

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE D'EL-OUED

Faculté des sciences et technologie

Département sciences et technologie

Filière d'hydraulique



MEMOIRE

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme de licence en Hydraulique
urbaine**

**EFFET DES SULFATES SUR LA
DEGRADATION DES OUVRAGES
HYDRAULIQUES**

Dirigé/encadré par:

-M. Tarek DJEDID

Réalisé/Présenté par :

-ZIDI Yahya

-DJOURNI Mohammed bachir

Promotion /session : 2013/2014



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à :
l'esprit de ma mère
mon cher père

À mes très chères frères.

À toute la famille de <<DJOURNI >>

À tous mes amis

*Qui 'm'ont soutenu tout au long de mon parcours
universitaire mon chère CHOUAIB, BRAHIM, AHMED*

*À tous mes collègues de la promotion et à mes
Enseignants*

*Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin
à accomplir ce travail*

D.MOHAMMED BACHIR



Dédicace

Je tiens à dédie ce modeste travail :

À mes très très chers parents .

À mes très chères frères.

À toute la famille de <<ZIDI >>

À tous mes amis

*Qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours
universitaire*

CHOUAIB, BRAHIM ET AHMED

*À tous mes collègues de la promotion et mes
Enseignants*

*Et à tous qui m'ont aidé de près ou de loin
à accomplir ce travail*

Z.YAHYA

RESUME

Le taux élève des sulfates dans le sol et les eaux de la nappe phréatique sont les causes principales de la dégradation des ouvrages hydrauliques qui provoque le gonflement du béton et sa fissuration. Dans le cadre de ce travail nous avons procédé à la réalisation d'un état de lieu où on a clarifié la gravité causée par les sulfates sur les ouvrages Hydraulique, notre contribution passe par les points suivants:

- Présentation de quelques ouvrages dégradés
- Montré l'agressivité des sulfates sur les ouvrages
- Donné une conclusion et des recommandations

de quelques ouvrages qui ont subi une dégradation dans la région d'El-Oued (Sud Est de l'Algérie), cette étude est réalisée après des recherches bibliographiques qui portent essentiellement sur le phénomène de dégradation des ouvrages en béton armé sous l'effet des sulfates et son diagnostic et expliqué les méthodes de réparation et de prévention pour rendre l'ouvrage capable de fonctionner.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.01: représente les actions entrepris en matière de réhabilitation et rénovation des ouvrages hydraulique de cette région:	01
Tableau 2: Données climatiques de la région d'Oued Souf (1996-2006)	08
Tableau03 : <i>Analyses</i> physico- chimiques du sol	11
Tableau04 : Analyses physico- chimiques des eaux de la nappe phréatique	12

LISTE DES FIGURES

Fig.1.1- Localisation géographique de la zone d'étude	<i>05</i>
Fig. 1.4- Zone alimentation de la napperéattique et le sensd'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006)	<i>07</i>
Photo.01.: Perforations au niveau de plateforme	<i>14</i>
Photo.02.: Traces de rouille sur voile en BA	<i>15</i>
Photo.03.: Trace de calcite de couleur blanchâtreet fissurations au niveau de plateforme	<i>15</i>
Photo.04: Fissure axiale sur un poteau en BA	<i>16</i>
Photo.05.: Corrosion de quelques armatures apparentes de lacoupole inferieure de la cuve	<i>16</i>
Photo.06.: Eclatement du béton en certains endroits de la coupole inferieure	<i>17</i>
Photo.07.: Traces d'infiltration d'eaux colmatées par le temps au niveaudela coupole inferieure de la cuve et des éléments structuraux	<i>17</i>

SOMMAIRE

<i>Introduction general</i>	
CHAPITRE I : GELERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE	
I.1. INTRODUCTION	03
I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE	03
I.3 .ETUDE DU SOL	06
I.4.SITUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE	06
I.5. PARAMETRES CLIMATIQUES	08
I.5.1- Températures	08
I.5.2—Précipitations	08
I.5.3- Vents:	9
CHAPITRE II : ANALYSES PHYSICO- CHIMIQUES DU SOL ET DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE	
II.1. INTRODUCTION	11
II.2 .Analyses physico- chimiques du sol	11
II.3. Analyses physico- chimiques des eaux de la nappe phréatique	11
CHAPITREIII : EFFET DES SULFATES SUR LA DEGRADATION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES	
III.1. INTODUCTION	14
III.2. Présentation de quelques ouvrages dégradés dans la zone d'étude	14

<i>III.3. Mécanismes de la dégradation sous l'effet des sulfates</i>	17
III.3.1. Forme Et Provenance Des Sulfates	18
III.3.2. Mécanismes De Base	18
III.3.2.1. Expansion	18
III.3.2.2 perte des propriétés liantes des C-S-H	19
III.4. Corrosion par acide bactérienne	19
Conclusion générale	

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE:

Les régions d'El Oued (SUD-EST Algérien) souffrent depuis plusieurs années des Problèmes environnementaux et écologiques causés par beaucoup de sels à la terre et aux eaux. L'impact néfaste de ce phénomène se manifeste par :

- la dégradation des ouvrages hydrauliques.
- La dégradation des structures voir leurs fondations.
- Menace la santé de l'êtres humains.

