

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



Mémoire

**PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MAGISTER**

Spécialité : Génie Civil

Option : Géo/Matériaux

Présenté par :

Mr : BOUMEHRAZ Mohammed-Amin

THEME :

*Contribution à l'étude de la durabilité
des conduites en ciment et en PRV sous
les eaux usées de la région de Ouargla.*

Soutenu publiquement le : 25 / 06 / 2014

Devant le jury d'examen:

BEBBA A. Abdelhafid	MC Université de Ouargla	Président
HACINI Messaoud	Pr Université de Ouargla	Examineur
TATI Abdelouahab	MC Université de Biskra	Examineur
KRIKER Abdelouahed	Pr Université de Ouargla	Encadreur
ABIMOULOUD Youcef	MAA Université de Ouargla	Co-encadreur
BAALI Brahim	ING. DG MAGHREB PIPE	Invité

Année Universitaire : 2013 / 2014



REMERCIEMENT



- ✚ *Je remercie avant tout Allah de m'avoir gardé en bonne santé afin de mener à bien ce projet de Magistère, et je remercie également ma famille.*
- ✚ *Je remercie mon encadreur Mr. KRIKER Abdelouahed, Professeur à l'université de KASDI MERBAH de Ouargla, pour ses orientations et ses précieux conseils.*
- ✚ *Je remercie mon Co-encadreur Mr. ABIMOULOUD Youcef, maître assistant classe A à l'université de KASDI MERBAH de Ouargla, qui m'a témoigné de sa confiance et de son aide scientifique pour réaliser ce travail.*
- ✚ *Je remercie tous le président de jury qui m'a honoré de bien vouloir présider cette soutenance.*
- ✚ *Je remercie également les membres de jury qui vont sans doute m'honorer par leurs remarques précieuses et d'avoir examiner de près ce mémoire.*
- ✚ *Je remercie les éléments de laboratoire d'exploitation et valorisation de ressources naturelles en zone arides (E.V.R.N.Z.A).*
- ✚ *Je remercie le directeur de l'usine de MAGHREB PIPE à la wilaya de M'sila Mr.Brahim BAALI, chef de labo de l'usine Mr.Riyade BENSAADIA, et tous les ingénieurs du labo surtout soufiane et madjide.*
- ✚ *Je remercie aussi tous les personnels de la direction de l'office nationale d'assainissement (ONA), et surtout les éléments de la station d'épuration de Ouargla (STEP).*
- ✚ *Mes remerciements vont également à l'ensemble des personnels des laboratoires :*
 - ✓ *Laboratoire des travaux publics sud (LTPS) unité de Ouargla.*
 - ✓ *Laboratoire étude et contrôle (LEC).*
 - ✓ *laboratoire d'algérienne des eaux (ADE), unité de Ghardaïa,*



MOHAMMED AMIN BOUMEHRAZ





Dédicaces



Je dédie ce travail :

✚ A ma **MERE** Ma plus chère mère qui m'a soutenu et encouragé durant
Toute ma vie.

✚ Je demande pour mon **Père** la miséricorde divine.

✚ A mes très chères soeurs : **Nawel et Marwa**

✚ A mon neveu : **Adam**

✚ A toute la famille et surtout : **Naji**

✚ A mon encadreur.

✚ A mon Co-encadreur.

✚ A tous mes amis et surtout : **Aimade, Haroune, Fatima, Naima,
Alaadine.**

✚ A tous mes amis de la promotion magistère Génie Civil 2011.

✚ A tous mes amis de la promotion d'ingéniorat Génie Civil 2010.



MOHAMMED AMIN BOUMEHRAZ



المخلص :

كثيرة هي الأضرار الملحوظة على شبكات الصرف الصحي (القنوتات و المناهل) في منطقة ورقلة، بسبب نوعية الخرسانة المنجزة ونوعية الأنابيب المستعملة، وغالبا ما تكون غير قادرة على الصمود تحت تأثير العوامل العدوانية الكيميائية وهذا ما يؤثر على ديمومتها، ونعني بالديمومة هنا قدرة العنصر أثناء الخدمة على مقاومة مختلف العوامل المناخية أو غيرها (التغيرات في درجة الحرارة و الرطوبة ، عمل مختلف الغازات في الهواء و الأملاح الذائبة في الماء).

الهدف من هذا البحث هو دراسة ديمومة أنابيب شبكات الصرف الصحي في منطقة ورقلة تحت تأثير العوامل العدوانية (وخاصة غاز H_2S) للقيام بذلك ، أخذنا عينات من الاسمنت و أنابيب البلاستيك المدعومة بالألياف الزجاجية (PRV) من أجل دراسة ديمومتها في وسط حقيقي و مقارنة النتائج المتحصل عليها بنتائج عينات في وسط مثالي.

ووفقا لهذه الدراسة، فإننا استنتجنا أن الخرسانة تتميز بديمومة ضعيفة داخل شبكات الصرف الصحي، كما لاحظنا أنها تتدهور بسرعة تحت تأثير غاز H_2S ، و بالمقابل نلاحظ أن أنابيب البلاستيك المدعومة بالألياف الزجاجية (PRV) تتميز بمقاومة جيدة تحت تأثير مياه الصرف الصحي وغاز H_2S .

الكلمات المفتاحية : الديمومة، المقاومة الميكانيكية، أنابيب البلاستيك المدعومة بالألياف الزجاجية (PRV)، أنابيب الاسمنت، مياه الصرف الصحي، غاز H_2S .

Résumé :

Plusieurs dégradations ont été constatées sur les réseaux d'assainissements (conduites et regards) dans la région de Ouargla, à cause de la qualité du béton produit et le type de conduites utilisées, qui n'arrivent pas à résister aux agents chimiques agressifs du milieu là où ils sont implantés ce qui touche directement à leur durabilité, terme qui signifie le pouvoir de l'élément en service de résister aux actions communes des facteurs atmosphériques et autres (variation de température et d'humidité, l'action des différentes gaz contenus dans l'air et des sels solubles dans l'eau).

L'objectif de cette recherche est d'étudier la durabilité des conduites destinées aux réseaux d'assainissement dans la région de Ouargla sous l'effet des agents agressifs (en particulier le gaz H_2S). Pour ce faire, des éprouvettes en ciment et en PRV ont fait l'objet d'essais de durabilité dans le milieu réel, et dont les résultats seront comparés à celles des éprouvettes témoins.

D'après l'étude, nous avons conclu que le béton de ciment CRS est de faible durabilité dans les réseaux d'assainissement, et se dégrade rapidement sous l'effet du gaz H_2S , par contre le PRV présente de meilleures qualités mécaniques par rapport au béton que ce soit immergé dans les eaux usées ou exposé au gaz H_2S .

Mots clés : Durabilité, résistance mécanique, conduites en PRV, conduites en ciment, eau usée, gaz H_2S .

Abstract:

More damage was observed on the remediation network (pipes and manholes) in the region of Ouargla, because of the quality of the concrete produced and the type of the conduct used, which are unable to withstand aggressive chemical agent's environment where are located which directly affects their durability, term that means the power of the element in service withstand joint action of air and other factors (changes in temperature and humidity, the action of the various gases in the air and the soluble water salts).

The aim of this research is to study the sustainability of pipes for sanitation networks in the region Ouargla as a result of aggressive agents (especially H_2S gas). To do this test cement (CRS) and FRP go to the durability test object in the real environment and the result will be appearing in the reference specimen.

According to the study, we conclude that the concrete is weak sustainability in sanitation networks, and degraded rapidly under H_2S gas effect, against FRP which show a durability and a degree of chemical stability under wastewater and H_2S gas effect.

Keywords: Durability, strength, FRP pipes, cements pipes, waste water, H_2S gas.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	2
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LA REGION D'ETUDE ET SUR CES CONDUITES D'ASSAINISSEMENT	
I.1. Introduction	7
Partie I: Présentations de la région de Ouargla.....	7
I.2. Situation géographique.....	7
I.3. Reliefs.....	9
I.4. Contexte géologique	9
I.5. Contexte Géomorphologique.....	10
a. Hamada	10
b. Glacis.....	10
c. Erg.....	10
d. Chott.....	10
e. Sebkhass.....	11
I.6. Climat de la zone d'étude.....	12
I.6.1. Température.....	12
I.6.2. Précipitations.....	12
I.6.3. Humidité relative.....	13
I.6.4. Le vent.....	14
I.6.5. Durée d'insolation.....	14
I.6.6. Evaporation.....	15
I.7. Hydrologie.....	16
I.8. Hydrogéologie.....	17

I.8.1. Nappe phréatique.....	17
I.8.2. Nappe du complexe terminal (C.T).....	18
I.8.2.1. Nappe du méo-pliocène.....	18
I.8.2.2. Nappe du sénonien.....	19
I.8.3. Nappe Continentale Intercalaire (C.I) ou l’Albien.....	19
Conclusion.....	19
Partie II: Assainissement de la ville de Ouargla et les caractéristiques des conduites utilisées pour l’évacuation des eaux usées.....	20
I.9. Assainissement de la région de Ouargla.....	20
I.9.1. Réseau d’assainissement urbain et localisation des points de rejets.....	20
I.9.2. Caractéristiques des conduites utilisées aux eaux usées.....	21
I.9.3. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux usées de Ouargla.....	23
I.10. Conduites à base de ciment.....	25
I.10.1. Conduites CAP et CAO.....	25
I.10.2. Caractéristiques des conduites en béton.....	26
I.10.2.1. Propriétés des matériaux de construction (granulats et aciers).....	26
a. Forme et dimension des granulats.....	26
b. Propriétés de l’acier.....	26
I.10.2.2. Propriétés du béton des conduites.....	27
a. Ouvrabilité ou la plasticité.....	27
b. Résistance mécanique.....	27
c. Retrait et fluage.....	27
d. Dilatation thermique.....	27
e. Coefficient d’élasticité et Coefficient de poisson.....	27

f. pH du béton.....	28
I.10.3. Technique de fabrication des tuyaux en béton.....	28
I.11. Conduites en PRV.....	30
I.11.1. Définition des tuyaux PRV.....	30
I.11.2. Caractéristiques des matériaux utilisés pour le PRV.....	31
a. Fibres de Verre.....	31
b. Résine.....	32
c. Catalyseur.....	33
d. Sable.....	34
e. Additifs.....	34
I.11.3. Technique de fabrication des tuyaux PRV.....	34
I.11.4. Caractéristiques des conduites en PRV.....	37
I.11.4.1. Caractéristiques mécaniques.....	37
a. Dimensions des tuyaux.....	37
b. Classes de rigidité.....	37
c. Classe de résistance mécanique.....	37
d. Pression nominale.....	38
e. Débit.....	38
f. Coefficient de fluage.....	38
g. Coefficient de sécurité sur le matériau.....	39
h. Allongement à long terme admissible.....	39
i. Ovalisation relative maximale à court et à long terme.....	39
I.11.4.2. Caractéristiques physico-chimiques.....	39

a. Résistance chimique.....	39
b. Poids des tuyaux.....	40
c. Résistance à l'abrasion.....	40
d. Etanchéité.....	40
e. Résistance thermique.....	40
Conclusion.....	40

CHAPITRE II: DURABILITE DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

II. 1. Introduction.....	43
II.2. Notion de durabilité.....	43
II.3. Morphologie de la microstructure du béton.....	44
II.3.1. Hydratation du ciment.....	44
II.3.2. Nature de l'eau dans le béton.....	46
II.3.3. Structure poreuse.....	47
II.4. Mécanisme de dégradation du béton.....	47
II.4.1. Divers agents agressifs.....	47
II.4.2. Modes d'action des agents agressifs.....	48
II.5. Critères généraux de la durabilité du béton.....	49
II.5.1. Rapport eau/ciment (E/C).....	49
II.5.2. Nature et dosage de ciment.....	50
II.5.3. Les ajouts minéraux.....	50
II.5.4. Zone d'interface de la pate de ciment et granulats.....	51
II.5.5. Durée de murissement.....	51
II.5.6. Effet de la température sur le béton.....	52

Conclusion.....	53
II.6. Dégradations du réseau d'assainissement.....	53
II.6.1. Attaque par les dioxydes de carbone.....	53
II.6.1.1. Notion de carbonatation.....	53
II.6.1.2. Mécanisme de dégradation du béton par la carbonatation.....	54
II.6.1.3. Facteurs influant la carbonatation du béton.....	55
a. Humidité relative.....	55
b. Dosage de ciment.....	56
c. Rapport E/C.....	57
d. Les additions minérales.....	57
Conclusion.....	58
II.6.2. Corrosion des armatures du béton armé.....	58
II.6.2.1. Processus de corrosion des armatures du béton armée.....	58
II.6.2.2. Mécanisme de la corrosion des armatures (phénomène électrochimiques).....	59
II.6.2.3. Attaque par les ions chlorures.....	60
II.6.2.4. Corrosion des armatures par la carbonatation.....	61
II.6.2.5. Paramètres influents sur la corrosion des armatures.....	62
a. Influence de l'enrobage du béton.....	62
b. Influence du pH sur la corrosion.....	63
c. Influence d'humidité et de température.....	64
d. Influence des ajouts minéraux.....	65
e. Influence du rapport E/C.....	65
Conclusion.....	66
II.6.3. Attaque par les sulfates.....	66
II.6.3.1. Processus d'attaques par les sulfates seuls.....	67

II.6.3.2. Attaque par les sulfates externes.....	68
a. Attaque par le sulfate de magnésium.....	68
b. Attaque par le sulfate de calcium.....	69
c. Attaque par le sulfate de sodium.....	69
d. Attaque par le sulfate de potassium.....	69
e. Attaque par le sulfate d'ammonium.....	70
f. Attaque par les sulfates métalliques.....	70
II.6.3.3. Attaque interne par les sulfates.....	70
II.6.3.4. Facteurs influents sur la résistance du béton aux sulfates.....	71
a. Dosage en ciment et la teneur en C ₃ A.....	71
b. Les additions minérales.....	72
Conclusion.....	74
II.6.4. Attaque par le gaz hydrogène sulfurée (H ₂ S).....	74
II.6.4.1. Formation du gaz H ₂ S.....	74
II.6.4.2. Détecteur de gaz H ₂ S portable.....	75
II.6.4.3. Mécanisme de dégradation du béton par le H ₂ S.....	76
Conclusion.....	79
CHAPITRE III: ESSAIS SUR LES MATERIAUX UTILISES	
III.1. Introduction.....	81
III.2. Caractéristiques des matériaux utilisées.....	81
III.2.1. Ciment.....	81
III.2.1.1. Analyses chimique du ciment CRS.....	82
III.2.1.2. Propriétés physiques du ciment CRS.....	82
III.2.2. Granulats.....	83
III.2.2.1. Préparation des échantillons.....	84
III.2.2.2. Essai de détermination de la masse volumique absolue et apparente.....	85

III.2.2.2.1. Détermination la masse volumique apparente du sable et du gravier.....	85
III.2.2.2.2. Détermination de la masse volumique absolue du sable et du gravier.....	85
III.2.2.3. Essai d'analyse granulométrique par tamisage des granulats.....	86
III.2.2.4. Essai d'équivalent de sable.....	89
III.2.2.5. Essai de propreté des granulats.....	91
III.2.2.6. Essaie de friabilité de sable.....	92
III.2.2.7. Essai Los Angeles.....	93
III.2.2.8. Analyses chimiques.....	93
III.2.2.8.1. Essai de détermination des corps insolubles.....	93
III.2.2.8.2. Essai de détermination des carbonates.....	94
III.2.2.8.3. Essai de détermination des sulfates.....	95
III.2.2.8.4. Essai de détermination des chlorures.....	97
III.2.3. Eau de gâchage.....	99
Conclusion.....	99
III.3. Formulation du béton par la méthode de Dreux Gourisse.....	99
III.3.1. Principe de la méthode.....	99
III.3.2. Détermination de la quantité d'eau.....	101
III.3.3. Détermination le volume absolu des agrégats secs.....	101
III.3.4. Détermination du pourcentage de ciment.....	101
III.3.5. Détermination des pourcentages massiques des constituants.....	102
III.4. Mesurer de l'affaissement par l'essai de cône d'Abrams.....	103
III.5. Confection et conservation des éprouvettes en béton.....	104
III.5.1. Confection des éprouvettes.....	104
III.5.2. Conservation des éprouvettes.....	105
III.6. Confection et conservation des éprouvettes en PRV.....	107
III.6.1. Confection des éprouvettes.....	107
III.6.2. Conservation des conduites.....	108
Conclusion.....	109
CHAPITRE IV: RESULTATS ET INTERPRETATION	
IV.1. Introduction.....	111
IV.2. Essais effectués sur les éprouvettes en béton.....	111
IV.2.1. Essais mécaniques destructifs.....	111

IV.2.1.1. Essai de résistance à la compression (R_C).....	111
IV.2.1.1.1. Evolution de la résistance à la compression du béton témoins.....	113
IV.2.1.1.2. Evolution de la résistance à la compression du béton conservé à l'eau usée.....	114
IV.2.1.1.3. Comparaison entre le béton conservé à l'eau usée et le béton témoins.....	114
IV.2.1.1.4. Evolution de la résistance à la compression du béton exposée au gaz H_2S	115
IV.2.1.1.5. Comparaison entre le béton conservé au gaz H_2S et le béton témoins.....	116
IV.2.1.1.6. Evolution de la résistance à la compression du béton conservé dans les différents milieux.....	117
IV.2.1.1.7. Interprétation des résultats de l'essai de la résistance à la compression.....	117
IV.2.1.2. Essai de la résistance à la traction par flexion (R_f).....	118
IV.2.1.2.1. Evolution de la résistance de traction par flexion du béton témoins.....	120
IV.2.1.2.2. Evolution de la résistance de traction par flexion du béton conservé à l'eau usée.....	121
IV.2.1.2.3. Comparaison entre le béton conservé à l'eau usée et le béton témoins.....	121
IV.2.1.2.4. Evolution de la résistance de traction par flexion du béton exposée à gaz H_2S ...	122
IV.2.1.2.5. Comparaison entre le béton conservé au gaz H_2S et le béton témoins.....	123
IV.2.1.2.6. Evolution de la résistance à la traction par flexion du béton conservé dans les différents milieux.....	124
IV.2.1.2.7. Interprétation des résultats de l'essai de traction par flexion.....	125
IV.2.2. Essais non destructifs.....	126
IV.2.2.1. Essai d'auscultations dynamiques.....	126
IV.2.2.2. Essai au scléromètre.....	128
IV.2.3. Essai de durabilité.....	131
IV.2.3.1. Essai d'absorption capillaire (A_C).....	131
IV.2.3.1.1. Interprétation des résultats de l'absorption capillaire.....	133
IV.2.3.2. Essai de mesurer la profondeur de carbonatation.....	134
IV.2.3.2.1. Interprétation de la profondeur de carbonatation.....	135
IV.2.3.3. Analyse chimique de la peau des éprouvettes en béton.....	136
IV.3. Essais effectués sur les éprouvettes en PRV.....	137
IV.3.1. Essai de traction axiale.....	138
IV.3.1.1. Evolution de la contrainte à la rupture par traction axiale du PRV conservés dans les différents milieux.....	141

