de Ouargla, étude hydrogéologie d'ensemble et première synthèse" ; rapport N°2 1969, Alger.
- [13] MEZOUAR B et SALHI H; "Etude des possibilités de réutilisation des eaux de drainage de la palmeraie de Ouargla" ; PFE ENFSAS 1995.
- [14] hydrologie – Andrée moussé
- [15] ONM. (2000) Office National de la Météorologie, synthèse de données climatiques
- [16] service météorologie Ouargla
- [17] Système aquifère du Sahara Septentrional. Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) Octobre 2003.
- [18] Rapport des activités mensuelles de la direction de l'hydraulique de la wilaya de Ouargla (DHW Ouargla) du 1985 au 2008
- [19] (DHW-Ouargla, 1968) Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
- [20] ADAM.M "propriétés des bétons"; centre de recherches interuniversitaire sur le béton université SHERBOOK; édition EYROLLES,
- [21] Cyclic Wetting and Drying and its Effects on Chloride Ingress in Concrete--Katherine Hong-University of Toronto
- [22] Guide d'utilisation du béton en site maritime -- cent centre d'Etudes techniques maritimes et fluvialesre
- [23] Engineered interfaces in fiber reinforced composites Jang-kyo KIM; Yiv-WING MAI; edition TECHNOMIC, 1985

- [24] -ANRH Ouargla
- [25] Norme Européenne NF EN 932-1, Déc. 1996, "Essai pour Déterminer les Propriétés générales des Granulats –Partie 1 : Méthodes d’Échantillonnage ", Éditions AFNOR, Paris, 1996.
- [26] Norme Européenne NF EN 932-2, Août 1999, "Essai pour Déterminer les Propriétés générales des Granulats –Partie 2 : Méthodes de Réduction d’un Échantillon de Laboratoire", Éditions AFNOR, Paris, 1999.
- [27] Norme Européenne NF EN 933-2, Mai 1996, "Essai pour Déterminer les Caractéristiques Géométriques des Granulats – Partie 2 : Détermination de la Granularité – Tamis de Contrôle, Dimensions Nominales des Ouvertures ", Éditions AFNOR, Paris, 1996.
- [28] Norme Européenne NF EN 933-1, Déc. 1997, "Essai pour Déterminer les Caractéristiques Géométriques des Granulats – Partie 1 : Détermination de la Granularité – Analyse Granulométrique par Tamisage ", Éditions AFNOR, Paris, 1997.
- [29] Norme Européenne NF EN 933-1, Déc. 1997, "Essai pour Déterminer les Caractéristiques Géométriques des Granulats – Partie 1 : Détermination de la Granularité – Analyse Granulométrique par Tamisage ", Éditions AFNOR, Paris, 1997.
- [30] ROZIERE.E et CUSSIGH.F, "méthodologie d'application du concept de performance Équivalent e des bétons"; document élaboré sous la fédération nationale des travaux publics.
- [31] Yamani L, « cours de construction (1) » Edition OPU, Alger 1993.
- [32] Norme Française P 18-597, Déc. 1990, "Granulats –Détermination de la Propreté des sables : Équivalent de Sable à 10 % de Fines ", Éditions AFNOR, Paris, 1990.
- [33] Norme Française P 18-555, Déc. 1990, "Granulats – Mesures des Masses Volumiques, Coefficient d’Absorption et Teneur en Eau des Sables", Éditions AFNOR, Paris, 1990.
- [34] Norme Française P 18-591, Sept. 1990, "Granulats –Détermination de la Propreté Superficielle ", Éditions AFNOR, Paris, 1990.
- [35] Norme Française P 18-573, Déc. 1990, "Granulats –Essai Los Angeles", Éditions AFNOR, Paris, 1990.
- [36] Norme Française XP P 18-303, Août. 1999, "Eau de Gâchage pour Béton", Éditions AFNOR, Paris 1999.
- [37] Clauses Techniques: C.T. 7/75 ”, GRAND –DUCHE de Luxembourg, Ministère des Travaux Publics, Commission Permanente de Normalisation des Matériaux de Construction, [en ligne], 2004
- [38] Norme Européenne NF EN 1008, Juil. 2003, "Eau de Gâchage pour Bétons – Spécifications d’Échantillonnage, d’Essai et d’Évaluation de l’Aptitude à l’Emploi, y compris les Eaux des Processus de L’Industrie du Béton, telle que l’Eau de Gâchage pour Béton", Éditions AFNOR, Paris, 2003.
- [39] Kedjour N, " Propriétés et Pathologie du Béton ", Editions OPU, Alger, 1993.
- [40] SMOLCZYK.H, "chemical reactions of strong chlorides-solutions with concrete", Proc 5<sup>th</sup> international symposium on the chemistry of cement; Tokyo 1968.
- [41] Norme Européenne NF EN 12350-2, Déc. 1999, "Essai pour Béton Frais –Partie 2: Essai d’Affaissement ", Éditions AFNOR, Paris, 1999.
- [42] Norme Européenne NF EN 12390-1, Oct. 2001, "Essai pour Béton Durci –Partie 1: Forme, Dimensions et autres Exigences relatives aux Éprouvettes et aux Moules ", Éditions AFNOR, Paris, 2001.

- 
- [43] Norme Française NF P 18-404, Déc. 1981, "Bétons – Essais d’Etude, de Convenance et de Contrôle –Confection et Conservation des Eprouvtes ", Edition AFNOR, Paris, 1981.
  - [44] Norme Française NF P 18-407, Déc. 1981, "Bétons –Essai de Flexion ", Éditions AFNOR, Paris, 1981.
  - [45] Norme Européenne NF EN 12390-3, Fév. 2003, "Essai pour Béton Durci –Partie 3 : Résistance à la Compression des Éprouvtes ", Éditions AFNOR, Paris, 2003.
  - [46] Norme Française P 18-418, Déc. 1989, "Béton –Auscultation Sonique, Mesure du Temps de Propagation d’Ondes Soniques dans le Béton", Éditions AFNOR, Paris, 1989.
  - [47] Neville Adam. M., " Propriétés des Bétons ", Éditions Eyrolles, Paris, 2000,
  - [48] GORISSE.F; "essais et contrôles des bétons" Editions Eyrolles, Paris, 1978-
  - [49] Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Matériaux - Génie Civil Bâtiment - Environnement - Patrimoine Bâti



Photo(II-1) : malaxage du béton



Photo(II-2) : béton malaxé



Photos (II-3): moules prismatiques d'éprouvettes.



Photo(II-5) : le milieu de conservation des éprouvettes d'étude.



Photo(II-6): résultat d'essai de carbonatation.



Photo(II-7) : machine d'essai à la compression et Traction.