A ce propos, notre étude s'est axée sur l'impact de l'effet des sulfates sur la dégradation des ouvrages hydraulique. Parmi les conséquences de présence des sulfates en abondance dans l'eau et dans le sol, les ouvrages hydrauliques de la zone de la cuvette d'El Oued ont connu un nombre important de réhabilitation et rénovation en d'hors des délais habituelles de leur durée de vie. Le même problème est rencontré dans la région de Ouargla à titre d'exemple Le tableau suivant représente les actions entrepris en matière de réhabilitation et rénovation des ouvrages hydraulique de cette région:

Tableau.01: représente les actions entrepris en matière de réhabilitation et rénovation Des ouvrages hydrauliques de cette région (bureau d'étude technique suisse BG, 2002_2008)

Commune	Réseaux d'assainissement		Réservoir	
	Longueur (m)	Montant (DA)	Type	Montant (DA)
Ouargla ville	21124	214.156.672,00	Surélevé	109.576.866,00
Rouissat	3183	44.179.340,00	Surélevé	19.802.674,00
Ain Beida	9112	18.791.110,00	Surélevé	26.500.000,00

Le but de ce travail est de connaitre de façon approfondie l'effet du sulfate sur la dégradation des ouvrages hydrauliques comme les réservoir , réseau d'assainissement...ect.

La structure de notre mémoire est axée sur les point suivants:

Le premier chapitre traite une recherche bibliographique concernant des connaissances générales sur la zone d'étude aussi que la provenance de ces agents chimiques dans cette

région , de plus le deuxième chapitre donne des chiffres qui confirment que cette région est infectée par les sulfates ,le troisième chapitre élabore quelques ouvrages dégradés ainsi que le mécanisme des réactions de cet agent chimique avec le béton et on a finalise par une conclusion générale.

INTRODUCTION

GENERALE

CHAPITRE I : GELERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE

I.1. INTODUCTION:

Le paysage traditionnel du souf est marqué par la beauté. BeautéSpécifique, car l'originalité du souf, établissement humain crée dansUn erg, est grand. Mais sa splendeur n'est pas seulement dans leMouvement des dunes ocres ou blanches de l'erg, elle est aussi dans uneCréationhumaine, inattendue. El Oued: la ville aux mille coupes, Capitale du Souf, son architecture s'y distingue de celle des autresvilles sahariennes. Au lieu des terrasses, ce sont des coupes quiCouvrent les maisons. Mais ses efforts ne sont pas vains car L'enseillement est maximum.

I.2.SITUATION GEOGRAPHIQUE:

La ville d'Oued Souf, la commune la plus agglomérée, est le chef-lieuDe d'El-Oued, l'une de principales oasis du Sahara septentrional Algérien Dans l'Erg oriental. Elle est située au Sud-est de l'Algérie à environ700 Km au Sud-estd'Alger et à 350 Km à l'Ouest de Gabes(Tunisie), au Nord-est du Saharaseptentrional. La ville couvre une Superficie totale de 40 km².La wilaya est limitée :

- au Nord par la wilaya de Khenchela,

- au Nord-est par la wilaya de Tébessa,

- au Nord-ouest par la wilaya de Biskra,

- à l'Ouest par la wilaya de Djelfa,

- au Sud et à l'Ouest par la wilaya d'Ouargla,

- à l'Est par la Tunisie.

Quant à elle, La ville d'El Oued est limite au Nord par la commune de Kouinine, au Sud par la commune de Bayadha, à l'Est par la commune de Trifaoui et à l'Ouest par la commune de Oued Alenda (*Fig.1.1*).

Cette ville s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarck 1880) suivantes:

X = 298000 m ; Y = 3690000 m

X = 304000 m ; Y = 3698000 m

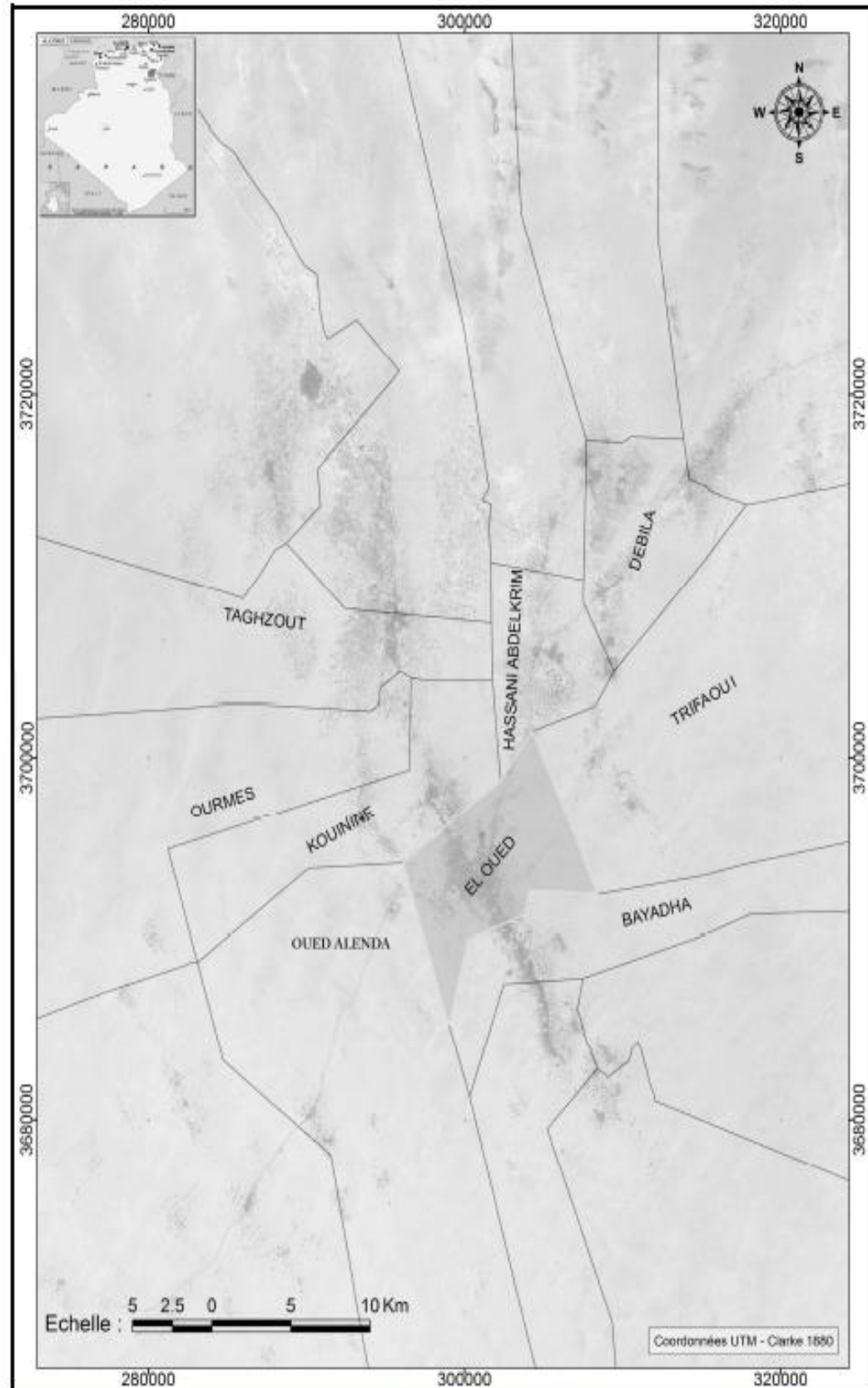


Fig.1.1- Localisation géographique de la zone d'étude

1.3 .ETUDE DU SOL:

D'un point de vue géologique, la stratigraphie de la région est caractérisée par des formations sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux dépôts quaternaires. Les formations du

Quaternaire, récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisés particulièrement dans la partie

Nord-Est où il se termine par une croûte gypseuse, son substratum est argileux imperméable parfois très peu sableux à son sommet ou alors gypsifère en totalité. Le relief est caractérisé par l'existence de trois principales formes:

- a) Une région sableuse : qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahara.
- b) Une forme de plateaux rocheux : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- c) Une zone de dépression : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est et l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

1.4.SITUATION DE LA NAPPE PHREATIQUE:

La nappe phréatique partout dans le Souf, repose sur le plancher argilo-gypseux du Pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface du sol, ne dépasse pas une profondeur moyenne de plus de 40 m de sable non aquifère. L'alimentation de la nappe phréatique dans la zone d'étude est assurée par l'infiltration des eaux de forages profonds (Complexe Terminal et Continental Intercalaire) et par les rares et faibles précipitations typiquement sahariennes. Les études passées montrent d'une manière générale,

Comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe libre suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord (Fig.1.4). L'aquifère quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 m. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulai et se situe à moins de 10 m de profondeur à l'extrémité Nord-est de la région d'étude. Cette nappe a engendré un problème néfaste pour l'environnement dans certaines zones de la vallée. La nappe monte dans les zones de recharge, sous les Agglomérations et baisse dans les zones irriguées à partir de la nappe phréatique.