IV.3.1.2. Evolution du module d'élasticité.....	142
IV.3.1.3. Interprétation des résultats de l'essai de traction axiale.....	143
IV.3.2. Essai de flexion (trois points).....	144
IV.3.2.1. Evolution de la contrainte à la rupture par flexion du PRV conservé dans les différents milieux.....	147
IV.3.2.2. Interprétation des résultats de l'essai de flexion en trois points.....	148
IV.3.3. Essai d'ovalisation (rigidité).....	149
IV.3.3.1. Interprétation du résultat de l'essai d'ovalisation.....	152
IV.3.4. Analyse chimique de la peau des éprouvettes en PRV.....	152
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	155

Liste des figures

N°	Figures	Pages
01	Figure (I, 01): Carte géologique de la cuvette de Ouargla.	8
02	Figure (I, 02) : Coupe géologique du Sahara algérienne.	10
03	Figure (I, 03): Relief géologique de la région de Ouargla.	11
04	Figure (I, 04): Températures moyennes annuelles dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011).	12
05	Figure (I, 05): Précipitations moyennes annuelles dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011).	13
06	Figure (I, 06): Humidité relative moyenne annuelle dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011).	13
07	Figure (I, 07): Vitesse moyenne annuelle du vent dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011).	14
08	Figure (I, 08): Durée moyenne mensuelle d'insolation dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011).	15
09	Figure (I, 09): Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011).	15
10	Figure (I, 10): Bassin hydrographique du Sahara algérienne (d'après UNESCO 1972).	16
11	Figure (I, 11): Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972).	17
12	Figure (I, 12): Coupe hydrogéologique transversale du complexe terminal (C.T) d'après UNESCO 1972.	18
13	Figure (I, 13): Théorie du mandrin à avance continue en feuillard d'acier.	35
14	Figure (I, 14): Méthode de fabrication des conduites ou des éléments en PRV.	36
15	Figure (I, 15): Structure du tuyau en PRV de l'intérieure vers l'extérieure.	36
16	Figure (II, 01): Représentation schématique de la pâte de ciment hydraté.	45
17	Figure (II, 02): Modèle de Feldman et Sereda, revue par sierra 1982.	46

18	Figure (II, 03): Représentation schématique d'un solide poreux.	47
19	Figure (II, 04): Relation entre le coefficient de perméabilité à l'eau des pâtes de ciment totalement hydraté et le rapport E/C.	49
20	Figure (II, 05): Corrélation approximative entre la perméabilité des bétons réalisés avec diverses catégories de ciment et leur résistance mécanique.	50
21	Figure (II, 06): Influence d'E/C et de la taille maximale des granulats sur le coefficient de perméabilité à l'eau des bétons.	51
22	Figure (II, 07): Influence de la durée de cure humide sur la perméabilité des bétons réalisés avec diverses catégories de ciment.	52
23	Figure (II, 08): Effet de la dissolution des cristaux de portlandite sous l'effet de diffusion de gaz carbonique.	54
24	Figure (II, 09) : Détermination de la profondeur de carbonatation.	55
25	Figure (II, 10) : Relation entre la profondeur de carbonatation et la résistance à la compression de bétons après 2 ans, d'exposition dans l'air à une humidité relative de 65%.	56
26	Figure (II, 11) : Relation entre la profondeur de carbonatation et le dosage en ciment des éprouvettes en béton.	56
27	Figure (II, 12) : Evolution de la profondeur de carbonatation en fonction du rapport E/C après 02 ans et demi d'exposition à l'air.	57
28	Figure (II, 13): Etapes de la corrosion des armatures du béton armé.	59
29	Figure (II, 14): Mécanisme de la corrosion électrochimique et en présence des chlorures.	60
30	Figure (II, 15): Corrosion des armatures en béton sous l'effet de carbonatation.	62
31	Figure (II, 16): Durée d'amorçage de la corrosion en fonction de l'épaisseur d'enrobage et du coefficient de diffusion des chlorures.	63
32	Figure (II, 17): Influence du pH sur la corrosion de l'acier dans des mortiers carbonatés avec et sans chlorures de sodium.	64
33	Figure (II, 18): Influence de la température et de l'humidité relative, sur la formation de rouille pour des armatures dans un mortier carbonatées.	65
34	Figure (II, 19): Evolution de la concentration en chlorures pour différents rapports E/C et milieux environnants.	66
35	Figure (II, 20): Formation d'ettringite secondaire expansif cas d'attaque par les sulfates.	68

36	Figure (II, 21): Observation des fibres sur la surface attaquée par le sulfate d'ammonium.	70
37	Figure (II, 22): Influence du dosage en ciment et de la teneur en C ₃ A sur la vitesse de dégradation du béton.	72
38	Figure (II, 23): Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier.	73
39	Figure (II, 24): Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier.	73
40	Figure (II, 25) : Agression des surfaces de béton dans les égouts suite à l'activité bactérienne.	78
41	Figure (II, 26) : Formation des cristaux de gypse dans le cas d'attaque par l'acide sulfurique.	78
42	Figure (III, 01) : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).	101
43	Figure (III, 02) : Formulation du béton par la méthode de Dreux Gourisse.	102
44	Figure (IV, 01) : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.	112
45	Figure (IV, 02) : Résistance à la compression des éprouvettes témoins.	113
46	Figure (IV, 03) : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans les eaux usées.	114
47	Figure (IV, 04) : Histogramme présentant la résistance à la compression des éprouvettes témoins et celles des éprouvettes conservées dans les eaux usées.	115
48	Figure (IV, 05) : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans le gaz H ₂ S.	116
49	Figure (IV, 06) : Histogramme présentant la résistance à la compression des éprouvettes témoins et celles des éprouvettes conservées au gaz H ₂ S.	116
50	Figure (IV, 07) : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans différents milieux.	117
51	Figure (IV, 08) : Dispositif de chargement pour l'essai de traction par flexion.	119
52	Figure (IV, 09) : Résistance de traction par flexion des éprouvettes témoins.	120

53	Figure (IV, 10) : Résistance de traction par flexion des éprouvettes conservées dans les eaux usées.	121
54	Figure (IV, 11) : Histogramme présentant la résistance de traction par flexion des éprouvettes témoins et celles conservées dans les eaux usées.	122
55	Figure (IV, 12) : Résistance de traction par flexion des éprouvettes exposée au gaz H ₂ S.	123
56	Figure (IV, 13) : Histogramme présentant la résistance de traction par flexion des éprouvettes témoins et celles exposées au gaz H ₂ S.	124
57	Figure (IV, 14) : Résistance de traction par flexion des éprouvettes conservées dans différents milieux.	125
58	Figure (IV, 15) : Vitesse du son des éprouvettes conservées dans différents milieux.	128
59	Figure (IV, 16) : Abaque donnant la résistance à la compression (R_C) en fonction de l'indice sclérométrique moyen (I_{Smoy}).	130
60	Figure (IV, 17) : Résistance à la compression par scléromètre des éprouvettes conservées dans différents milieux.	131
61	Figure (IV, 18) : Histogramme présentant l'absorption capillaire des éprouvettes conservées dans différents milieux à la durée de 365 jours.	133
62	Figure (IV, 19) : Profondeur de carbonatation des éprouvettes conservées dans différents milieux.	135
63	Figure (IV, 20) : Dispositif de chargement pour l'essai de traction axiale.	138
64	Figure (IV, 21) : Courbe ($\sigma_T - \varepsilon_T$) d'un échantillon conservé dans les eaux usées à la durée de 365 jours par le logiciel d'UTM Main.	139
65	Figure (IV, 22) : Déformation moyenne à la rupture de l'essai de traction axiale des éprouvettes conservées dans différents milieux.	141
66	Figure (IV, 23) : Contrainte à la rupture par traction axiale des éprouvettes conservées dans les différents milieux.	142
67	Figure (IV, 24) : Module d'élasticité moyen relatif à l'essai de traction axiale des éprouvettes conservées dans différents milieux.	143
68	Figure (IV, 25) : Dispositif de chargement pour l'essai de flexion (trois points).	144
69	Figure (IV, 26) : Exemple de la courbes contrainte - déformation de l'essai de flexion en trois points d'une éprouvette conservée à l'eau usée par le logiciel d'UTM Main.	146

70	Figure (IV, 27) : Déformation moyenne à la rupture de l'essai de flexion en trois points des éprouvettes conservées dans différents milieux.	147
71	Figure (IV, 28) : Contrainte à la rupture par flexion en trois points des éprouvettes conservées dans différents milieux.	148
72	Figure (IV, 29) : Exemple de courbe $(F - \Delta y)$ d'un essai d'ovalisation d'une conduite d'eau	150
73	Figure (IV, 30) : Rigidité des éprouvettes conservées dans le milieu réel et témoin.	151

Liste des photos

N°	Photos	Pages
01	Photo (I, 01): Emplacement des conduites en PRV dans le projet d'assainissement de Ouargla.	22
02	Photo (I, 02) : Types des fibres de verre utilisés.	32
03	Photo (I, 03) : Types des résines polyesters utilisés pour la fabrication des éléments en PRV.	33
04	Photo (I, 04): Catalyseur des résines polyesters.	34
05	Photo (II, 01) : Détecteur portable de gaz H ₂ S de matricule (Dräger X-am® 2000).	76
06	Photo (III, 01): Préparation des échantillons de gravier 8/15 au labo LTPS.	84
07	Photo (III, 02) : Essai de détermination les corps insolubles dans la matière.	94
08	Photo (III, 03) : Essai de détermination des carbonates de calcium dans la matière.	95
09	Photo (III, 04) : Essai de détermination les sulfates dans la matière.	97
10	Photo (III, 05) : Essai de détermination des chlorures dans la matière.	98
11	Photo (III, 06): Mesure de l'affaissement du béton au labo LTPS.	103
12	Photo (III, 07) : Confection des éprouvettes en béton (7X7X28) cm ³ au labo LTPS.	104
13	Photo (III, 08) : Conservation des éprouvettes en béton durci dans différents milieux.	106
14	Photo (III, 09) : Confection des éprouvettes en PRV.	108
15	Photo (III, 10) : Conservation des éprouvettes en PRV au S.T.E.P.	109
16	Photo (IV, 01) : Essai de compression sur les éprouvettes en béton au labo LTPS.	112
17	Photo (IV, 02) : Essai de traction par flexion des éprouvettes en béton au labo de MDC.	119

18	Photo (IV, 03) : Essai d'auscultation dynamique sur les éprouvettes en béton au labo LEC.	127
19	Photo (IV, 04) : Essai au scléromètre sur les éprouvettes en béton au labo LEC.	129
20	Photo (IV, 05) : Essai de l'absorption capillaire des éprouvettes en béton au labo LTPS.	132
21	Photo (IV, 06) : Essai de mesure la profondeur de carbonatation des éprouvettes en béton au labo LTPS.	134
22	Photo (IV, 07) : Coupe des échantillons en PRV à la S.T.E.P de Ouargla.	137
23	Photo (IV, 08) : Essai de traction axiale au laboratoire de l'usine de MAGHREB PIPE.	139
24	Photo (IV, 09) : Essai de flexion (trois points) au laboratoire de l'usine de MAGHREB PIPE	145
25	Photo (IV, 10) : Essai d'ovalisation au laboratoire de l'usine MAGHREB PIPE.	149
26	Photo (IV, 11) : Peaux des éprouvettes en PRV conservées dans les eaux usées et celles exposées au gaz H ₂ S.	152

Liste des tableaux

N°	Tableaux	Pages
01	Tableau (I, 01): Caractéristiques et types des conduites utilisées dans le réseau d'assainissement de Ouargla.	21
02	Tableau (I, 02): Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques annuels de l'eau usée brute de la S.T.E.P de Ouargla en 2012.	23
03	Tableau (I, 03): Résultats des analyses des paramètres minéralogiques globaux des eaux usées de Ouargla en 2011.	24
04	Tableau (I, 04): Caractéristiques géométriques des conduites en CAP.	25
05	Tableau (I, 05): Caractéristiques géométriques des conduites en CAO.	26
06	Tableau (I, 06): Caractéristiques des conduites en CAP.	28
07	Tableau (I, 07): Exemple Formulation de béton pour des conduites CAP et CAO.	29
08	Tableau (I, 08): Caractéristiques des fibres en verre de type C.	31
09	Tableau (I, 09): Propriétés de la résine Ortho-phtalique.	33
10	Tableau (I, 10): Classes de rigidité des conduites en PRV.	37
11	Tableau (I, 11): Classes de résistance mécanique des conduites en PRV.	38
12	Tableau (I, 12): Classes de pression des conduites en PRV.	38
13	Tableau (I, 13): Ovalisation des conduites en PRV à court et à long terme.	39
14	Tableau (III, 01): Normes des essais sur le ciment.	82
15	Tableau (III, 02): Résultats des analyses chimiques du ciment CRS.	82
16	Tableau (III, 03): Caractéristiques physiques du ciment CRS.	82
17	Tableau (III, 04): Normes des essais d'identification sur le sable.	83
18	Tableau (III, 05): Normes des essais d'identification sur le gravier.	83
19	Tableau (III, 06): Masse volumique absolue et apparente des granulats utilisés.	86
20	Tableau (III, 07): Résultats de l'essai granulométrique de sable.	88
21	Tableau (III, 08): Résultats de l'essai granulométrique du gravier 3/8.	89

22	Tableau (III, 09): Résultats de l'essai granulométrique de gravier 8/15.	89
23	Tableau (III, 10): Résultats des analyses chimique du sable et du gravier.	98
24	Tableau (III, 11): Coefficient correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité des granulats.	100
25	Tableau (III, 12): Pourcentages massiques des constituants.	102
26	Tableau (III, 13): Dimensions des conduites en PRV fabriquées à l'usine.	107
27	Tableau (V, 01): Résistance à la compréssion des éprouvettes conservées dans différents milieux.	113
28	Tableau (V, 02): Résistance de traction par flexion des éprouvettes conservées dans différents milieux.	120
29	Tableau (V, 03): Vitesse du son des éprouvettes conservées dans différents milieux.	127
30	Tableau (V, 04): Résistance à la compression par scléromètre des éprouvettes conservées dans différents milieux.	130
31	Tableau (V, 05): Résultats des analyses chimique de la peau des éprouvettes du béton conservées dans différents milieux.	136
32	Tableau (V, 06): Résultats des analyses des paramètres minéralogiques globaux des eaux usées de la STEP de Ouargla en 2013.	136
33	Tableau (V, 07): Contrainte à la rupture par traction axiale des éprouvettes conservées dans les différents milieux.	140
34	Tableau (V, 08): Contrainte à la rupture par flexion en trois points des éprouvettes conservées dans différents milieux.	146
35	Tableau (V, 09): Rigidité des éprouvettes conservées dans le milieu réel et témoin.	151
36	Tableau (V, 10): Résultats des analyses chimique de la peau des éprouvettes en PRV conservées dans différents milieux.	153

Liste des abréviations

PRV : Polyester Renforcé en fibre de Verre.

PVC : Polychlorure de Vinyle.

CAO : Conduites centrifuges Armées Ordinaire.

CAP : Conduite centrifuges Armées en Précontrainte.

AC : Acier.

AEP: Alimentation en eau potable.

EVRNZA: Exploitation et Valorisation de Ressources Naturelles en Zone Arides.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

STEP: STation d'EPuration.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

ONA: Office Nationale d'Assainissement.

LTPS: Laboratoire des Travaux Publics Sud.

MDS: Mécaniques Des Sols.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Un très grand nombre de structures en béton âgées de 40 à 90 ans ou plus sont encore en excellent état, mais aussi il existe plusieurs autres à l'état de ruine partielle ou complète à cause de la faible durabilité. Par exemple aux Etats-Unis, plusieurs ouvrages en béton endommagés par les cycles gel/dégel ou par la corrosion des aciers d'armature ont été inventoriés, ainsi le coût estimé des réparations s'élève de 16 à 24 milliards de dollars, qui s'ajoute chaque année à environ 400 million de dollars supplémentaires. Enfin au Canada, le coût de réparation des stationnements multi-étages urbains affectés par le problème de corrosion est estimé à environ cinq milliards de dollars. [1]

Le béton ce matériau qui est l'objet de la plus grande partie des structures n'est en fait que la suite de l'hydratation du ciment portland, ce dernier réagit avec l'eau pour former une patte de ciment durci jouant le rôle de colle, ainsi les granulats se solidarissent entre eux pour former ce matériau rigide. La qualité du béton dépend de plusieurs facteurs tels que : la nature et le dosage des composants utilisés (ciment, granulats, eau), les ajouts minéraux et les adjuvants, le malaxage, le transport, la vibration, la cure...etc.

La durabilité des ouvrages en béton armée est un facteur très important dans le domaine de génie civil pour les constructions civiles ou industrielles, par ce que les altérations du béton sont variées; elles atteignent soit la matrice cimentaire soient les armatures, et par fois les deux. Leurs origines sont très nombreuses : la mise en œuvre et la résistance mécanique du béton, les fissures formées sous l'effet des contraintes extérieures qui s'appliquent à l'ouvrage, l'effet des agents agressifs du milieu extérieur.

Dans notre zone d'étude (Ouargla), nous enregistrons sur les constructions réalisées plusieurs problèmes liés à la durabilité où nous pouvons citer :

- ✓ Les dégradations des fondations des constructions à usage d'habitations ou autres sous l'effet de la remontée des eaux de la nappe phréatique ou de l'agressivité du sol.
- ✓ Les effondrements et les affaissements sous la structure des chaussées des routes.
- ✓ Les dégradations des réseaux hydrauliques soit les réseaux d'assainissement ou des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP) et les ouvrages de béton en relation.

L'anecdote qui s'est répétée à mainte reprise sur la ville de Ouargla revient à la recherche d'un trésor n'est en fait que la traduction des dégradations des réseaux d'assainissements (les regards et les conduites des eaux usées), qui ont nécessité la rénovation de ce dernier à chaque fois que c'est nécessaire. Ces altérations sont causées par :

- ✓ La haute salinité et la remontée des eaux de la nappe phréatique.
- ✓ La composition chimique des sols de Ouargla contenant des éléments chimiques agressifs influe négativement sur les structures surtout en béton.
- ✓ Les fuites d'eau des réseaux hydrauliques provoquent des effondrements et des affaissements dans les chaussées des réseaux routiers.
- ✓ Le système de réseau d'évacuation unique adopté dans la région aggrave davantage l'agressivité des eaux étant donné que les eaux usées industrielles (huiles de voitures, acides des batteries, les huiles et l'essence des stations....etc.), les eaux pluviales et les eaux usées domestiques ménagères sont évacuées dans un seul collecteur principal.
- ✓ La forte concentration en gaz H_2S dans les réseaux d'assainissement à cause du manque d'aération ainsi que l'agressivité des eaux usées.

Pour contribuer à la résolution de ce problème enregistré à la ville de Ouargla, l'état algérienne a consacré des montants très importants pour la réhabilitation et la rénovation des réseaux d'assainissement, afin d'acquiescer une longue durée de vie et de service depuis 2002 à 2008 l'état a dépensé environ 291.769.936,92 DA uniquement au niveau de la cuvette de Ouargla. [2]

Les rénovations ont touché presque la totalité des endroits de la ville de Ouargla, soient le tronçon à côté de l'hôpital « MOHAMED BOUDIAF » sur une longueur de 250,00 m rénové par des conduites en PRV de diamètre Ø700 en 2008, à l'autour de Ksar sur une longueur de 500,00 m rénové par des conduites en PVC de Ø 400 de diamètre en 2006, la route de CHEGUIVARA sur une longueur de 600,00 m rénové par des conduites en PVC Ø 400 en 2003, et enfin la route nationale N°49 (avenue Palestine) en 2007 rénové par des conduites en PRV diamètre Ø 1100 sur une longueur de 500,00 m. [3]

Pour régler le problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique, le bureau d'étude technique suisse (BG) en 2002 a réalisé une étude sous le thème « étude

d'assainissements des eaux résiduaires, pluviaux et d'irrigations, mesure complémentaire de lutte contre la remontée de la nappe phréatique ». La réalisation de ce projet a été confiée à six entreprises internationales à savoir l'entreprise libanaise BUTEC, l'entreprise française GIEVSB, l'entreprise SNTP-EUSEBIOS et l'entreprise Germanie DEWIDAG. Les entreprises algériennes qui ont intervenu, on note l'ONID et FREM HYD qui ont été chargées du réseau de drainage. [2]

La question qui reste posée est : est-ce que ces interventions de rénovation des conduites d'assainissement dans les quartiers de Ouargla peuvent régler encore le problème des dégradations des conduites (CAO) et (CAP) ? Qui ont montré une faible durabilité où les conduites ne dépassent même pas les 06 mois, ou bien elles doivent être changées avant l'expiration de leurs durées de vie théorique évaluée à 30 ans.

La dernière rénovation de ces conduites a marqué la substitution du CAO et du CAP par des tuyaux en PVC et en PRV, ces derniers sont caractérisés généralement par une faible porosité et une bonne résistance chimique dans le milieu agressif, donc on prévoit une meilleure durée de vie par rapport aux conduites en béton.

La dégradation qui a été constatée au niveau des conduites de ciment destinées aux réseaux d'assainissement nécessite la définition du taux de dégradation et le mécanisme de cette dernière notamment l'effet du gaz H_2S qui semble le plus dangereux vis-à-vis de ces conduites.

Afin de cerner le problème de durabilité des conduites en ciment et celles en PRV, un programme de travail a été réalisé dans le cadre d'un mémoire de magistère au sein de laboratoire exploitation et valorisation des ressources naturelles en zone arides (E.V.R.N.Z.A), du département de génie civil et d'hydraulique à l'université Kasdi merbah de Ouargla.

La présente étude se fait selon ces chapitres ci-après :

Après l'introduction générale, le premier chapitre présente les caractéristiques de la zone d'étude et les propriétés des conduites en ciment et en PRV utilisées pour l'évacuation des eaux usées dans la ville de Ouargla.

Le problème de durabilité des réseaux d'assainissement dans le milieu agressif, et les causes principales de ces dégradations sont présentées au deuxième chapitre.

Le troisième chapitre a été consacré aux essais d'identification des matériaux de constructions utilisés.

Dans le quatrième et dernier chapitre, on présente les résultats obtenus et les éventuelles interprétations.

Et en fin nous terminerons cette étude par une conclusion générale et des recommandations.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA
REGION D'ETUDE
ET SUR CES CONDUITES
D'ASSAINISSEMENT

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LA REGION D'ETUDE ET SUR CES CONDUITES D'ASSAINISSEMENT

I.1. Introduction

Ce chapitre est composé en deux parties, la première partie est réservée à la présentation de la région de Ouargla soit : la situation géographique, la climatologie, l'hydrogéologie et enfin les propriétés des sols de cette région, alors que la deuxième partie, elle sera réservée à l'assainissement dans la région de Ouargla, et les caractéristiques des conduites en béton et celles en PRV.

Partie I: Présentations de la région d'étude

La région de Ouargla se situe au Nord-est du Sahara septentrional, elle se caractérise par un climat sec et chaud en Eté et froid en Hiver, elle comporte une structure géologique hétérogène permettant la circulation des eaux souterraines et l'existence de plusieurs nappes souterraines, des oueds et des sebkhas. Ces eaux sont exploitées pour l'alimentation de la ville de Ouargla et l'irrigation de ses palmeraies. Dans cette partie nous présentons quelques caractéristiques de la région de Ouargla.

I.2. Situation géographique

La wilaya de Ouargla est la capitale du Sahara du Sud-est algérien, elle est située approximativement à 750 Km au Sud-est de l'Algérie, elle couvre une superficie de 163.230 Km², elle est limitée par la Tunisie à l'Est, la Wilaya de Ghardaïa à l'Ouest, les wilayas d'Ilizi et Tamanrasset au Sud, et au Nord par les wilayas de El-Oued et Djelfa. [4]

La zone d'étude « cuvette de Ouargla » se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'oued M'ya selon la figure (I, 01), elle est située au Sud de la wilaya de Ouargla, et elle occupe une superficie d'environ 140.000 hectares.

La ville de Ouargla se compose des communes : de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Ain Beida, Sidi Khouiled et Hassi Ben Abdellah; elle est limitée comme suit :

- ✓ Au Nord Sebkhet Safioune ayant une pente assez faible (environ de 0.1%) de la ville de Ouargla, qui est une formation à l'origine d'un chapelet de sebkhas (Bamendil, Oum Raneb, Safioune, N'Goussa), avec l'existence d'accumulations de sable dunaire.
- ✓ A l'Est des dunes dont l'altitude atteint 160 m avec des limites qui ne sont pas nettes, il contient des sables de Erg Touil, Erg Boukhezana et Erg Arifdji).
- ✓ Au Sud un massif dunaire contenant les quaternaires de Sedrata et son altitude dépasse 155 m.
- ✓ A l'Ouest un plateau calcaire surplombe la cuvette de Ouargla est dans la confluence de oued M'zab et oued N'ssa.

L'envergure de la cuvette de Ouargla du Sud au Nord est de 70 Km, alors que celle de l'Est à l'Ouest est de 20 Km.

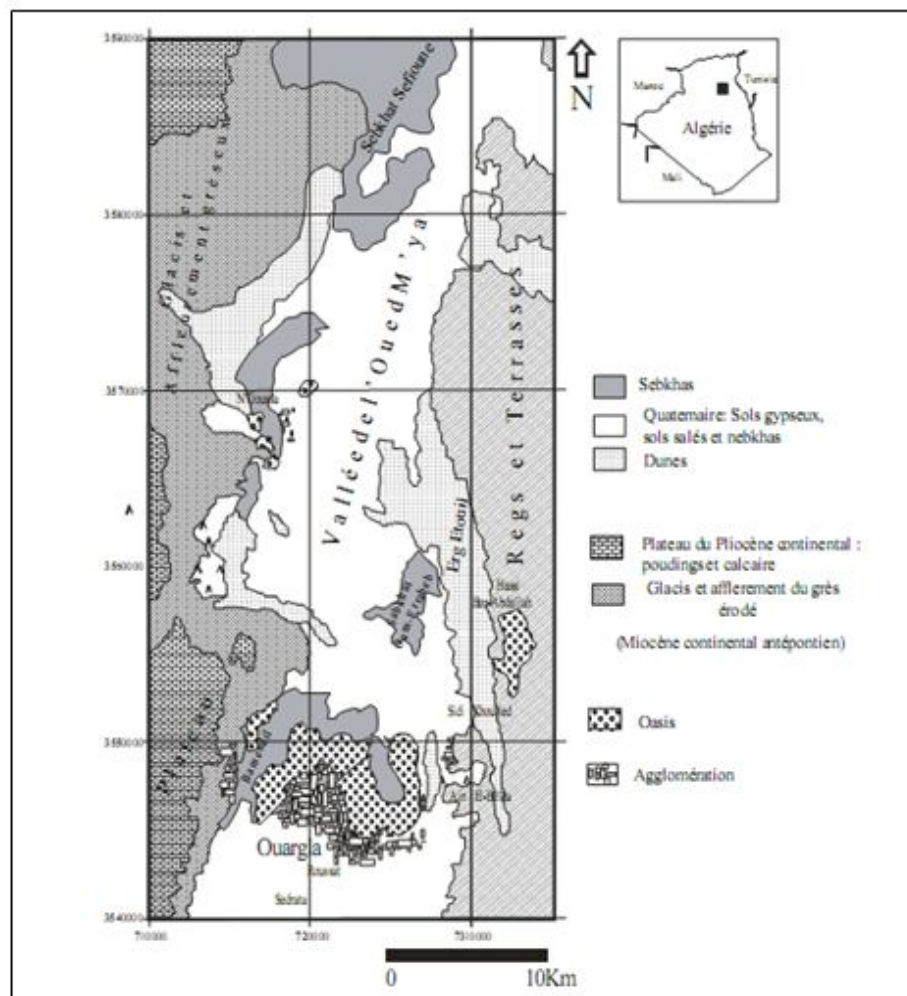


Figure (I, 01): Carte géologique de la cuvette de Ouargla. [5]

I.3. Reliefs

La carte topographique de la région de Ouargla montre que l'altitude atteint 147 m, comme elle descend jusqu'à 102 m au niveau de la Sebkhet Safioune rejet des eaux usées évacuées de la ville de Ouargla, alors qu'au niveau des agglomération, les altitudes sont de 135,08 m en ville et 127,95 m aux niveaux des chott et des sebkha [6].

I.4. Contexte géologique

Les couches géologiques sous quelques mètres du niveau du terrain naturel, sont généralement formées de sable dunaire, d'origine de roches sédimentaires et alluvions, bien que les couches en profondeur se présentent comme suit :

- ✓ Une couche constituée par des calcaires marneux, de sable argileux et des argiles sableuses à la base de grés du continental terminal vers 30 à 45 m de profondeur.
- ✓ De sable fins et gros se terminent par des argiles sableuse vers 55 m à 80 m de profondeur.
- ✓ Une couche de calcaire du sénonien jusqu'à 250 m de profondeur.
- ✓ Un épais horizon d'argiles à évaporites (vers 650 à 700 m).
- ✓ Quelques mètres d'évaporites massives.
- ✓ Des dépôts d'argiles à évaporite plastique jusqu'à 1100 m de profondeur.
- ✓ Des couches des sables et de grés d'albien se trouvent entre 1050 - 1100 m et entre 1350 - 1400 m de profondeur. [6]

Généralement, les sols dans la région de Ouargla sont caractérisées par ces propriétés chimiques:

- a. La majorité des sols sont salés ou très salés.
- b. Les ions sont représentés par les chlorures et les sulfates, ainsi que les teneurs en bicarbonates sont toujours faibles et les teneurs en carbonates sont nulles.
- c. Le pH est légèrement alcalin et varie entre 7,5 à 8,5.

- d. Les teneurs en matière organique sont très faibles et proviennent essentiellement de la fumure appliquée dans la palmeraie. [7]

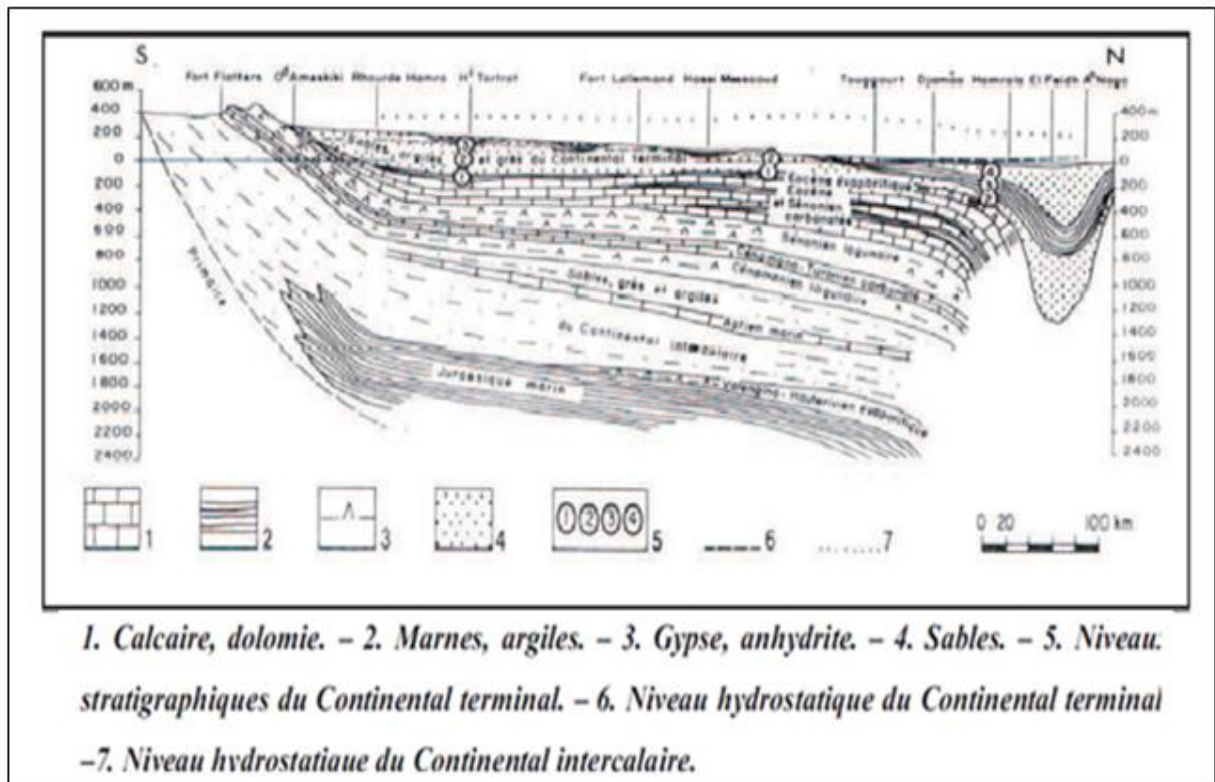


Figure (I, 02) : Coupe géologique du Sahara algérien. [8]

I.5. Contexte Géomorphologique

La cuvette de Ouargla se caractérise par les formations géomorphologiques suivantes :

- a. **Hamada** : elle est limitée par la vallée de Ouargla à l'Ouest, dont l'altitude moyenne est de 250 m et qui date du méo-pliocène ou pléo-quadernaire. [9]
- b. **Glacis**: Un glacis est une forme de relief non structurale consistant en une surface plane et peu inclinée (quelques degrés), suivant son origine (glacis d'érosion ou glacis alluviaux). Le bassin versant de la cuvette de Ouargla présente quatre niveaux de glacis, qui s'étagent de l'Ouest en vers l'Est et du plus ancien au plus récent, ces niveaux varient entre 200 m et 140 m, [9]
- c. **Erg**: Les grands ergs limitent la région de Ouargla à l'Est et au Sud, alors que les ergs mineurs et les formations éoliennes récents en petits cordons dunaires, dont l'altitude est d'environ 150 m, se situent à l'Est et au Nord-est de Ouargla. [9]

- d. **Chott** : le chott représente la frontière de la sebkha, il est constitué par des formations de sables siliceux et/ou gypseux. Au niveau de la ville de Ouargla, nous pouvons citer : Chott Ain Beida qui couvert une superficie de 1000 hectares, il renferme les eaux de la nappe phréatique et l'exutoire des eaux de oued M'ya. Chott Oum-Er-Raneb couvert une superficie variant entre 900 à 1400 hectares en fonction du niveau d'eau de la nappe phréatique. [7]
- e. **Sebkhas** : Elle est constituée par des formations qui date du quaternaire occupant les niveaux les plus bas des sédiments, dont le centre est une dépression fermée et salée, et dont le bas fond se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente peu profonde (1 à 5) m dans le chott. [9]A ce titre, nous pouvons citer : Sebkhet Safioune qui couvert une superficie d'environ 8000 hectares, et qui renferme les eaux des crues des oueds N'sa et M'Zab. Sebkha de Bamendil qui s'étale sur une superficie totale de 1838 hectares, elle est caractérisée par la présence d'une nappe phréatique de faible profondeur, cette dernière est à l'origine d'une accumulation d'eaux au niveau de la sebkha. [7]

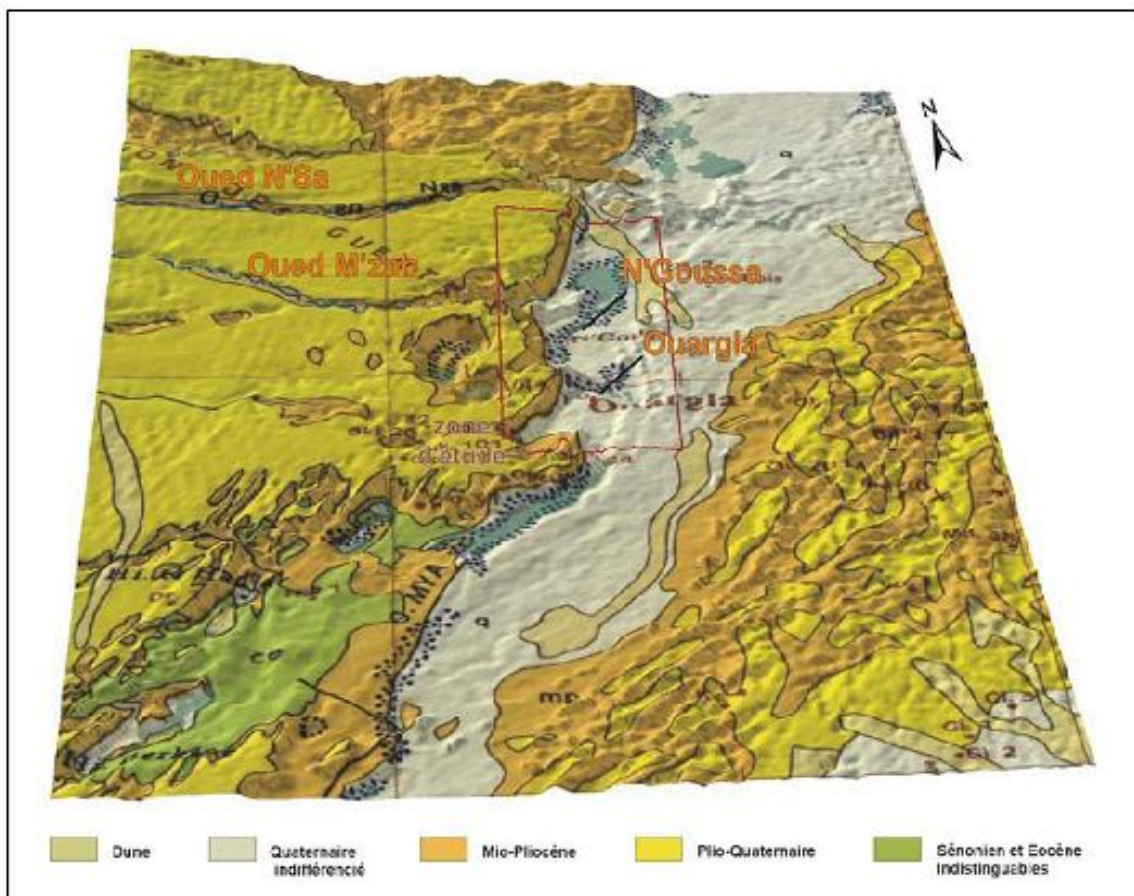


Figure (I, 03): Relief géologique de la région de Ouargla. [6]

I.6. Climat de la zone d'étude

La région de Ouargla est d'un climat désertique chaud de type saharien, elle se caractérise par des précipitations rares et irrégulières, par des températures et évaporations très élevées, et par un faible taux d'humidité relative de l'air.

I.6.1. Température

La région de Ouargla se caractérise par un climat très froid en Hiver, et trop chaud en Eté, selon la figure (I, 04) le mois le plus chaud est celui de Juillet, dont la valeur maximale de température annuelle est de 36,28 C°, mais la valeur minimale est de 12,66 C° au mois de Décembre comme étant le mois le plus froid. Les températures extrêmes sont $T_{Max} = 47,91$ C° au mois d'Aout et $T_{Min} = 0,42$ C° en Janvier.