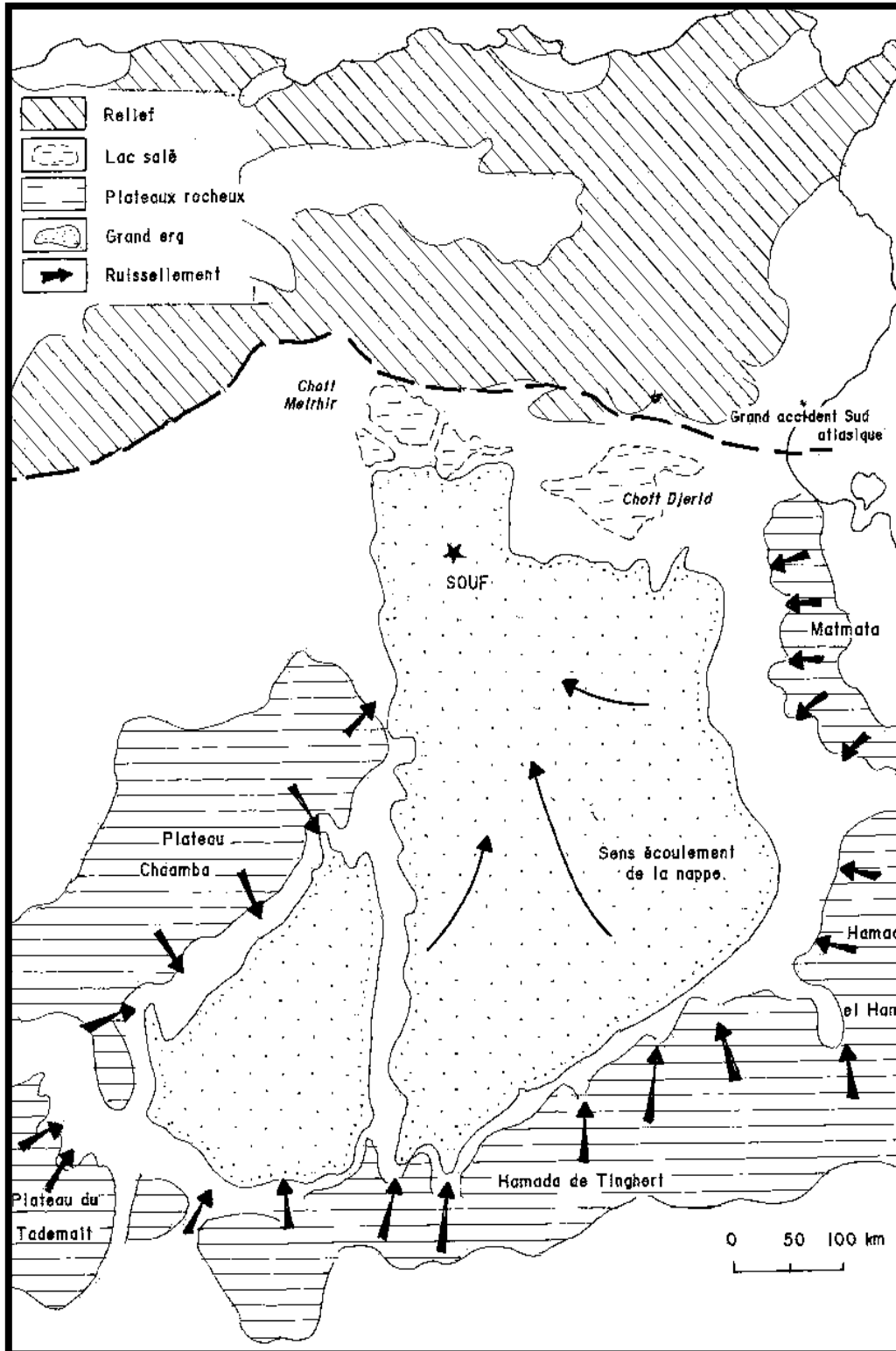


Fig. 1.4- Zone alimentation de la nappéeattique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006)

I.5. Paramètres climatiques:

Le Tableau 2 - Données climatiques de la région d'Oued Souf (1996-2006)

<i>paramètre Mois</i>	<i>Température</i>			<i>Précipitation (mm)</i>	<i>Vent (m.s-1)</i>
	<i>Tmin°C</i>	<i>Tmax°C</i>	<i>Tmoy°C</i>		
<i>Janvier</i>	<i>5,33</i>	<i>16,77</i>	<i>10,87</i>	<i>12,07</i>	<i>2,78</i>
<i>Février</i>	<i>6,92</i>	<i>19,12</i>	<i>12,74</i>	<i>4,68</i>	<i>2,72</i>
<i>Mars</i>	<i>10,78</i>	<i>24,24</i>	<i>17,48</i>	<i>5,27</i>	<i>3,80</i>
<i>Avril</i>	<i>15,43</i>	<i>28,70</i>	<i>21,22</i>	<i>8,22</i>	<i>4,18</i>
<i>Mai</i>	<i>19,09</i>	<i>33,14</i>	<i>26,14</i>	<i>2,31</i>	<i>4,54</i>
<i>Juin</i>	<i>23,87</i>	<i>38,35</i>	<i>31,18</i>	<i>2,29</i>	<i>4,02</i>
<i>Juillet</i>	<i>26,78</i>	<i>41,53</i>	<i>34,23</i>	<i>0,82</i>	<i>3,80</i>
<i>Août</i>	<i>26,74</i>	<i>41,04</i>	<i>33,80</i>	<i>3,94</i>	<i>3,41</i>
<i>Septembre</i>	<i>22,57</i>	<i>33,81</i>	<i>28,33</i>	<i>9,66</i>	<i>3,52</i>
<i>Octobre</i>	<i>17,56</i>	<i>29,99</i>	<i>23,27</i>	<i>10,41</i>	<i>2,27</i>
<i>Novembre</i>	<i>11,28</i>	<i>22,52</i>	<i>16,41</i>	<i>12,50</i>	<i>2,39</i>
<i>Décembre</i>	<i>6,52</i>	<i>17,22</i>	<i>11,77</i>	<i>8,63</i>	<i>2,65</i>
<i>Moyenne</i>	<i>16,07</i>	<i>28,87</i>	<i>22,29</i>	<i>80,79*</i>	<i>3,34</i>