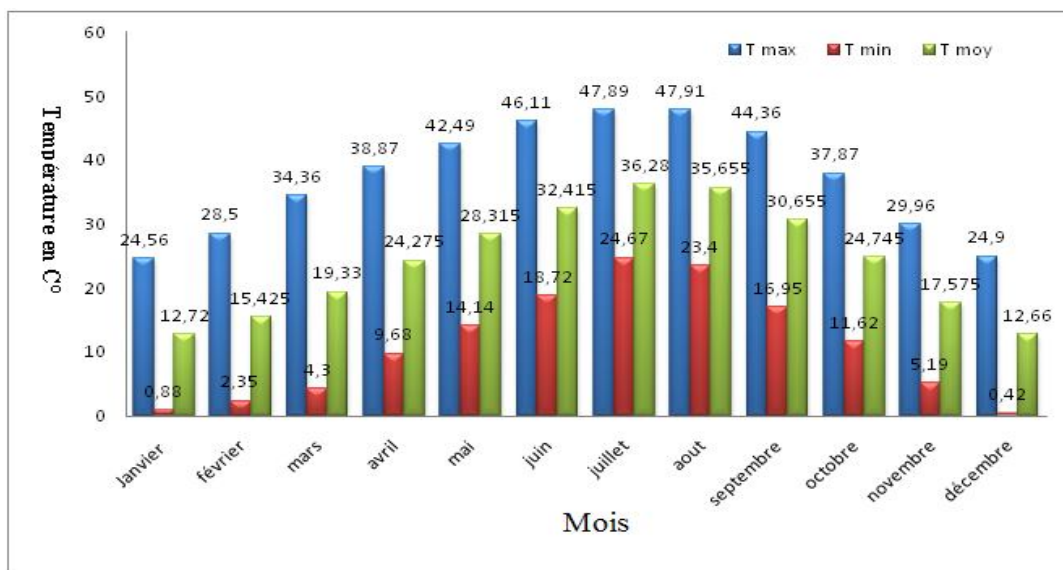


Figure (I, 04): Températures moyennes annuelles dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011). [10]

I.6.2. Précipitations

La région de Ouargla se caractérise par un climat sec dont la pluviométrie est très rare et elle ne dépasse guère un nombre de 25 jours pendant l'année, d'après la figure (I, 05), la valeur maximale des précipitations moyennes annuelles est de 9,58 mm au mois de Janvier

comme étant le mois le plus pluvieux, et elle est de l'ordre de 0,22 mm au mois de Juillet comme étant le mois le plus sec.

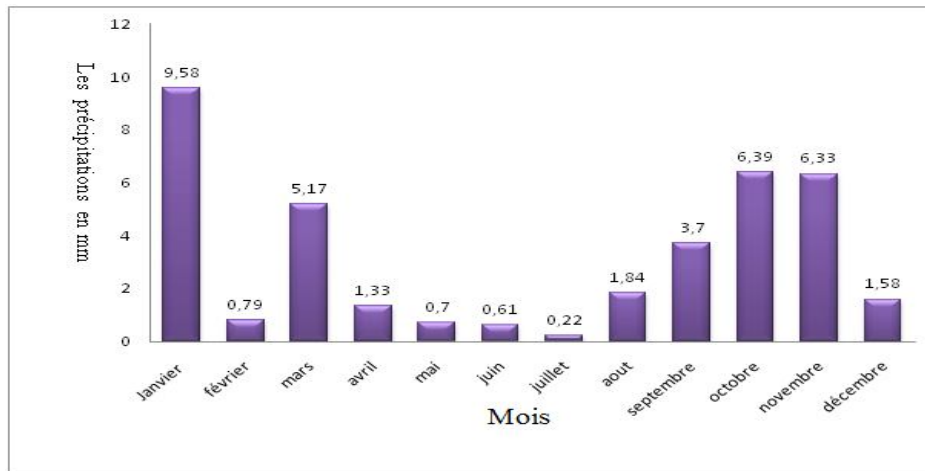


Figure (I, 05): Précipitations moyennes annuelles dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011). [10]

I.6.3. Humidité relative

La figure (I, 06) présente les valeurs d'humidité relative moyenne annuelle enregistrée au niveau de la station de Ouargla, on remarque que l'humidité relative maximale est de l'ordre de 59,7% au mois de Janvier comme étant le mois le plus humide, mais au mois de Juillet en tant que le mois le plus sec, elle est de l'ordre de 34,3%, avec des valeurs extrêmes de $HR_{max}=98,3\%$ au mois de Janvier et $HR_{Min}=9,3\%$ au mois de Juillet.

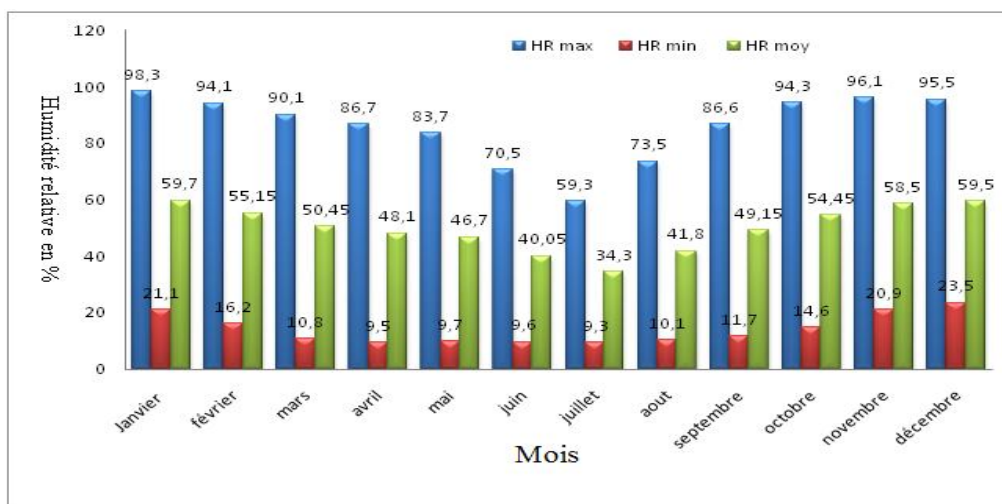


Figure (I, 06): Humidité relative moyenne annuelle dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011). [10]

I.6.4. Le vent

Dans la région de Ouargla, les vents soufflent suivant différentes directions, nous enregistrons d'après la figure (I, 07) que la valeur maximale de la vitesse du vent est de l'ordre de 21,1 m/s au mois d'Avril, et que la vitesse minimale est de l'ordre de 13,6 m/s au mois de Décembre.

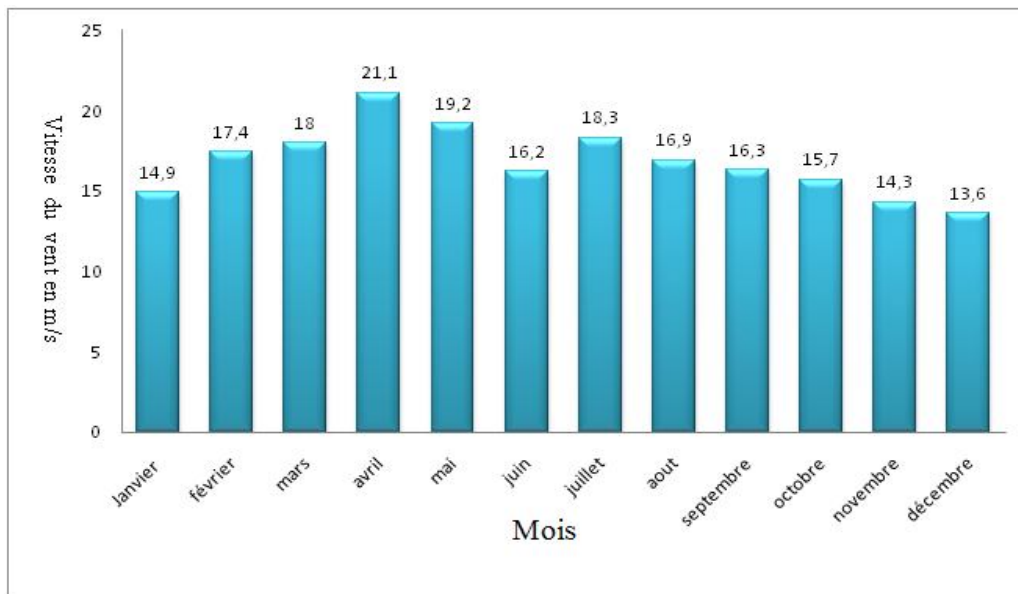


Figure (I, 07): Vitesse moyenne annuelle du vent dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011). [10]

I.6.5. Durée d'insolation

D'après la figure (I, 08), la région de Ouargla reçoit en générale une intensité lumineuse très importante surtout pendant le mois le plus chaud qui est le mois de Juillet, la durée d'insolation maximale mensuelle est de l'ordre de 328,48 heures, et le minimum au mois de Décembre avec une durée mensuelle de 221,42 heures.

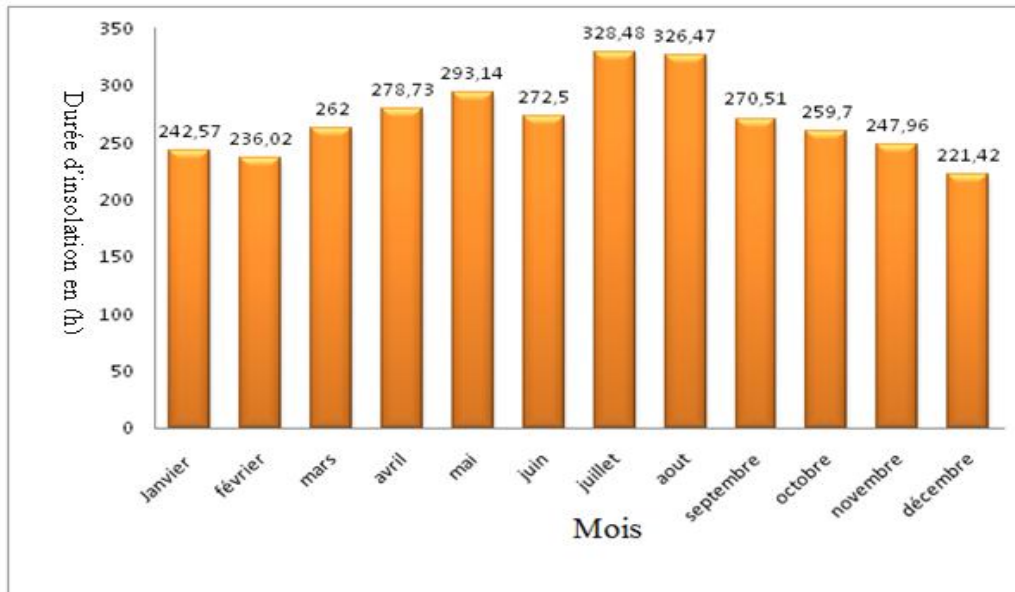


Figure (I, 08): Durée moyenne mensuelle d'insolation dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011). [10]

I.6.6. Evaporation

L'évaporation est le seul mécanisme de perte des eaux au Sahara, ou dans les bassins arides fermés, L'évaporation dans la vallée de Ouargla est très élevée, nous constatons d'après la figure (I, 09) que la valeur maximale d'évaporation est de 478,73 mm au mois de Juillet, et la valeur minimale est de l'ordre de 97,2 mm au mois de Janvier.

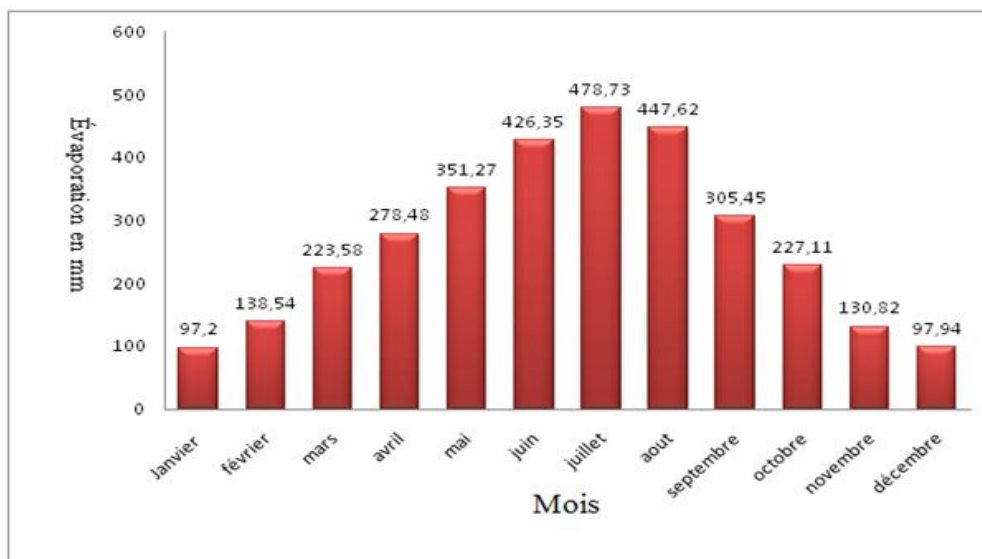


Figure (I, 09): Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Ouargla pendant la période (2002-2011). [10]

I.7. Hydrologie

Le bassin hydrographique dans la région de Ouargla est composé de différents bassins versant des oueds tel que mentionné sur la figure (I, 10), Ces oueds sont saisonniers et alimentent la sebkha de Safioune et la cuvette de Ouargla, ainsi ils contribuent au problème de la remontée des eaux superficielles dans la zone d'étude, parmi ces oueds nous citons :

- ✓ **Oued M'ya** : il draine le bassin versant Nord-est du plateau de Tademaït, et il couvre une superficie de 19.800 Km², dont les écoulements les plus fréquents sont aux mois de Novembre, Octobre, Mai et Juin.
- ✓ **Oued M'Zab** : il couvre une superficie de 5000 Km², il débute de l'Ouest vers l'Est sur une distance d'environ 320 Km de la région de Boutma Rouila à 750 m d'altitude vers la sebkha de Safioune, les crues sont exceptionnelles et le débit enregistré en 1994 a été de 13,5 m³/seconde. [7]
- ✓ **Oued N'sa** : il couvre une superficie de 7800 Km², dont la longueur est de 175 Km, il reçoit plusieurs affluents tels que le « Ballouh » et le « Soudou » qui irriguent l'oasis de Beraine. [3]

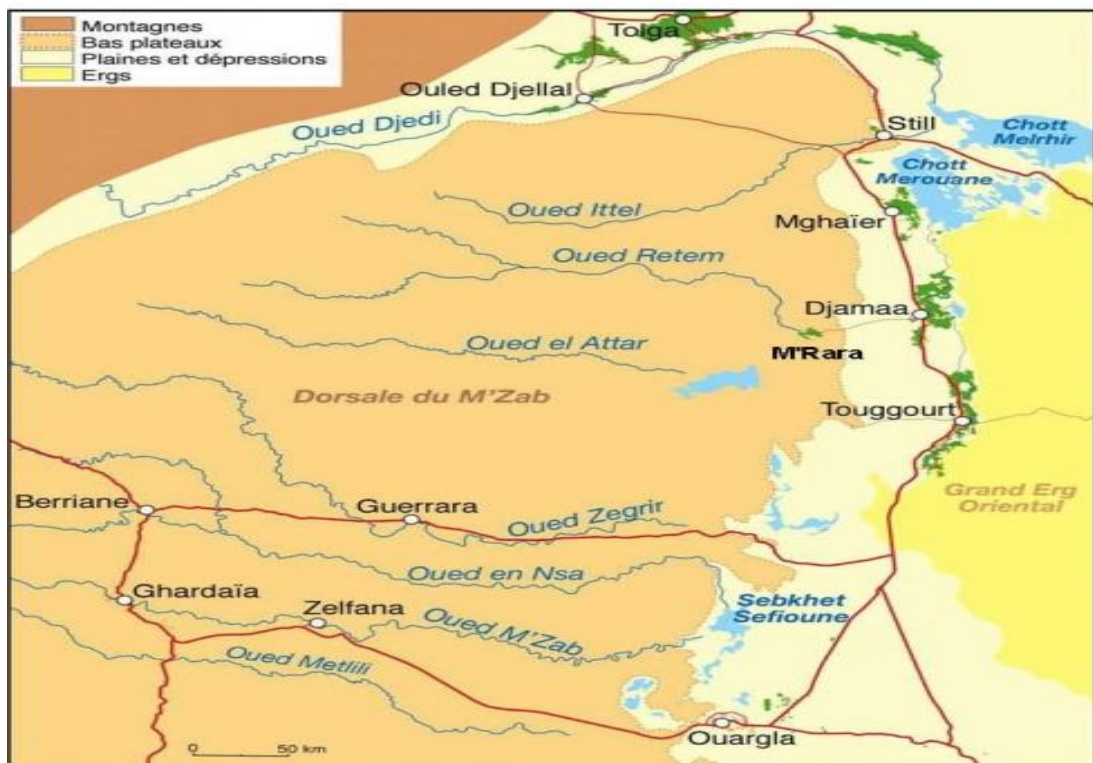


Figure (I, 10): Bassin hydrographique du Sahara algérienne (d'après UNESCO 1972). [11]

I.8. Hydrogéologie

La structure hydrogéologique de la cuvette de Ouargla est constituée de plusieurs couches superposées perméables permettant la circulation des eaux souterraines, elle couvre encore des couches imperméables assurent l'existence de la nappe phréatique au niveau plus proche de la surface, comme elle renferme des nappes profondes, soient la nappe du complexe terminal (C.T) et la nappe continentale intercalaire (C.I) d'après la figure (I, 11).