(O.N.M. El OuedGuemar, 2006)

** Cumulé annuel*

I.5.1- Températures:

La température moyenne annuelle est de 22,29 °C, avec un maximum en Juillet de 34,23 °C (maxima moyen 41,53 °C), et un minimum en janvier de 10,87 °C (minima moyen 5,33 °C) (Tableau 1). Le Souf a des étés brûlants qui sont aussi durs que ceux qui s'observent dans le Sahara Central. En hiver par contre, les températures peuvent être très élevée, où le thermomètre indique jusqu'à 49 °C à l'ombre dans la journée pour n'enregistrer dans la nuit que 15 °C ou 16 °C. Cet écart ou amplitude est souvent aux environs de 30 °C ; situé dans les dernières dunes du grand Erg Oriental, (Voisin A.R, 1970; Najah A, 1970).

I.5.2-- Précipitations:

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, la moyenne annuelle de la région est de 80,79 mm/an (Tableau 2). D'après Du bief (1963), les précipitations sahariennes ont une origine différente selon les saisons. Dans le Souf, la pluviométrie assez capricieuse, satisfaisante dans l'ensemble, se produisent généralement de novembre à février. Le plus souvent fines et modérées, elles deviennent parfois torrentielles (Najah A, 1970).

I.5.3- Vents:

Selon le Tableau2, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toutel'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant démarrés jusqu'en Août, avec un maximum de 45,45 m.s-1 durant le mois de Mai.vents du secteur Est et Nord-Est prédominant, puis à un degré moindre ceux de direction Ouest et Sud-Ouest caractérisés par une température élevée dû au "Chih Ili" ou sirocco. Généralement, au printemps que les vents sont les plus forts (période de pollinisation des palmiers), ils sont chargés de sables éoliens donnant auciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'a trois jours consécutifs avec une vitesse allant de 150 à 180 Km / h.

CHAPITRE II : ANALYSES
PHYSICO- CHIMIQUES DU
SOL ET DES EAUX DE
LA NAPPE PHREATIQUE

**CHAPITRE II: ANALYSES PHYSICO- CHIMIQUES DU SOL ET DES EAUX
DE LA NAPPE PHREATIQUE:**

II.1. INTRODUCTION:

La durabilité des ouvrages hydrauliques est largement influencée par les éléments Chimiques agressifs que contient le sol ou les eaux de la nappe phréatique Nous proposons dans ce chapitre les taux d'agressivités des éléments chimiques qui se trouvent dans le sol aussi que les eaux souterraines

II.2. Analyses physico- chimiques du sol :

Les résultats des analyses chimiques sur des échantillons prélevés de Trois différents lieux de la zone d'étude sont présentés sur le tableau Suivant :

Tableau03:Analyses physico- chimiques du sol de quelques région d'El oued (2013)

Lieux de prélèvement	Classification du sol Selon la granulométrie	Analyses chimiques			
		<i>Insoluble</i>	<i>Sulfate</i>	La teneur en ion sulfate (SO ₄ ⁻⁻)	<i>Carbonate</i>
Cité de 8 Mai à Chott	<i>Gross sable</i>	82%	5%	2.78%	12%
Cité de 18 février à Reguiba	<i>Gross sable</i>	80%	8%	4.45%	10%
Guemar	<i>Sable moyen à Gros sable</i>	63 à 85 %	4 à 19%	2.22 à 10.56%	6 à 18%

Ces résultats montrent que le taux des sulfates est élevé dans le sol De la zone d'étude ce qui fait un impact néfaste sur les ouvrages hydrauliques et en Génie civil et par la suite diminue la durée de vie de ces derniers.

II.3. Analyses physico- chimiques des eaux de la nappe phréatique:

Tableau des Analyses physico- chimiques des eaux de la nappe phréatique :

Tableau 4 : des Analyses physico- chimiques des eaux de la nappe phréatique (2009) .

Propriétaire / Localisation	Ca ++ [mg/l]	Mg ++ [mg/l]	NH4 + [mg/l]	Cl - [mg/l]	SO4 -- [mg/l]	HCO3- [mg/l]	NO3 - [mg/l]	NO2 - [mg/l]	F - [mg/l]	TUR [NTU]	R s [mg/l]	TAC [mg/l]	TH [mg/l]	COND [micro S/cm]	Sal [%]	TDS [mg/l]	pH
BELAID (TIKSIBTE)	589,18	48,61	0,24	439,62	1600,00	34,16	16,70	0,32	1,35	0,21	7440	28	1670	2170	1,3	1240	8,12
GHARBI A. MADJID (KUIININE)	641,28	228,47	0,26	1418,12	1500,00	197,64	1,50	0,03	1,71	5,18	12120	162	2540	6020	3,8	3680	7,36
Station d'essence BEN BARDI (WAZITENE)	549,10	58,33	0,20	460,89	2100,00	32,94	15,80	0,08	1,64	0,15	7280	27	1610	3420	2,0	1973	8,20
P.P (DAWYA)	224,45	58,33	0,15	496,34	1100,00	35,38	2,30	0,10	0,57	1,38	3620	29	800	5000	3,0	2950	7,69
BEYA ALI (ROUTE TRIFAWI)	488,98	432,63	0,31	404,16	2300,00	48,80	28,10	0,01	1,56	0,08	7540	40	3000	3450	2,0	2050	7,67
MAAMRA MESSAOUD (CHOOT)	617,23	274,65	0,29	1425,21	1500,00	69,54	16,30	0,01	1,40	0,49	12620	57	2670	6440	4,0	3980	7,76
APC BAYADA	561,12	170,14	0,16	850,87	2300,00	113,46	48,60	0,13	1,25	0,15	8580	93	2100	4130	2,5	2410	7,57
Château d'eau chott	733,46	29,17	0,00	910,20	1876,00	52,46	16,46	0,01	1,61	0,80	4760	43	1950	5010	3,0	2940	7,71
CM Tiksept Nord	641,28	97,22	0,04	398,03	1773,00	183,00	46,49	0,00	1,34	1,15	4020	150	2000	3770	2,3	2270	7,80
Parc Wilaya	725,45	291,66	0,02	406,00	1746,00	158,60	57,56	0,02	0,67	0,54	3940	130	3010	3750	2,2	2180	7,42
Ecole nouvelle Tiksept ouest	625,25	167,70	0,01	355,98	1600,00	85,40	62,94	2,16	1,49	0,81	4280	70	2250	2720	0,8	1166	7,71
CM Tiksept Est	601,20	131,20	0,04	423,33	898,00	61,00	49,74	0,00	1,52	0,64	4040	50	2040	3920	2,3	2270	7,95
CM Ghendire Omar	617,23	104,51	0,15	1640,23	3363,00	51,24	64,65	0,05	1,83	0,26	6980	42	1970	7270	4,5	4390	7,43
Hôtel Louss	637,27	75,35	0,10	588,22	3373,00	420,00	47,81	0,01	1,51	0,21	5060	103	1900	5110	3,1	3010	7,31
CFPA 3	440,88	267,36	0,00	863,00	1344,00	768,60	10,79	0,07	0,74	0,33	3700	63	2200	3690	2,2	2150	7,78
CM Bachir Djab Alah	773,54	92,36	0,08	1013,00	1006,00	1305,40	56,79	0,02	1,65	0,31	5420	107	2310	4390	2,5	2710	7,45
Ecole Mouhamed Serouti	641,28	99,65	0,06	366,32	869,00	402,60	49,15	0,02	1,49	0,49	4120	33	2010	3330	1,9	1915	7,70
Ecole Maragni Kalifa Sahane 1	757,51	38,89	0,07	344,06	1907,00	101,26	97,19	2,84	1,44	1,93	5760	83	2050	4120	2,4	2350	7,57
DHW	541,08	279,51	0,00	523,00	1055,00	512,40	18,70	0,01	1,57	0,89	3340	42	2500	4430	2,7	2710	7,65
Ecole Touati Ahmed Moustapha 1	464,93	155,55	0,22	400,00	1703,00	109,80	85,96	0,12	1,34	1,05	3620	90	1800	3660	2,2	2140	7,50

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par laDissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est Faiblement soluble (7g/l dans les conditions normales). Les échantillons Prélevés ont des teneurs comprises entre 869 et 3373 mg/l, ils dépassent 2000 mg/l (valeur limite admissible), valeurs qui rendent cette eau non Potable (voir tableau des analyses ci-après)

CHAPITRE III : EFFET DES
SULFATES SUR LA
DÉGRADATION DES
OUVRAGES
HYDRAULIQUES

CHAPITRE III :Effet des sulfates sur la dégradation des ouvrages hydrauliques:

III.1. INTRODUCTION:

L'attaque par les sulfates peut dégrader très significativement le béton dans un laps de temps relativement court (10 à 15 ans). Les sulfates se trouvent en solution dans les eaux souterraines, dans les eaux usées industrielles et dans certains sous-produits industriels aussi. La plupart des sols contiennent des sulfates sous la forme de gypse (généralement

entre 0,01% et 0,05 % (sol sec) exprimés en SO_4). Ces concentrations relativement faibles ne sont généralement pas agressives pour le béton. Mais comme nous l'avons vu au chapitre précédent le sol et l'eau de la zone d'étude sont agressifs. Dans les eaux souterraines, les concentrations plus élevées en sulfates sont dues à la présence de sulfates de magnésium (MgSO_4), Les sulfates ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) et CaSO_4 .

III.2. Présentation de quelques ouvrages dégradés dans la zone d'étude:

Les constructions hydrauliques dans la zone d'étude souffrent de plusieurs altérations notamment sous l'effet de sulfate. On a présenté quelques dégradations concernant ces ouvrages.