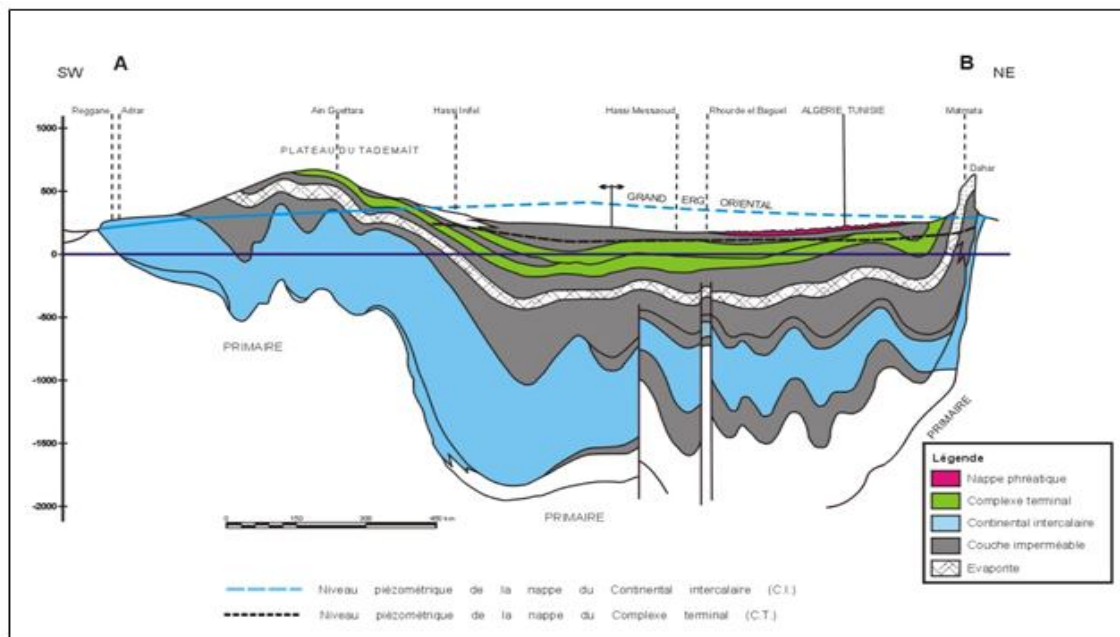


Figure (I, 11): Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972). [11]

I.8.1. Nappe phréatique

Cette nappe existe à une faible profondeur entre 1 et 2 m, et parfois elle se trouve à une profondeur de 50 cm sous la surface du sol de la ville de Ouargla, surtout aux saisons d'Automne et d'Hiver [3]. Elle repose sur un substrat étanche imperméable de plus de 20 mètres d'épaisseur qui empêche toute communication entre la nappe phréatique et la nappe méo-pliocène sous jacente. [11]

Cette nappe est alimentée par les eaux d'irrigations, les eaux de drainage, les fuites de réseau d'alimentation en eau potable (AEP), ainsi que les eaux usées et les rares précipitations qui contribuent à l'alimentation de la nappe. Elle est exploitée par des forages des puits dans certaines zones telles que : Bamendil, N'goussa, El Hadjira, et Taibet, et aussi elle considérée comme une source hydrique pour les palmeraies dites "bours". [12]

D'après l'ANRH (2005), le réseau de surveillance et de contrôle de la nappe phréatique est constitué de 157 piézomètres, les eaux de la nappe présentent une très forte salinité à cause de la dissolution des sels contenus dans les sables gypseux et argileux quaternaires et la concentration élevée des sels due à l'évaporation. [12]

I.8.2. Nappe du complexe terminal (C.T)

La formation du complexe terminal est très hétérogène, elles englobent trois aquifères différents séparés entre eux par des horizons semi-perméables ou imperméables, suivant la figure (I, 12), dans la cuvette de Ouargla, seules la nappes du méo-pliocène et la nappe du sénonien qui sont exploitées.

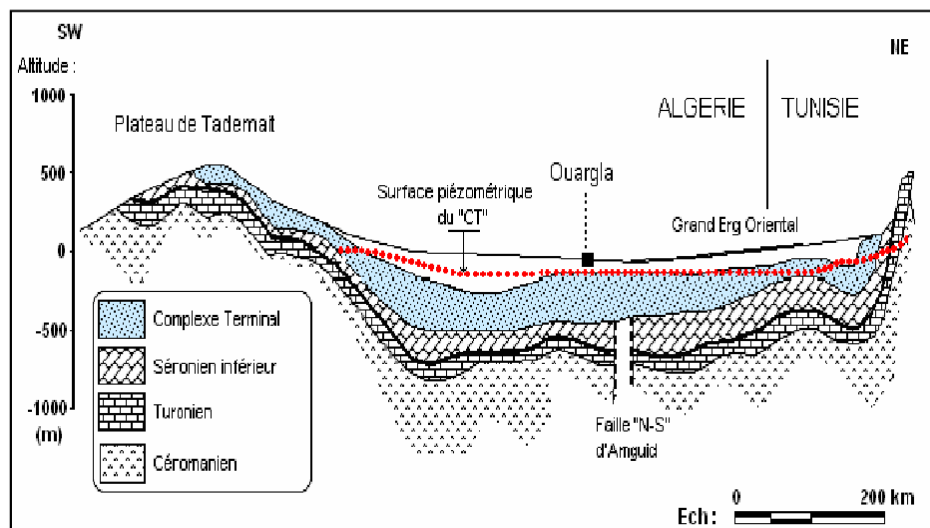


Figure (I, 12): Coupe hydrogéologique transversale du complexe terminal (C.T) d'après UNESCO 1972. [11]

I.8.2.1. Nappe du mio-pliocène

Elle est composée de couches perméables de grès, de sable et de sable grossier dont la profondeur varie entre 30 à 60 mètre, les eaux de cette nappe se caractérisent par une faible salinité varie entre 1,8 à 4 g/l, et parfois atteint 7g/l avec une température de 23 à 25 °C. Ces eaux sont exploitées par des forages des puits avec une capacité de pompage de 15 à 40 l/s, pour l'irrigation des palmeraies et l'alimentation de l'eau potable de certains points de la ville de Ouargla [3,11].

I.8.2.2. Nappe du sénonien

Elle est formée de couches perméables de calcaires et de dolomite, dont la profondeur d'exploitation varie entre 140 et 200 m. Les eaux de cette nappe sont caractérisées par une faible salinité qui varie entre 2,5 et 3,6 g/l, ces eaux sont utilisées pour l'alimentation domestique et agricole. [6, 12]

I.8.3. Nappe Continentale Intercalaire (C.I)

La nappe continentale intercalaire couvre une surface d'environ 600.000 Km², elle est continue du Nord au Sud depuis l'Atlas saharienne jusqu'au Tassili et le Hoggar, de l'Ouest à l'Est, depuis la vallée de la Saoura jusqu'au désert libyen, elle est caractérisée par une profondeur variable augmente du Sud au Nord de moins de 1000 m au bas du Sahara, à plus de 2000 m sous les chotts, la profondeur d'exploitation au niveau de la ville de Ouargla varie entre 1150 et 1350 mètres. [11]

Cette nappe est contenue dans les dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du crétacé inférieure. Sa lithologie est formée de 10% de grés, de 10% à 50% de grés argileux et 50% d'argile. [3]

Selon l'ANRH en Janvier 2005, cette nappe est un réservoir de l'eau douce de faible teneur en sel (2 g/l) et de température qui dépasse parfois 60 °C, elle est exploitée par la ville de Ouargla en deux forages avec un débit de 7 Hm³ par mois. [12]

Conclusion

Nous concluons que la cuvette de Ouargla est caractérisée par un climat sec et chaud, ayant de hautes températures en Eté atteignant plus de 47,91°C. Les sols dans la région sont riche en sels très agressives soient des sulfates ou/et des chlorures, et aussi l'existence de nappe phréatique proche à la surface est de très forte salinité, ces caractéristiques de la région d'étude influent sans doute négativement sur la durabilité des constructions qui y sont réalisées voir les ouvrages souterrains surtout les fondations et les réseaux d'assainissements (conduites et regards).

Partie II: Assainissement de la ville de Ouargla et les caractéristiques des conduites utilisées pour l'évacuation des eaux usées.

La région de Ouargla se caractérise par un réseau d'assainissement urbain à système unitaire (réseau unique), ce réseau assure l'évacuation des eaux usées résiduelles dans la ville de Ouargla vers les points de rejets, par l'utilisation des différents types des conduites soient des conduites en béton (CAO) ou/et (CAP), ou fabriquées par une autre matière en PRV ou en PVC.

I.9. Assainissement de la région de Ouargla

I.9.1. Réseau d'assainissement urbain et localisation des points de rejets

Le réseau d'assainissement de la ville de Ouargla est de type unitaire, ce réseau est allongées sur une longueur de 120 Km, dont le diamètre varient de 200 mm pour les canalisations secondaires à 1800 mm pour les collecteurs principaux, nous distinguons aussi des réseaux d'assainissement selon le mode autonome, mais la majorité des citoyens sont raccordés au réseau d'égout.

Le canal d'évacuation des eaux usées dans la ville de Ouargla est composé de deux parties, l'ancienne partie est réalisée depuis 1983, où l'eau usée est évacuée vers un seul point des rejet Ain Beida (le chott de Ain Beida). Les travaux d'exécution de la deuxième partie ont commencé en 1991 à partir de chott jusqu'à Hai El Nasr, en passant par le point de rejet de Bamendil créer en (1992), Chott (1993) et Said Otba (1993), le raccordement des effluents de Bamendil village (1998), Bouameur (2000) et la création de point de rejet de la route de Ghardaïa en (1998). [13]

Ce réseau couvre actuellement les trois communes : Ouargla, Rouissat et Ain Beida. Il dispose de 66 stations de pompages (relevage et refoulement). Ces trois communes sont raccordées au réseau public, dont la proportion de raccordement au réseau d'assainissement au niveau de chaque commune est comme suit : 70% pour Ouargla, 50% pour Rouissat et 80% pour Ain Beida. [13]

Mais à partir de 2009, Les eaux usées de la région de Ouargla sont orientées vers la station d'épuration pour lagunage par refoulement. La station de lagunage se situe au nord de

Said Otba ayant pour objectif principal le traitement des eaux usées brutes de Ouargla. Elles sont agglomérées aux bassins de station d'épuration par l'intermédiaire de cinq stations de refoulement, qui amènent les eaux usées des stations de pompage nœuds hydrauliques à savoir : Chott, Sidi Khouiled, la nouvelle station de pompage caserne/hôpital, la station de pompage Douane, et la route N'Goussa. Les eaux épurées sont évacuées par gravité vers le canal de transfert vers la Sebkhha de Safioune à travers le chott d'Oum-Er-Raneb. Généralement, l'évacuation des eaux épurées suit un programme proposé par l'ONA de Ouargla. [14]

I.9.2. Caractéristiques des conduites utilisées dans les réseaux d'assainissement

Généralement, à cause de l'agressivité du sol de la ville de Ouargla, tous les ouvrages d'assainissement (regards et conduites) sont réalisés en béton de ciment de type CRS (ciment résistant aux sulfates), les regards sont implantés tous les 30 m d'environ. Aussi, le choix des conduites d'assainissement est fait en fonction du niveau de la nappe, des surcharges, des caractéristiques des conduites fournies, de la pente du terrain d'installation et du débit d'évacuation des eaux usées dans les collecteurs. [6]

Au sein des travaux d'excavation des fouilles au cours de la réalisation du projet d'assainissement de la ville de Ouargla, et dans quelques tranches, la nappe phréatique est plus proche à la surface et d'une haute salinité, pour cela les entreprises de réalisation ont apportées plusieurs changements et modifications sur l'étude réalisée par BG, parmi ces modifications on note : modification des pentes des collecteurs, élimination totale des conduites en acier (AC) du projet, et leur remplacement par des conduites en PRV ou en PVC (voir la photo (I, 01)).

D'après l'étude réalisée par BG en 2004, nous présentons au tableau (I, 01) quelques types de conduites utilisées dans l'assainissement de la ville de Ouargla, et leurs caractéristiques hydrauliques.

Tableau (I, 01): Caractéristiques et types des conduites utilisées dans le réseau d'assainissement de Ouargla. [6]

Matériau de la conduite	Horizon 2030		Pente en ‰	Diamètre en (mm)	Longueur en (m)
	Q moyen en (l/s)	Q pointe en (l/s)			
PVC	1 à 11	1 à 20	4.0 à 18.0	300	19.642
CAP	1 à 32	3 à 58	3.0 à 4.0	400	11.299
	20 à 57	40 à 102	3.0 à 4.0	500	4.369
	1 à 138	2 à 235	4 à 10.0	600	1.371
	13 à 111	27 à 200	4.0	700	1.550
	249	435	4.0	800	11
	80 à 100	160 à 200	3.0	1100	1.242
AC	24	48	-3.0 et 6.0	200	2.627
	55 à 65	95 à 120	-3.0 et 6.0	300	4.480
	91 à 159	181 à 239	-3.0 et 6.0	400	5.874
	338	589	-3.0 et 6.0	500	4.300
	277	416	-3.0 et 6.0	600	3.492



Photo (I, 01): Emplacement des conduites en PRV dans le projet d'assainissement de Ouargla. [14]

Les conduites en PRV sont utilisées dans une tranche de la Route nationale N°49 (avenue de Palestine) sur une longueur de 500 m, dont le diamètre est de 1100 mm, et dans un tronçon au côté de l'hôpital de Mohammed Boudiaf sur une longueur de 250 m, dont le diamètre est de 700 mm [3]. Les canaux reliant la station d'épuration (S.T.E.P) et les points de rejets à savoir : la sebkha de Safioune, et Oum-Er-Raneb, les conduites utilisées sont en PRV et en CAP. [14]

I.9.3. Caractéristiques physiques et chimiques des eaux usées de Ouargla

Les eaux usées dans la ville de Ouargla sont essentiellement de type domestique, malgré que ces eaux sont évacuées avec les eaux usées industrielles (des stations de lavage, de rejets des huiles et des acides de batteries à partir des stations de vidange des véhicules, et des petites industries) dans un seul collecteur sans aucun traitement au préalable, ces eaux sont fortement sulfatées et provoquent un haut dégagement de gaz H₂S.

Les eaux de la nappe phréatique sont plus proches à la surface et de forte salinité, ces eaux sont drainées vers les collecteurs avec les eaux usées. [6]

Encore, les eaux usées contiennent des métaux lourds qui proviennent des déchets des hôpitaux. Même après l'épuration au S.T.E.P, ces minéraux restent dans l'eau épurée et sont évacuées aussi dans collecteurs vers les points de rejets.

Le tableau (I, 02) résume les résultats des analyses physico-chimiques annuelles des eaux usées de la S.T.E.P de Ouargla en 2012.

Tableau (I, 02): Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques annuels de l'eau usée brute de la S.T.E.P de Ouargla en 2012. [14]

désignation	Signification	unité	valeur
pH	-	-	7,78
Conductivité	-	µs/cm	15200
Salinité	-	g/l	9
Température	-	°C	24,32
DCO	Demande chimique en oxygène	mg/l	274,87
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène	mg/l	152,52

MES	Matière en suspension	mg/l	310,45
N-NO ₃	Nitrates	mg/l	2,30
O ₂	oxygène	mg/l	0,8
N-NO ₂	Nitrites	mg/l	1,74
N-NH ₄	Ammonium	mg/l	26,93
N _t	Azote total	mg/l	48
P _t	Phosphore total	mg/l	2,67

Les paramètres minéralogiques globaux des eaux usées dans quelques zones de la ville de Ouargla en 2011, sont présentés sur le tableau (I, 03) ci-après :

Tableau (I, 03): Résultats des analyses des paramètres minéralogiques globaux des eaux usées de Ouargla en 2011. [3]

	Unité	Bamendil	Sebkhet Oum Er-Raneb	Chott
T.H *	mg/l	18500	77000	4960
Ca ⁺²	mg/l	480.96	3366.72	480.96
Mg ⁺²	mg/l	21023.82	83366.15	4559.34
T.A.C *	mg/l	290.90	134.54	240
K ⁺	mg/l	234	8900	156
Na ⁺	mg/l	4600	82800	1150
Cl ⁻	mg/l	12784.00	160783.42	1524.46
SO ₄ ⁻²	mg/l	19420	39710	4840

* T.A.C: Titre alcalimétrique complet, T.H : Titre hydrométrique ou dureté totale.

Nous concluons d'après ces analyses que :

Le pH est légèrement basique, cet eau est agressive et contient un excès de minéraux bicarbonates ($4 < \text{pH} < 8,5$), [15]. La valeur élevée de T.A.C traduit l'agressivité des eaux usées, ou la forte teneur en éléments Calco-carboniques dans les eaux usées.

Ces eaux sont caractérisées par une température élevée et de haut degré de salinité, et aussi par des valeurs de conductivité et de dureté totale très élevés, donc ces valeurs traduisent l'existence de concentrations très élevées des sels minéraux solubles de calcium et de magnésium dans l'eau usée de Ouargla.

Les valeurs des DCO, DBO₅ et M.E.S sont très élevées, donc cet eau est très polluée, et contient une concentration très faible en oxygène (O₂) soit une faible aération dans les conduites supports.

D'après la norme européenne NF P 18-011, ces eaux sont fortement agressives étant donné qu'ils ont une teneur de sulfates qui dépasser 1500 mg/l, de teneurs de magnésium sont supérieure à 3000 mg/l, et aussi de concentration d'ammonium élevée varient entre 15 et 30. [16]

Plus encore, Ces eaux sont caractérisées par une forte teneur en chlorures qui les rend agressives et de risque élevé quant à la corrosion des armatures du béton armé qui fait partie intégrante des ouvrages des réseaux d'assainissement.

I.10. Conduites à base de ciment

I.10.1. Conduites CAP et CAO

Actuellement, dans les projets d'assainissement de Ouargla, les conduite centrifuges armées en précontrainte (CAP), et Conduites centrifuges armées ordinaire (CAO) sont utilisées.

Ces conduites sont fabriquées en béton armé, de section circulaire, dont le diamètre varie entre 300 et 1100 mm, les tableaux (I, 04) et (I, 05) présentent les caractéristiques géométriques des conduites CAP et CAO.

Tableau (I, 04): Caractéristiques géométriques des conduites en CAP. [17]

Diamètre nominal des tuyaux en mm	500	500	500	600	700	700	800	800	1100	1100
Longueur en mm	7100	6700	6660	7100	7100	6740	7000	6760	7350	6700
Epaisseur en mm	50	50	50	50	60	60	70	70	70	70

Tableau (I, 05): Caractéristiques géométriques des conduites en CAO. [17]

Diamètre nominal des tuyaux en mm	300	400	500	600	700	800	1100
Longueur en mm	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Epaisseur en mm	40	40	50	50	60	70	90

I.10.2. Caractéristiques des conduites en béton

I.10.2.1. Propriétés des matériaux de construction (granulats et aciers)

a. Forme et dimension des granulats

Les granulats utilisés pour la confection du béton pour les conduites sont :

Le sable naturel provenant de différentes carrières de Ouargla, ce sable est de classe granulaire (0/5), dont la masse volumique apparente est comprise entre 1400 et 1800 kg/m³.

Le gravier concassée provenant aussi de différentes carrières de Ouargla, il représente plus de 50% du mélange, ce gravier contient des grains ayant différentes formes qui varient entre : ronds avec des surfaces lisses, cubique avec surfaces rugueuses ayant des angles vifs, allongée, aiguillette et aplati. Ce gravier est des classes granulaires (3/8) et (8/15), dont la masse volumique apparente varie entre (1300 à 1700 kg/m³), et ayant un Los Angeles inférieure à 35 soit d'une dureté acceptable. [17]

b. Propriétés de l'acier

Pour la fabrication des conduites CAP et CAO, des barres de haute adhérence de Ø8 ou (HA8) sont utilisés. Ces barres sont caractérisées par une résistance à la traction de 400 MPa ou (Fe400), dont la teneur de carbone est comprise entre 2×10^{-3} et 4×10^{-3} soit d'une rigidité convenable.

Des aciers doux de Ø6 sont utilisés pour la confection des spires des conduites.