Photo.01.:Perforations au niveau de plate forme



Photo.02.: Traces de rouille sur voile en BA

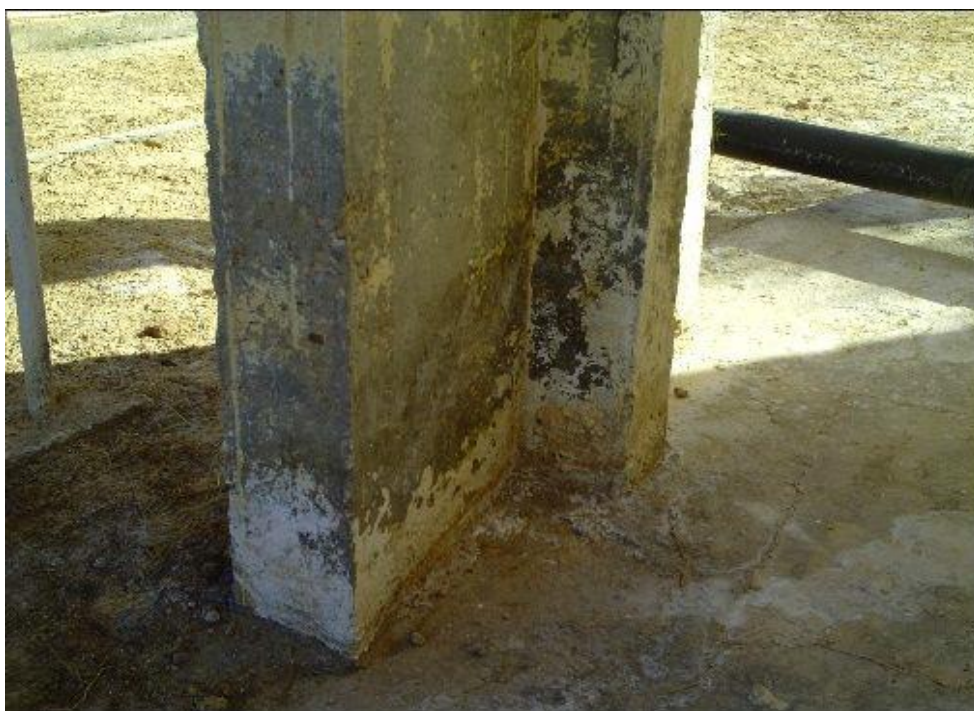


Photo.03.: Trace de calcite de couleur blanchâtre et fissurations au niveau de plateforme



Photo.04: Fissure axiale sur un poteau en BA



Photo.05.: Corrosion de quelques armatures apparentes de la coupole inferieure de la cuve



Photo.06.: Eclatement du béton en certains endroits de la coupole inférieure



Photo.07.: Traces d'infiltration d'eaux colmatées par le temps au niveau de la coupole inférieure de la cuve et de éléments structuraux

III.3.Mécanismes de la dégradation sous l'effet des sulfates:

La dégradation du béton provient le plus souvent de son attaque par les Agents chimiques :acides ou salins, contenus dans l'eau avec laquelle il est en contact, qui dissolvent la chaux du ciment en formant des composés nouveaux entraînant

l'érosion, le gonflement et l'éclatement des bétons.

III.3.1. Forme Et Provenance Des Sulfates

On peut retrouver les sulfates en solution dans les eaux souterraines, dans les eaux usées industrielles et dans certains sous-produits industriels. La plupart des sols contiennent des sulfates sous la forme de gypse (généralement entre 0,01% et 0,05 % (sol sec) exprimés en SO_4). Ces concentrations relativement faibles ne sont généralement pas agressives pour le béton.

- La solubilité du gypse dans l'eau à température normale est relativement faible (approximativement 1400 mg/litre). Dans les eaux souterraines, les concentrations plus élevées en sulfates sont généralement dues à la présence de sulfates de magnésium (MgSO_4) ou de sulfates alcalins (K_2SO_4 - Na_2SO_4). Les sulfates d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) se retrouvent fréquemment dans les sols et les eaux en milieux agraires.

L'activité agricole

Peut aussi générer différents types d'acides organiques (lactique, acétique, etc.)

- Les effluents des fours utilisant des combustibles riches en soufre et les effluents des Industries chimiques peuvent contenir de l'acide sulfurique.
- La décomposition des matières organiques dans les égouts, les silos ou dans les réservoirs d'entreposage peut conduire à la formation de H_2S (gaz) qui peut être transformé en acide sulfurique par l'activité bactérienne.

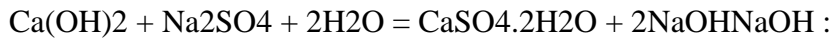
III.3.2. Mécanismes De Base

Les mécanismes de destruction sont fonction de la concentration et de la source des ions sulfates (le cation qui leur est associé) dans la solution d'eau externe ou dans la pâte de ciment. Les dégradations dues aux milieux selvatiques se font selon deux mécanismes simultanés et interactifs:

III.3.2.1. Expansion:

L'action des sulfates peut prendre la forme d'une expansion du béton suite à la formation de produits expansifs. Lorsque le béton se fissure, la perméabilité augmente et l'eau agressive peut pénétrer plus facilement, ce qui accélère le rythme de destruction. Ces expansions peuvent causer des dommages structuraux considérables. En formant l'étranger secondaire (l'ettringite primaire n'est pas expansive) Formation de gypse secondaire (substitution ionique entre la portlandite et les sulfates).