Toute fois, les conduites de CAP se distinguent par l'introduction des câbles de précontrainte de Ø 6. Ces câbles sont fabriquées en acier cranté dur type R 160 (selon la fiche technique y afférente), et par l'enroulement de plusieurs files en acier, dont la force de tension de précontrainte atteint 132 kg/mm². [17]

I.10.2.2. Propriétés du béton des conduites

a. Ouvrabilité ou la plasticité

La confection du béton des conduites se fait par l'utilisation de ciment de type CRS ayant un dosage de 400 Kg/m^3 , dont le rapport E/C est variable selon le béton projeté à savoir : plastique ou très plastique d'après l'essai au cône d'Abrams. [17]

b. Résistance mécanique

La résistance à la compression du béton des conduites est testée à l'essai sclérométrique, par l'application de scléromètre en plusieurs points de la conduite, d'après les documents techniques de TRANS-CANAL (unité de Ouargla), la résistance à la compression du béton des conduites varient entre 34 et 40 MPa. [17]

c. Retrait et fluage

Le retrait est un phénomène de raccourcissement des éléments en béton frais sous l'effet de l'hydratation des grains de ciment qui sera favorisé par l'élévation de température, notamment dans les régions très sèches (Sahara) celui ci est égale à 0,0005. Le fluage est la déformation du béton soumis à l'action d'une charge à longue durée, généralement la déformation de fluage est de 4 à 5 ‰ de longueur au bout de 3 ans. [18]

d. Dilatation thermique

Ce coefficient est assez difficile à préciser, il dépend de la nature, de la grosseur des granulats et de la qualité du béton, généralement il varie entre 0.6×10^{-5} et 1.4×10^{-5} . [18]

e. Coefficient d'élasticité et Coefficient de poisson

Le module d'élasticité du béton destiné aux conduites varie de 100000 à 350000 bars, alors que le coefficient de poisson est compris entre 0,15 à 0,30. [18]

f. pH du béton

Les produits finaux d'hydratation du béton induisent un matériau ayant un pH compris entre 12,5 à 13, donc le béton est classé comme étant un matériau basique. [19]

I.10.3. Technique de fabrication des tuyaux en béton

La fabrication des tuyaux en CAP et en CAO dans l'usine de TRANS-CANAL/EST à l'unité de Ouargla, se fait selon les étapes suivantes (voir la photo 01 en annexe) :

- ✓ Laver les matériaux de construction (sable et gravier) aux bassins de lavage.
- ✓ Enrouler les armatures de Ø 6 sous forme de spires continues suivant la longueur de la conduite, dont l'espacement de 9 cm entre spires. Le diamètre et le nombre des spires sont variables, reliés au diamètre et la longueur de la conduite, l'enroulement des spires se fait par un appareil de spire manuel ou par un appareil de spire électrique.
- ✓ Souder les barres transversales de Ø 8 sur les spires, dans chaque coin placer deux barres de Ø 8, le nombre des barres soudées sont reliées par le diamètre de la conduite.
- ✓ Préparer les câbles de précontraintes par un appareil de pitonnais (de marque CASAGRANDE), par l'emplacement du nez d'un côté du câble, et création de deux soudures aux cotés du câble. Le nombre des câbles de précontraintes au périmètre est relié au diamètre de la conduite.

Les tableaux (I, 06) présentent le nombre des aciers durs, le nombre des spires et la longueur de précontrainte appliquée aux conduites CAP :

Tableau (I, 06): Caractéristiques des conduites en CAP. [17]

Diamètre nominal des tuyaux en mm	500	500	500	600	700	700	800	800	1100	1100
Longueur en mm	7100	6700	6660	7100	7100	6740	7000	6760	7350	6700
Nombre des spires de Ø 6	81	77	76	81	81	77	80	78	93	85

Nombre des câbles de précontrainte	8	8	6	8	8	10	14	14	16	16
Longueur de précontrainte en mm	7200	6800	6800	7200	7200	6800	7100	6900	7450	6800

- ✓ Huiler le moule par la graisse, et placer le ferrailage préparé dans le moule CAP, ce moule est composé par deux moules de CAO, un cocker, et enfin la tulipe.
- ✓ Placer une plaque pour fixer le coté libre du câble à la tulipe, et aussi l'emplacement un manchon aux nez, pour tirer les câbles de précontraintes par un pistolet de vérin de pression de 132 kg/mm².
- ✓ Utiliser un pont métallique de 10 tonnes de force, pour en lever le moule préparé.
- ✓ Préparer des gâchés de béton par les matériaux lavés, la bétonnière contient 04 gâchés de 0,5 m³ de volume, et après, transporter le béton vers le moule au bais d'un tapi chargeur pour coulage du béton.

Le tableau (I, 07) présente deux exemples de formulation de béton pour les conduites CAP et CAO.

Tableau (I, 07): Exemple Formulation de béton pour des conduites CAP et CAO. [17]

Types des conduites	Ciment en (Kg)	Sable en (Kg)	Gravier 3/8 et 8/15 en (Kg)	Eau en (L)
CAP	400	567	1237	191
CAO	400	576	1162	232

- ✓ Assurer la rotation du moule remplis en béton par un châssis, dont la vitesse est de 65 tr/mn pendant une heure de temps, pour vibrer le béton et lui donner une bonne

compacité. Mais pour les moules des conduites de diamètre de 1100 mm, la rotation est d'une période d'une heure et demi, jusqu'au séchage du béton.

- ✓ Poser le moule remplis en béton à l'air libre, pour une durée qui varie entre 30 minutes à 1 heure, puis faire le séchage du moule remplis en béton sous l'effet d'une température fixée, jusqu'à 75°C, mais dans les cas usuels, les conduites sont laissées à l'air libre pendant une durée de 24 heures.
- ✓ Décoffrer le moule par un portique métallique de 10000 kg de poids, puis éliminer les ségrégations des conduites par une quantité de pâte de ciment préparée.

Remarques

- ✓ Dans les conduites CAO, les câbles de précontraintes ne sont pas utilisés, le moule du CAP qui produit une seule conduite de son genre, peut fournir deux tuyaux de CAO.
- ✓ La longueur des conduites en CAO est fixée à 3 m, les aciers utilisés sont de diamètre 6 mm ou/et de 8 mm, les spires sont placées avec un espacement de 9 cm, mais le nombre des aciers longitudinaux est variable selon le diamètre de la conduite.
- ✓ les conduites fabriquées sont conservées au milieu humide pendant une semaine, pour accélérer et assurer de bonnes conditions d'hydratation du béton.

I.11. Conduites en PRV

I.11.1. Définition des tuyaux PRV

Le terme PRV signifie le polyester renforcé en fibre de verre, mais en anglais est connu par l'abréviation FRP (fiber reinforced polyester). Ces conduites sont utilisées dans les projets d'assainissement ou d'alimentation en eau potable, Elles sont généralement préférées grâce à leurs facilités d'installation et leur très longue durée de vie, même en présence de fluides agressifs. [20]

I.11.2. Caractéristiques des matériaux utilisés pour le PRV

Les matières premières utilisées dans la fabrication des conduites en PRV sont:

a. Fibres de Verre

Ce sont des microfibrilles de verre borosilicate de couleur blanche, elles sont obtenues à partir du sable (silice) et d'additifs (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore), ces fibres sont spécifiées en unité de tex ou (1 g/km) et ayant 2,55 Kg/dm³ de densité, dont le diamètre est compris entre 30 et 200 micromètres, et représentent une teneur qui varie entre 60% à 70% du poids de la conduite. [21,22]

Pour la fabrication des conduites en PRV, deux types de fibres sont utilisés voir la photo (I, 02).

- ✓ **Fibres continues** : ce sont des filaments constitutifs sous forme de boucles, elles sont utilisées dans différents tex pour le renforcement dans le sens circonférentiel, ainsi elles augmentent la résistance mécanique des conduites sous l'effet des contraintes principales extérieures.
- ✓ **Fibres coupées**: ce sont des fils coupés mis directement dans la machine ayant des longueurs relativement faibles (3, 4, 5, 6, 12 et 25) mm, elles prennent de sens différents dans la conduite pour donner un matériau de bonne résistance circonférentielle et axiale. [20,23]

Le tableau (I, 08) présente les caractéristiques des fibres en verre de type C, utilisées pour la fabrication des éléments en PRV à l'usine de MAGHREB PIPE de M'Sila:

Tableau (I, 08): Caractéristiques des fibres en verre de type C. [23]

Contrainte à la rupture en traction (MPa)	3300
Module d'élasticité en traction (GPa)	70,3
Taux d'allongement à la rupture en traction (%)	4,8

Ces fibres sont caractérisées par : [23]

- ✓ Bonnes caractéristiques mécaniques en plus de leur légèreté.

- ✓ Bonne résistance thermique.
- ✓ Compactibilité avec les résines.
- ✓ Adaptabilité aux procédés de mise en œuvre.

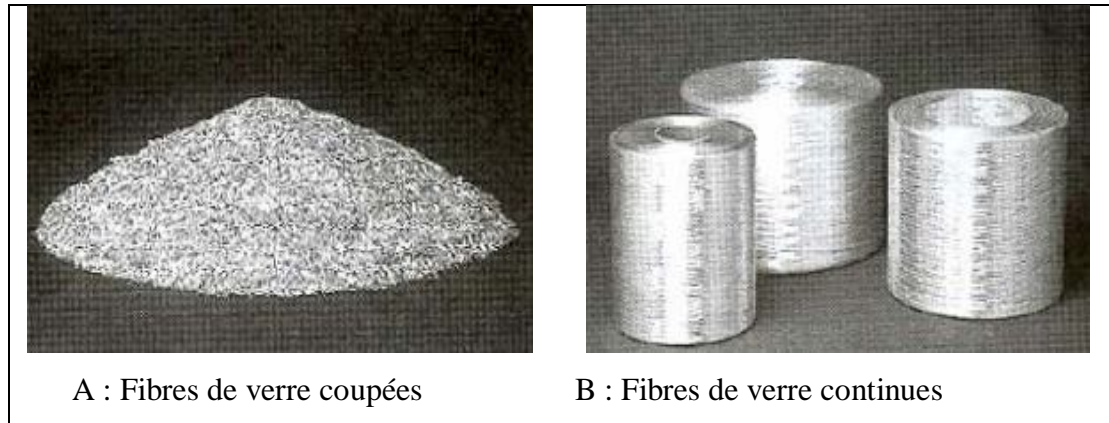


Photo (I, 02) : Types des fibres de verre utilisés.

b. Résine

Les éléments en PRV sont fabriqués par l'utilisation de résine polyester insaturée, rigide, thixotrope, pré-accélérée et à basse réactivité. Deux types de résines polyester sont utilisés à savoir Orthophtalique ou/et Isophtalique (voir la photo (I, 03)), ces résines sont caractérisées par :

- ✓ Faible viscosité et de coloration généralement bleuté.
- ✓ Temps de gel court.
- ✓ Excellent pouvoir d'unification et de renfort avec les fibres de verre.
- ✓ Possibilité d'imprégnation et d'épaisse stratification.

La préparation de résine dans l'atelier se fait à la température qui varie entre 15 et 35°C et une humidité ne dépassant pas 80%, la résine livrée par le fabricant peut être diluée sur la machine avec du styrène, pour atteindre la viscosité requise et acceptable selon la technologie de Technobell. [24]



A : Résine Isophtalique

B : Résine Orthophtalique

Photo (I, 03) : Types des résines polyester utilisés pour la fabrication des éléments en PRV.

Le tableau (I, 09) présente les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des résines Orthophtaliques utilisées pour la fabrication des éléments en PRV.

Tableau (I, 09): Propriétés de la résine Ortho-phtalique. [25]

Couleur	Bleuté
Temps de gel au pic exothermique (138 °C) en (mn)	15
Point éclair en (°C)	$23\text{ °C} < PE \leq 55\text{ °C}$
Absorption d'eau en (%)	0.15
Limite élastique à la traction en (kg/cm²)	600
Force de flexion en (kg/cm²)	1050
Dureté BARCOL	45
Elongation de rupture en (%)	1.9
Durée de conservation au stockage en (mois) Sous l'effet de température maximale de 30 °C	3

c. Catalyseur

Pour commencer la polymérisation de résine avant l'application sur le mandrin, une quantité de catalyseur comprise entre 1 et 2,5 % est ajoutée en poids par rapport à la résine, bien que tout excès ou défaut entraîne la polymérisation anormale, donc mauvaises propriétés mécaniques [26], voir la photo (I, 04).



Photo (I, 04): Catalyseur des résines polyesters.

d. Sable

Le sable utilisé est un sable ayant une haute teneur en silice, dont la granulométrie est inférieure à 0,25 mm. Il est ajouté au cours de la fabrication des tuyaux et mélangé avec la résine, toute fois, il est à préciser que le sable est additionné seulement pour les conduites de grande diamètre ou qui dépassent 1200 mm, ayant pour but d'augmenter la résistance mécanique, de donner une rigidité supplémentaire, et de minimiser le cout de fabrication. [26]

e. Additifs

Les additifs sont utilisés comme accélérateurs de la polymérisation de la résine, ils sont ajoutés dans le mélange quotidiennement, le plus connu et le couramment ajouté est la solution d'Octoate de Cobalt, les additifs sont disponibles sous différentes concentrations et peuvent être dilués par le fournisseur pour atteindre les concentrations requises pour la production des tuyaux en PRV. [21, 24]

I.11.3. Technique de fabrication des tuyaux PRV

Il existe quatre techniques de fabrication d'éléments en PRV : regards, conduites, éléments de raccordement (voir la photo 02 en annexe), à savoir : fabrication au contact,

enroulement de la machine sur mandrin, enroulement machine sur tube primaire et par Centrifugation.

La technique la plus utilisée est l'enroulement de la machine sur mandrin (voir la photo 03 en annexe), qui illustre l'enroulement mécanique des fils de verre imprégnés sur un mandrin tubulaire, préalablement revêtu d'une couche constituant la paroi intérieure du tuyau, cette méthode de fabrication des tuyaux est développée à la fin des années 60 par M. Drosthholm, et dont l'élément principale de production est le mandrin qui est constitué d'un feuillard continu d'acier s'enroulant autour de poutrelles axiales. Une fois l'extrémité des poutrelles atteinte, le feuillard se déroule, passe au milieu du mandrin et finit sa boucle en réamorçant l'enroulement. Ainsi, le mandrin se comporterait un peu comme une vis sans fin selon la figure (I, 13). [27]

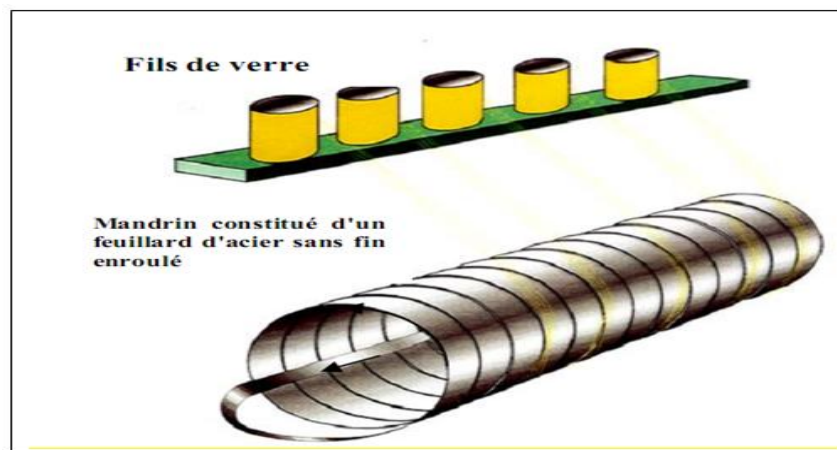


Figure (I, 13): Théorie du mandrin à avance continue en feuillard d'acier. [27]

Les étapes de fabrication des conduites en PRV par l'enroulement filamentaire continue se présentent comme suit :

- ✓ préparations des matières premières soient des fibres de verre continues et coupées, silice de sable, les charges minérales et la résine. Cette dernière est introduite au four de polymérisation sur le mandrin à l'état liquide, pour fabriquer un voile de surface qui donne la structure intérieure du tuyau.
- ✓ Sur ce mandrin, sont enroulés des filaments continus de verre. Au même temps, la résine s'y écoule en nappe. Afin d'ajouter une tenue axiale au tube, des fibres coupées tombent en pluie en tous sens sur le mandrin et sont plaquées par les fils continus. Enfin la composition est complétée avec du sable. La zone de dépôts des matières est large et sa composition depuis le point le plus proche du début du mandrin correspond

à celle de la structure du tube de l'intérieur vers l'extérieur suivant la figure (I, 14). [27]

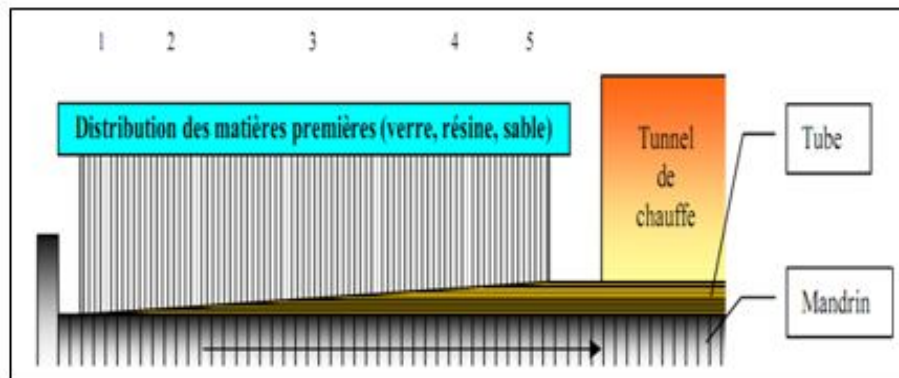


Figure (I, 14): Méthode de fabrication des conduites ou des éléments en PRV. [27]

- ✓ Ainsi, les zones successives de dépôt des matières produiront les couches successives constituant le tube, de l'intérieur vers l'extérieur. Cela permet de réaliser aussi des structures sandwich apportant au tube une rigidité supplémentaire, et d'obtenir un matériau homogène dans toute son épaisseur, ce qui évite les risques de délamination par infiltration d'eau.
- ✓ Pour les conduites dont le diamètre est inférieure à 300 mm, elles sont fabriquées sur une machine d'enroulement en discontinu sur des mandrins d'acier monobloc, soient à mandrin simple ou à mandrin multiple, et le mode de fabrication est semblable. [26]
- ✓ A la fin de fabrication, on peut obtenir des tubes légers et en toute longueur, et d'une résistance à la pression interne très élevée, d'une structure homogène et de rigidité très élevée, la figure (I, 15) présente une coupe de conduite en PRV.

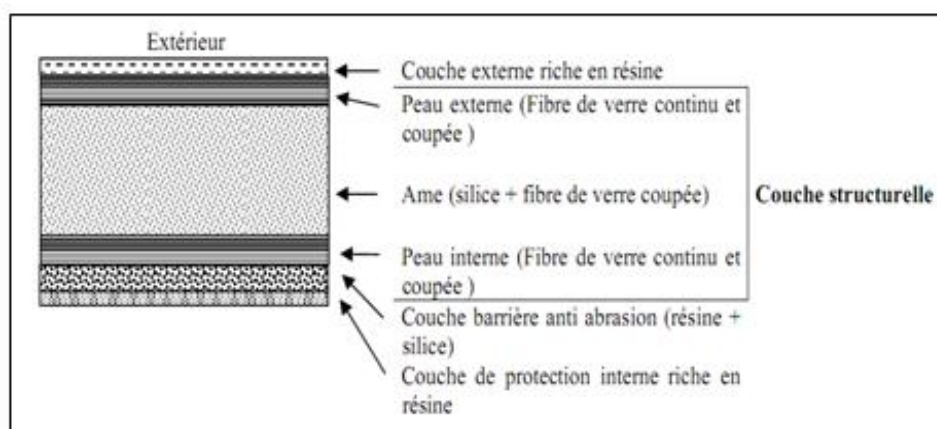


Figure (I, 15): Structure du tuyau en PRV de l'intérieure vers l'extérieure. [27]

I.11.4. Caractéristiques des conduites en PRV

I.11.4.1. Caractéristiques mécaniques

a. Dimensions des tuyaux

Les tuyauteries en PRV sont commercialisés en diamètres nominaux de DN 80 à DN 3000 mm. Il existe aussi la possibilité de fabriquer des tuyaux de plus grands diamètres de DN 3000, jusqu'à 4000 mm sur commande.

La longueur standard des tuyaux en PRV est de 6, 12 et 18 mètres, il existe aussi la possibilité de fabriquer des tuyaux d'autres longueurs sur commande, mais pour les tuyaux inférieur à DN 300 sont d'une longueur maximale de 6 m.

L'épaisseur des conduites sont reliés à la pression nominale appliquée aux conduites, l'épaisseur inférieure pour une pression de 1 bar est égale à 2,9 mm, alors que pour les grandes pressions ou les grands diamètres, l'épaisseur est soumise à des essais de contrôle appropriés. [21]

b. Classes de rigidité

Le tableau (I, 10) présente les classes de rigidité initiale des conduites en PRV, elle est exprimée en (N/m^2) :

Tableau (I, 10): Classes de rigidité des conduites en PRV. [21]

Classe de rigidité (SN)	2500	5000	10000
Rigidité en (N/m^2)	2500	5000	10000

c. Classe de résistance mécanique

Le tableau (I, 11) présente les valeurs de résistance mécanique soient à la traction, à la compression, à la flexion et au choc des éléments en PRV.

Tableau (I, 11): Classes de résistance mécanique des conduites en PRV. [28]

Résistance mécanique	Longitudinale	Transversale
Résistance à la flexion en (MPa)	200 - 900	40 - 100
Résistance à la traction en (MPa)	140 - 700	30 - 70
Résistance à la compression en (MPa)	150 - 400	70 - 100
Résistance au choc en (Kg cm/cm²)	80 - 125	60 - 100
Module de Young (E) de flexion en MPa	14000 - 40000	4000 - 8000

d. Pression nominale

Le tableau (I, 12) présente les pressions appliquées aux tuyaux destinés aux réseaux des eaux brutes et les réseaux d'assainissement, exprimée en (bar) :

Tableau (I, 12): Classes de pression des conduites en PRV. [21]

Classe de pression en (PN)	1	6	10	16	20	25	32
Pression de service en (bar)	1	6	10	16	20	25	32
Diamètre maximal en mm	3000	3000	3000	3000	3000	2400	1800

e. Débit

Les conduites en PRV se caractérisent par une surface intérieure lisse, cette dernière permet un débit moyen de 3,00 m/s et des pertes de charge très faible pendant l'évacuation des eaux, en cas où l'eau véhiculée est propre et ne contient aucune matière abrasive, le débit est égale à 4,00 m/s. [29]

f. Coefficient de fluage

Généralement, pour les matériaux composites, il correspond la diminution des capacités mécaniques (la rigidité) au court du temps, pour les conduites en PRV, il est égal à 0.6. [30]

g. Coefficient de sécurité sur le matériau

D'après le Fascicule 70, les coefficients à appliquer sont : [30]

- ✓ Canalisation non visitable $DN < DN1000$ 1.20
- ✓ Canalisation visitable $DN \geq DN1000$ 1.32.

h. Allongement à long terme admissible

L'allongement à rupture se déterminé par l'extrapolation à 50 ans égale à 0.66%. Ce résultat diminue le facteur de sécurité des conduites [30], donc :

- ✓ Canalisation non visitable $DN < DN1000$ 0.55
- ✓ Canalisation visitable $DN \geq DN1000$ 0.50

i. Ovalisation relative maximale à court et à long terme

Le calcul d'ovalisation prend en considération la déformation du tuyau sous son poids propre, il est estimé à 1% DN du tuyau en PRV, le tableau (I, 13) présente les valeurs d'ovalisation des conduites en PRV aux états limites de service (ELS).

Tableau (I, 13): Ovalisation des conduites en PRV à court et à long terme. [30]

Diamètre nominal (DN)	Ovalisation verticale relative à court terme	Ovalisation verticale relative à long terme
$DN < 300$	$\leq 2.5\%$	$\leq 4\%$
$DN \geq 300$	$\leq 3\%$	$\leq 5\%$

I.11.4.2. Caractéristiques physico-chimiques

a. Résistance chimique

Le matériau PRV se caractérise par l'insensibilité vis-à-vis au gaz H_2S , aux mercaptans, à l'ammoniac, et il est de faibles coûts de maintenance. Ces tuyaux supportent une plage de pH de 1 à 10 et de bonne résistance à la corrosion, d'une durée de vie théorique allant jusqu'à 50 ans. [27]

b. Poids des tuyaux

Un faible poids par rapport aux conduites fabriquées en autres matériaux de diamètre et caractéristiques mécaniques équivalentes, par exemple : 25% du poids d'un tuyau en fonte et 10% du poids d'un tuyau en béton. [27]

c. Résistance à l'abrasion

Les premières couches de la structure intérieure du PRV, dont l'épaisseur est d'environ 1,2 mm, et d'après les essais d'abrasion qui ont été réalisés selon l'essai de Darmstadt, montrent une abrasion à 50 ans de 0.42 mm, donc ces conduites ont de bonne résistance vis-à-vis des dégradations chimiques en milieux agressifs. [27]

d. Etanchéité

Ces conduites sont faciles à raccorder et le système de manchonnage en PRV avec double emboîtement aux joints, a été testé et qualifié pour assurer une parfaite étanchéité à l'eau et à l'air. [27]

e. Résistance thermique

La température maximale admissible par les résines polyester utilisées dans la fabrication des tuyaux est de 40°C [27]. Les conduites en PRV supportent la température compris entre -50 °C et 180 C°. [28]

Conclusion

La région de Ouargla est caractérisée par un environnement ayant comme spécificité :

- ✓ Les eaux dans la nappe phréatique très proche à la surface est de haute salinité.
- ✓ Le climat sec et chaud, dont la température aux mois d'Eté qui atteint 48°C ou plus.
- ✓ Les sols sont très riches en sels des sulfates et des chlorures.

- ✓ Les eaux usées dans la région de Ouargla sont très fortement sulfatées et de forte dégagement de gaz H₂S.

Ces caractéristiques de la région peuvent influencer négativement la durabilité des réseaux d'assainissement dans la région de Ouargla.

Les conduites utilisées aux réseaux d'assainissement de Ouargla sont généralement soit en béton (CAO) et (CAP), ou aux autres matières (PRV) et (PVC).

Les conduites CAP et CAO sont fabriqués en l'atelier par les matières premières: granulats (sable et gravier), le ciment de type CRS et de dosage 400 Kg/m³.

Pour les regards utilisés, ils sont fabriqués en béton de ciment de type CRS et de dosage 400 Kg/m³.

CHAPITRE II

DURABILITE DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

CHAPITRE II: DURABILITE DES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

II. 1. Introduction

Le comportement chimique du béton exposé aux environnements agressifs, dépend de plusieurs facteurs à savoir : les propriétés des constituants du béton (eau, ciment, sable, gravier), la technique de mise en œuvre, les conditions climatiques et la nature des agents agressifs minérale soit-elle ou biologique.

La durée de vie des structures en génie civil situées aux environnements agressifs est variable, elle dépend du degré d'agressivité du milieu extérieure et de la vitesse d'altération du béton, cette dernière est liée à :

- ✓ L'altération des structures en béton par les eaux agressives.
- ✓ L'altération des structures en béton armée ou en acier par la corrosion des aciers.

Dans ce chapitre, on va relater quelques dégradations du béton destiné aux réseaux d'assainissement dans la région de Ouargla, et les causes principales des altérations du béton armé.

II.2. Notion de durabilité

La durabilité du béton des ouvrages en génie civil est définie comme étant la capacité du béton de rester en bonne forme et de bonne résistance mécanique à longue durée de vie sous l'effet des agents extérieurs soient des charges d'exploitations, dynamiques et autres; ou sous l'effet des milieux plus ou moins agressifs, tels que les eaux agressives (eaux usées, eaux de mer, eaux de la nappe....etc.).

On peut admettre que le béton est d'autant plus durable par la difficulté de pénétration des agents agressifs dans les réseaux poreux du béton, sa durabilité dépend de deux grandeurs physiques à savoir : la perméabilité et la diffusivité.

La perméabilité décrit un écoulement qui se produit sous gradient de pression, mais la diffusion c'est un transport à l'échelle moléculaire sous gradient de concentration, donc la perméabilité dans les matériaux poreux dépend de la taille des pores, alors que la diffusivité, elle ne dépend que de l'interconnexion des réseaux poreux. [31]

II.3. Morphologie de la microstructure du béton

II.3.1. Hydratation du ciment

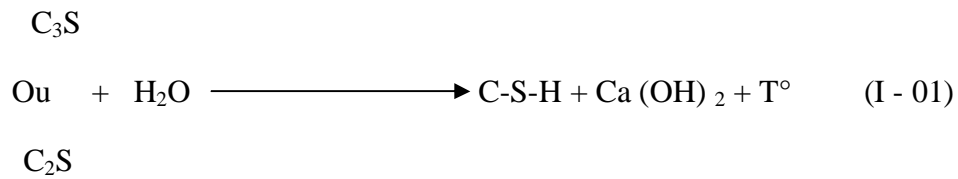
Le ciment n'est que le résultat du broyage du clinker après refroidissement et de l'ajout d'une quantité de gypse d'environ 5% comme régulateur de prise. Le produit de départ est le mélange des carbonates de calcium ou le calcaire (80%) et l'argile (20%), il cuit au four rotatif et sous l'effet de haute température (jusqu'à 1450 °C) où le clinker est obtenu. Les constituants principaux du clinker, qui représente à lui seul plus de 90% du ciment portland, sont les suivants :

- ✓ Silicate tricalcique C_3S ou $(3CaO \cdot SiO_2)$, dont le pourcentage entre (60% à 65%).
- ✓ Silicate bi calcique C_2S ou $(2CaO \cdot SiO_2)$, dont le pourcentage entre (10% à 20%).
- ✓ Aluminate tricalcique C_3A ou $(3CaO \cdot Al_2O_3)$, dont le pourcentage entre (8% à 12%).
- ✓ Alumino-ferrite tetracalcique C_4AF ou $(4CaO \cdot Al_2O_3Fe_2O_3)$, dont le pourcentage entre (8% à 10%).
- ✓ Autres (sulfates, alcalis, filler calcaire, impuretés, ...).

La pate de ciment hydraté est le résultat de la réaction chimique entre l'eau et le ciment, c'est un processus complexe où les principaux composés du ciment réagissent pour former des nouveaux composés insolubles, et ils durcissent avec le temps suivant la figure (II, 01). [32, 18]

La cinétique d'hydratation du C_2S est beaucoup plus lente que celle du C_3S , les C_3S sont hydratés totalement pour augmenter la résistance mécanique du béton à court terme, l'hydratation plus lente du C_2S après 28 jours, conduit à l'amélioration de résistance à long terme. [33]

L'hydratation du C_3S et du C_2S se fait selon l'équation chimique suivante :



L'hydratation des aluminates tricalcique (C_3A) est très rapide, et les produits finaux de cette réaction sont des sulfoaluminates dont la forme la plus connue est l'ettringite ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 31H_2O$), la prise est très courte que le ciment est riche en C_3A .

La réaction de l'Aluminoferrite tetracalcique C_4AF dégage peu de chaleur, et participe peu au développement de la résistance. [1]

Les produits finaux d'hydratation sont :

- ✓ Les silicates de calcium hydraté (C-S-H) qui jouent le rôle de colle qui solidarise les granulats entre eux pour former un matériau rigide, ils représentent de 25% à 40% du volume du béton.
- ✓ La portlandite [$Ca(OH)_2$] et les sulfoaluminates ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 31H_2O$).
- ✓ Des grains de ciment non-hydratés.
- ✓ Des espaces capillaires.

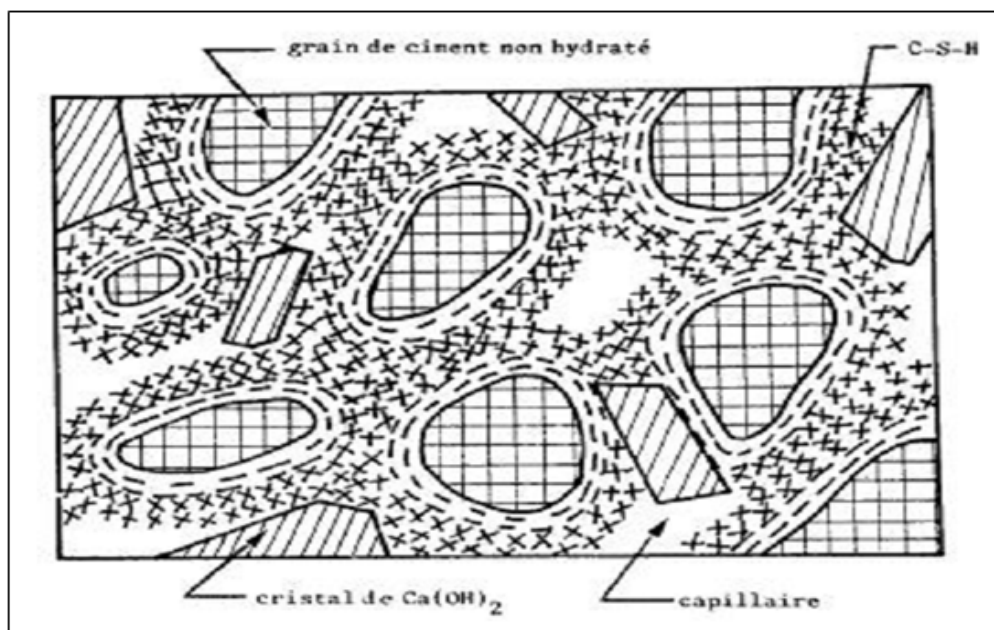


Figure (II, 01): Représentation schématique de la pâte de ciment hydratée. [1]

II.3.2. Nature de l'eau dans le béton

L'eau existante dans le béton n'est pas une seule phase homogène, mais elle se présente sous plusieurs états dans la matrice cimentaire hydratée, la méthode de classification de Sierra (1982), à titre d'exemple, consiste à diviser l'eau en deux parties : l'eau évaporable et l'eau non évaporable (Harmathy, 1965) comme montré sur la figure (II, 02).

L'eau non évaporable comprend :

- ✓ **L'eau adsorbée la plus liée:** qui correspond à l'eau fixée entre les feuillets des particules de gel C-S-H.
- ✓ **L'eau chimiquement liée :** il est consommée au cours des réactions d'hydratation du ciment, et aussi elle est combinée avec d'autres composantes à l'intérieure des hydrates.

Alors que l'eau évaporable elle comprend donc :

- ✓ **L'eau adsorbée la moins liée:** qui correspond à l'eau adsorbée sur la surface externe des particules.
- ✓ **L'eau capillaire:** elle est constituée de la phase condensée remplissant le volume poreux de la couche adsorbée et séparée de la phase gazeuse par des ménisques.
- ✓ **L'eau libre:** qui correspond à l'eau formée de la phase condensée qui n'est plus dans le champ d'influence des forces superficielles. [1]

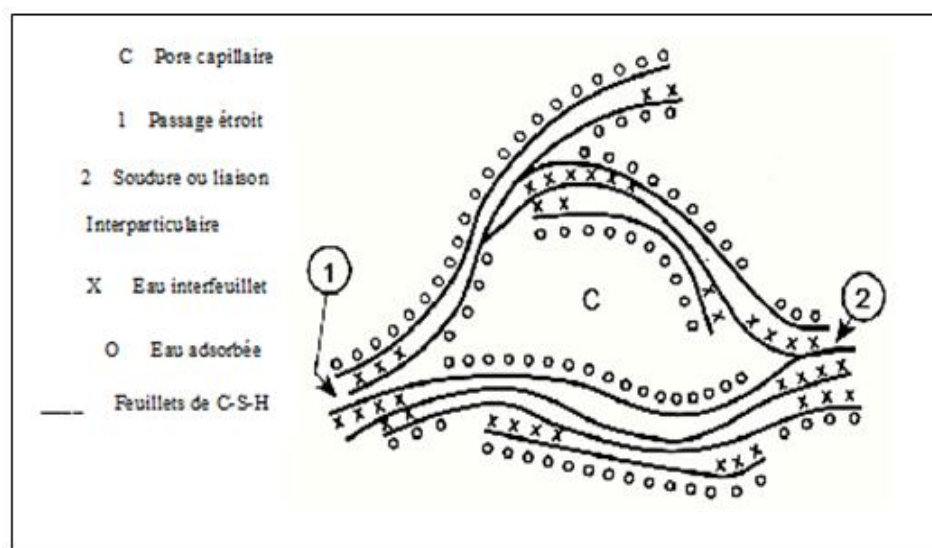


Figure (II, 02): Modèle de Feldman et Sereda, revue par Sierra 1982. [1]

II.3.3. Structure poreuse

La structure du béton est caractérisée par l'existence de trois groupes des pores, on peut distinguer d'après la figure (II, 03) que :

- ✓ **Les pores isolés** : se trouvent à l'intérieure, et ils ne communiquent pas avec le milieu extérieure.
- ✓ **Les pores interconnectés**: sont formées de l'espace continue dans le milieu poreux, et dont le rôle est de transporter des matières à travers le matériau, soit par la diffusion ou par la perméabilité.
- ✓ **Les pores aveugles ou bras mort** : qui sont interconnectés d'un seul cotés, ils peuvent être accessibles des fluides extérieurs, mais ils ne participent pas au transport des matières à travers le matériau.

Généralement, La porosité d'un béton courant est supérieure à 10%. [34]

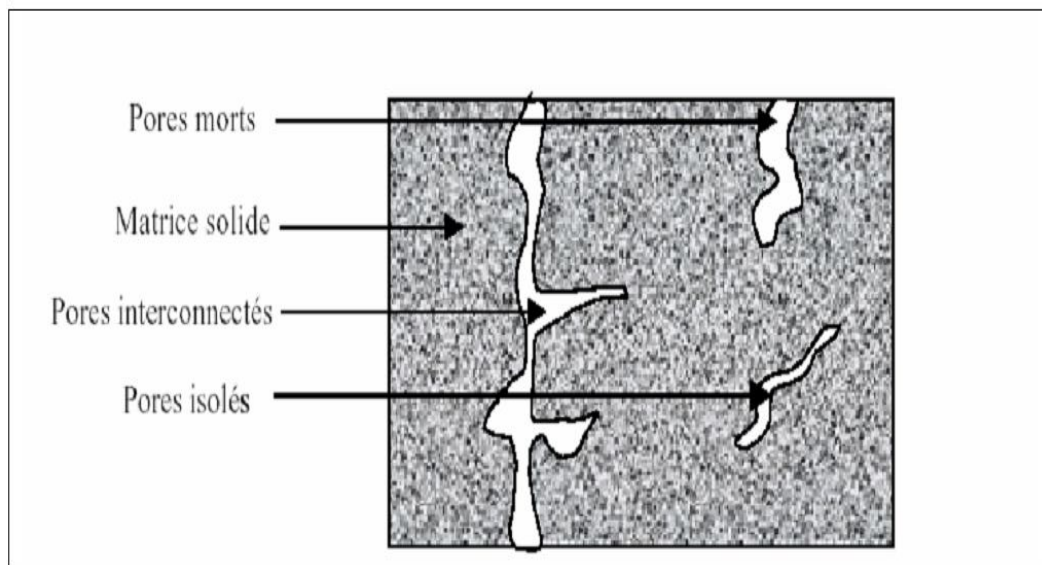


Figure (II, 03): Représentation schématique d'un solide poreux. [34]

II.4. Mécanisme de dégradation du béton

II.4.1. Divers agents agressifs

La plus parts des altérations observées sur le béton sont d'ordre chimique ou physique, on peut classer les agents chimiques agressifs en quatre catégories :

- ✓ **Les gaz:** sont d'origine naturelle, ou par production de pollutions atmosphériques et de fermentation, soient : des dioxydes de carbone, de soufre, d'azote, l'hydrogène sulfuré, les vapeurs chlorées ou l'ammoniac.
- ✓ **Les liquides organiques ou inorganiques:** sont influés par leurs effets purement physiques, qui agissent par leurs caractères acides ou basiques, et par les ions agressifs qu'ils peuvent contenir.
- ✓ **Les solides:** qui sont des sols agressifs ou de déchets d'origines diverses.
- ✓ **Les milieux biologiques:** sont des attaques chimiques sous l'effet des bactéries aérobies ou anaérobies. [35]

II.4.2. Modes d'action des agents agressifs

- ✓ **Mode d'action des gaz :** Le transfert de gaz dans le béton se fait par diffusion, il dépend du pourcentage de l'humidité relative à l'intérieure des pores du béton. Pour cela la quantité de gaz transférée dans le béton saturé, est plus petite ou négligeable, au contraire, elle devient assez importante avec la réduction d'humidité.