1/Cas du sulfate de sodium:



NaOH : Alcalinité élevée stabilisation des C-S-H.

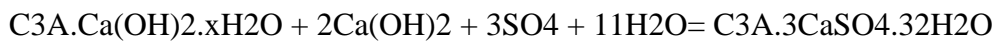
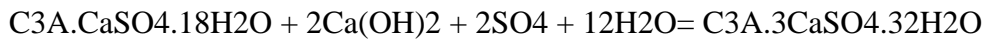
CaSO₄·2H₂O : Produit expansif mais qui se forme uniquement dans les espaces internes de la pâte de ciment hydraté, Dans la majorité des cas, pas ou peu d'expansion

2/Formation d'ettringite secondaire:

à partir du C3A anhydre résiduel:



à partir des aluminates hydratés:



- Dépendant de la composition de la solution interstitielle, (particulièrement de la concentration en portland te), la cristallisation de l'ettringite secondaire peut être expansive.

- La précipitation rapide de l'ettringite conduit à la formation de cristaux très fins (ettringite non fibreuse de nature colloïdale) dont le volume molaire est de 3 à 8 fois supérieures (suivant qu'il s'agit du C3A ou du C4AH13) au volume du solide initial.

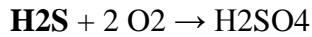
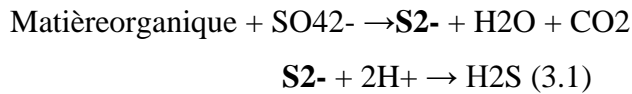
III.3.2.2 perte des propriétés liantes des C-S-H:

L'action des sulfates peut aussi engendrer une perte de résistance et une perte de masse du béton en surface, A cause de l'altération des propriétés liantes de certains hydrates. Causés par la dissolution des composés calciques du liant hydraté ,silicate de calcium hydratés C-S-H et l'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂= pentlandite ce qui conduit à un accroissement de la porosité du béton

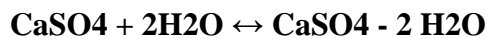
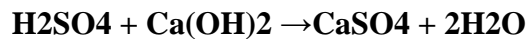
III.4. Corrosion par acide bactérienne

La corrosion par l'acide bactérienne est causée quand les bactéries anaérobies dans les regards convertissent le sulfate (SO₄²⁻) en sulfure (S²⁻), qui combine alternativement avec de l'hydrogène (H⁺) pour former le gaz de sulfure d'hydrogène (H₂S). En présence de l'oxygène de l'eau entrante ou de l'espace aérien dans le regard, le gaz de sulfure d'hydrogène

est converti en acide sulfurique (H₂SO₄) comme montré dans l'équation (3.1) (Metcalf et Eddy, 2003).



L'acide sulfurique est fortement réactif et réagit avec des composés de calcium dans le béton (par exemple Ca(OH)₂), donne la sulfate de calcium (CaSO₄) et eau (H₂O) comme montré dans l'équation (3.2) (Thomson, 2000). Typiquement le sulfate de calcium et l'eau sont dans l'équilibre avec le gypse comme montré dans l'équation (3.3) (Driver, 1988). La formation du gypse dans le béton par voie acide bactérienne fait ramollir le béton, finalement menant au regard pour s'effondrer.



Ce type d'attaque de soufre est le prédominant dans les systèmes regards. Le regard est un réacteur biochimique, où (sans oxygène) les réactions anaérobies transforment les solides en composés gazeux, qui sont principalement **CO₂** et **CH₄** (méthane). Dans les eaux usagées hautes en sulfate ou sulfure, les aciérissant aérobies produisent le sulfure d'hydrogène (le gaz H₂S) qui se lève dans l'espace aérien ouvert du regard (Thomson, 2000). L'humidité sur les parois latérales du béton laisse les bactéries aérobies et convertit le sulfure d'hydrogène en acide sulfurique, qui corrode le béton.

Conclusion générale

La dégradation des ouvrages hydrauliques dans la wilaya d'ELOUED due aux infiltrations et aux fuites des eaux ,aussi à l'existence d'un taux considérable des sulfates dans le sol et dans les eaux de la nappe phréatique en milieu fortement acide, cette action a ngendré plusieurs désordres comme l'éclatement et la fissuration du béton, taches de rouille, corrosion des armatures...Ces dégradations auraient pu être évitées si des mesures simples auraient été prises des la conception(enrobage suffisant, protection des armatures,utilisation de ciment spéciaux etc.).

Le présent travail décrit une méthode explicative pour la compréhension de ce phénomène qui devra atteindre au service des entreprise et aux bureaux d'étude.

bibliographiques

-01- : Par **Abdel-Monem MILOUDI** : Mécanismes et remèdes de phénomène de remontée des eaux dans la région d'Oued Souf .

-02- : Melle **BENSEKRANE Kaoutar** : Durabilité des ouvrages en béton destinés à l'évacuation des eaux usées dans la vallée de ouargla .

-03- : **Tarek DJEDID**: etude de l'effet de la corrosion des armatures sur la durabilité des ouvrages en beton arme.

-04- archives de l'ADE centre d'el oued