Les gaz ne sont pas agressifs mais du fait de leurs solubilités, ils peuvent former avec l'eau des solutions agressives.

- ✓ **Mode d'action des liquides :** ils peuvent se transférer dans le béton soient par un mouvement sous gradient hydraulique ou par capillarité, soit par diffusion ionique ou moléculaire.
- ✓ **Mode d'action des solides :** généralement les solides ne se transfèrent pas directement vers le béton, mais par leurs dissolutions dans l'eau.
- ✓ **Mode d'action des agents biologiques :** Les réactions biologiques peuvent conduire à la production des acides ou des gaz surtout l'hydrogène sulfuré (H_2S), ils entrent dans le béton par diffusion.

Les agressions chimiques entraînent presque toujours la dissolution de la chaux contenue dans la pâte de ciment. Alors que l'attaque des silicates et des aluminates de chaux hydratés, produits de réaction soient solubles ou insolubles, ne sont pas négligeables. Si les produits sont solubles, il en résulte l'augmentation de la porosité ou la perméabilité dans la matrice cimentaire hydraté. Mais dans le cas des produits insolubles, les nouveaux cristaux ne sont pas ou sont très faiblement expansifs, les pores du béton seront comblées soit la diminution de la perméabilité du

béton, dans le cas où les nouveaux produits sont expansifs, ils induisent des dégradations sur la résistance mécanique. [35]

II.5. Critères généraux de la durabilité du béton

La durabilité des ouvrages en béton est reliée par la porosité du béton et la capacité de transfert des agents agressifs, la porosité dépend de plusieurs critères :

II.5.1. Rapport eau/ciment (E/C)

Le rapport E/C est un critère très important de la durabilité du béton, plus le rapport E/C est faible, plus la porosité diminue et plus la résistance à la compression est plus élevée.

La réduction de rapport E/C permet aussi de réduire le diamètre des pores, ainsi que la production d'un réseau de pores plus fin et discontinu. [1]

La figure (II, 04) montre la relation entre le rapport E/C et la perméabilité de la pâte de ciment durci.

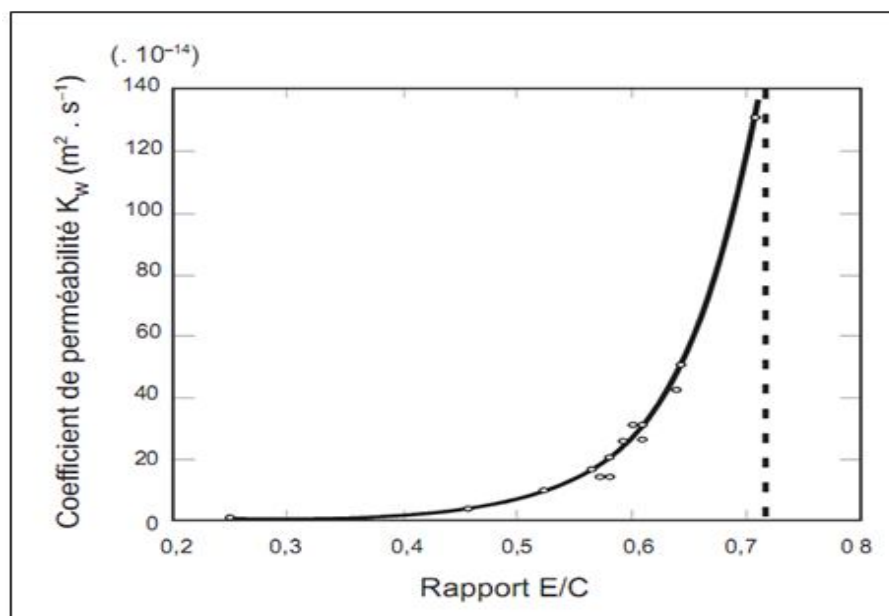


Figure (II, 04): Relation entre le coefficient de perméabilité à l'eau des pâtes de ciment totalement hydratées et le rapport E/C. [1]

II.5.2. Nature et dosage de ciment

Généralement l'agressivité du milieu extérieur nous indique le choix du type de ciment ainsi que le dosage, pour obtenir une meilleure performance en présence d'agents agressifs, comme d'utiliser un ciment de faible teneur en C_3A dans un milieu sulfatique ou marin, d'utiliser un ciment ne libérant pas ou peu de portlandite dans un milieu acide.

Le dosage en ciment est plus élevé, entraîne sous l'action d'hydratation continue de la pâte de ciment, une porosité plus faible et une résistance à la compression plus élevée. [36]

II.5.3. Les ajouts minéraux

Pour améliorer la durabilité du béton dans les milieux agressifs, on peut modifier la composition du ciment pendant l'hydratation par des additions minérales (laitier, pouzzolane, cendres volantes, calcaires, fumée de silice...), ayant pour objet d'augmenter la résistance mécanique et minimiser la perméabilité du béton.

La figure (II, 05) montre la relation entre la résistance à la compression et la perméabilité du béton confectionné avec des ciments composés aux cendres volantes et aux laitiers. Nous constatons que le béton avec ajouts de laitier est de perméabilité plus faible et de meilleure résistance à la compression. [34]

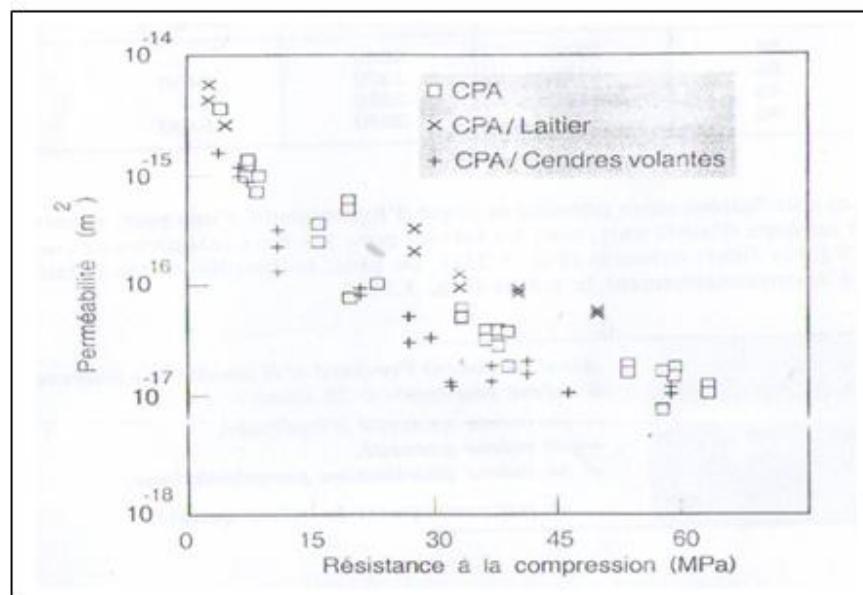


Figure (II, 05): Corrélation approximative entre la perméabilité des bétons réalisés avec diverses catégories de ciment et leur résistance mécanique. [34]

II.5.4. Zone d'interface de la pate de ciment et granulats

Généralement, la zone d'interface pâte-granulat présente une plus grande densité de microfissures, et l'existence de pores de grand diamètre, qui deviennent un réseau de cheminement privilégié pour le transport des gaz et des liquides. L'épaisseur de cette zone augmente avec le diamètre des granulats et avec le rapport E/C, mais elle ne dépasse pas de 50 micromètre. D'après la figure (II, 06) et pour un même rapport d'E/C, la perméabilité du béton est plus élevée que celle du mortier. [34]

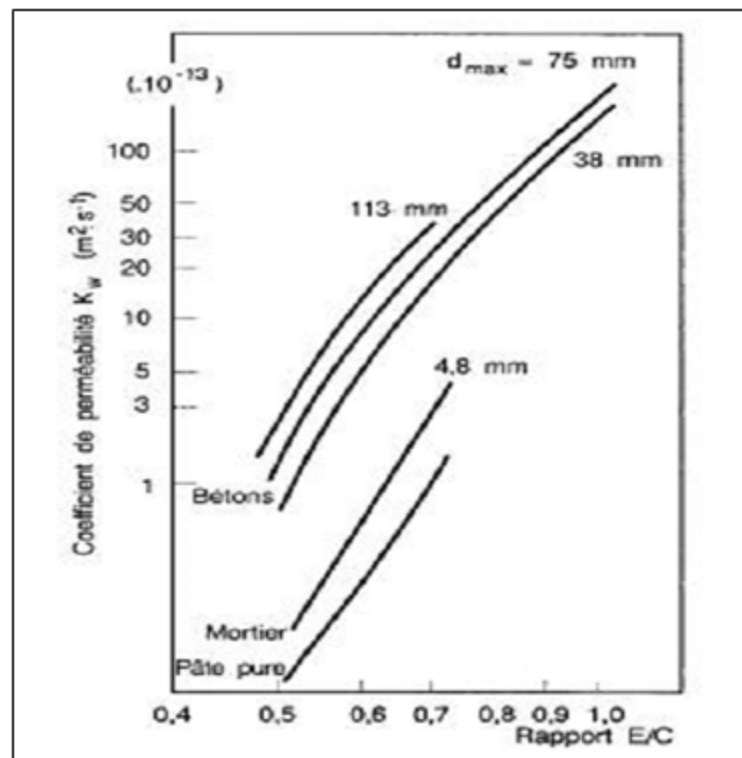


Figure (II, 06): Influence d'E/C et de la taille maximale des granulats sur le coefficient de perméabilité à l'eau des bétons. [34]

II.5.5. Durée de murissement

La durée de cure humide est très importante sur la perméabilité du béton, on peut dire que l'augmentation de la durée de cure minimise la perméabilité du béton d'après la figure (II, 07).

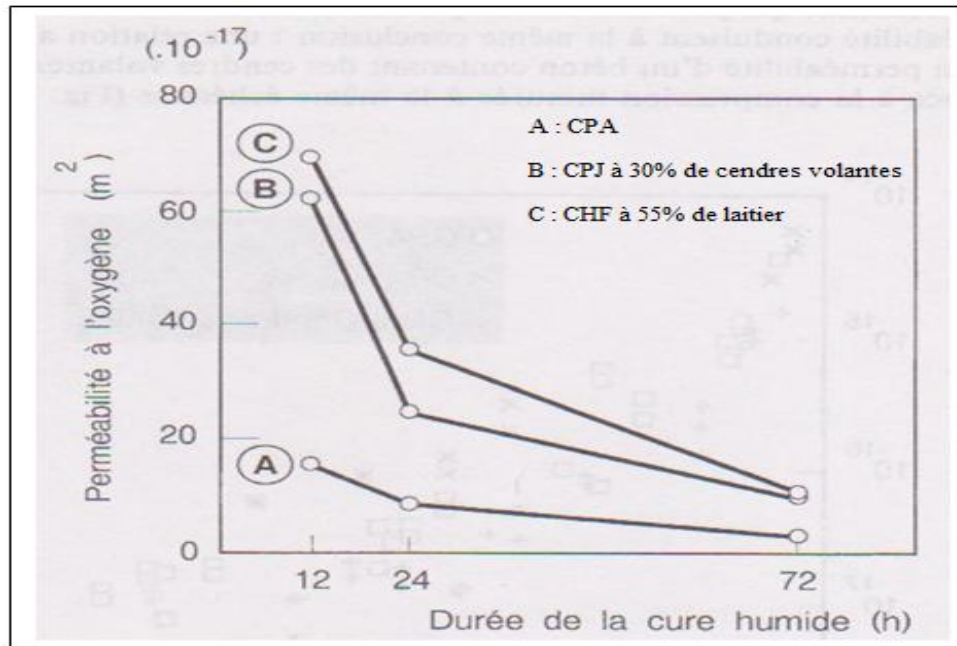


Figure (II, 07): Influence de la durée de cure humide sur la perméabilité des bétons réalisés avec diverses catégories de ciment. [34]

II.5.6. Effet de la température sur le béton

Le bétonnage au temps chaud sous l'effet de température extérieure qui dépasse 35°C, accélère la prise du ciment et diminue rapidement la plasticité du béton, accroît la porosité intérieure et favorise la fissuration du béton sous l'effet de l'évaporation d'une quantité d'eau de gâchage après la mise en œuvre. De même, la température élevée augmente la vitesse d'hydratation du ciment et crée des écarts de températures entre le cœur des pièces coulées et leur surface, ce qui augmente la fissuration ou le retrait lors du refroidissement. [37]

La vitesse du vent accélère l'évaporation de l'eau, plus la vitesse du vent est élevée, plus l'évaporation de l'eau de gâchage est importante. [37]

Généralement, la température élevée induit une réduction de résistance à la compression enregistrée à 28 jours, pour un jour de cure à 38°C du béton conduit à une réduction d'environ 10%, alors qu'à 3 jours de cure à 38°C, on enregistre une réduction de 22%. De même, les deux chercheurs Goto et Roy, ont trouvé que le murissement du béton à 60°C entraîne la formation d'un volume de pores dépassant 150 mm de diamètre beaucoup plus élevé que lors d'un murissement à 27 °C. [33]

Conclusion

La pâte de ciment hydraté est constituée par : les silicates de calcium hydraté, la portlandite et les sulfoaluminate, des grains de ciment non-hydraté, des espaces capillaires. Ces derniers sont distribués dans la structure du béton en plusieurs tailles et en différentes formes, Ils permettent la pénétration des agents agressifs à l'intérieures des pores, soient des liquides, des solides, des gaz ou des ions.

Pour obtenir une meilleure durabilité du béton exposé aux milieux agressifs, il doit au moins respecter quelques critères à savoir : le dosage et le type de ciment utilisé, le rapport E/C, le taux des additions minéraux, la cure du béton après le coulage pour éviter l'évaporation d'eau, et éviter le coulage aux temps chaud.

II.6. Dégradations du réseau d'assainissement

Les dégradations du réseau d'assainissement est due aux effets physico-chimiques sur la matrice cimentaire ainsi que l'acier d'armature qui fait partie intégrante des regards et des conduites du réseau en question, les facteurs de dégradation du réseau d'assainissement de la région de Ouargla peuvent être résumé en ce qui suit :

- ✓ L'attaque par les dioxydes de carbones (la carbonatation).
- ✓ L'attaque par les ions chlorures.
- ✓ L'attaque par les sulfates et le gaz H₂S.

II.6.1. Attaque par les dioxydes de carbone

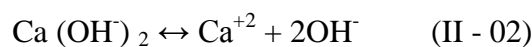
II.6.1.1. Notion de carbonatation

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons, elle correspond à une réaction chimique entre le dioxyde de carbone de l'air et les composés basiques du béton tel que la portlandite. Il se dissout à l'intérieure des pores du béton sous forme de gaz sous pression, ou sous forme d'acide carbonique en présence d'humidité, pour former des carbonates de calcium. Il en résulte une diminution de (pH) et la corrosion des armatures du béton armée.

La carbonatation du béton est une source de dégradation des ouvrages en béton armée et nuit à leur durabilité. Ce phénomène est très lent, pour cela l'évaluation de ses conséquences se fait à long terme. [38]

II.6.1.2. Mécanisme de dégradation du béton par la carbonatation

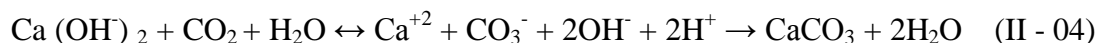
L'attaque des composés du béton par les dioxydes de carbone, provoquent la diminution de (pH) de la zone carbonatée du béton est environ à 9. La portlandite constitue une réserve importante des ions (OH^-) selon l'équation (II - 02) :



Le dioxyde de carbone se trouve en faible teneur dans l'atmosphère, est d'environ 0,035 % de volume, en présence d'humidité se dissout dans l'eau et forme l'acide carbonique (H_2CO_3) selon l'équation (I - 03) : [19]



Ce dernier réagit avec les compositions du béton hydraté, surtout la portlandite est formée le carbonate de calcium (CaCO_3), comme un produit final selon l'équation (II - 04) : [39]



Couramment, la quantité de portlandite est consommée totalement plus rapide selon la figure (II, 08), les autres composés du béton hydratés (les aluminates et le silicate de calcium), sont réagissent avec le dioxyde de carbone, puis donnent aussi le dioxyde de carbone comme un produit finale, mais en quantité plus faible et à long terme.

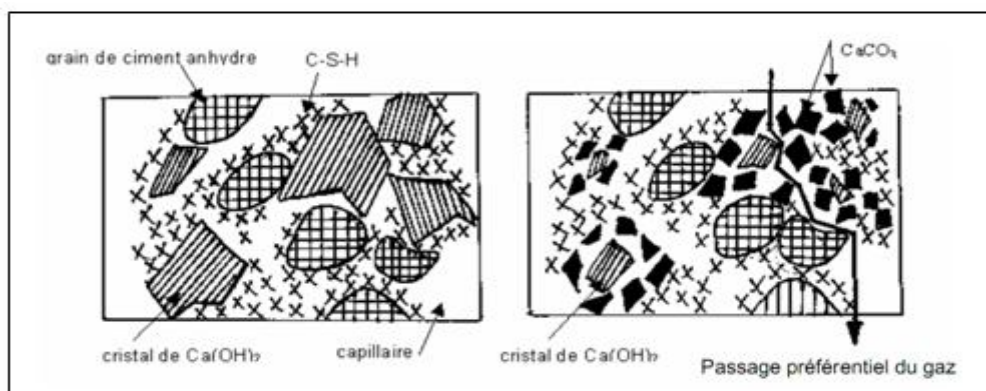


Figure (II, 08): Effet de la dissolution des cristaux de portlandite sous l'effet de diffusion de gaz carbonique. [19]

La méthode expérimentale d'évaluation de profondeur de la carbonatation, se fait par l'utilisation d'une solution alcoolique de phénolphtaléine sur la face de rupture qui sert d'indicateur coloré. D'après la figure (II, 09) la zone colorée en rose vif, lorsque le (pH) est supérieur à 9 ou non carbonaté, et les zones sont carbonatés qui restent incolores (pH est inférieure à 9). [39]

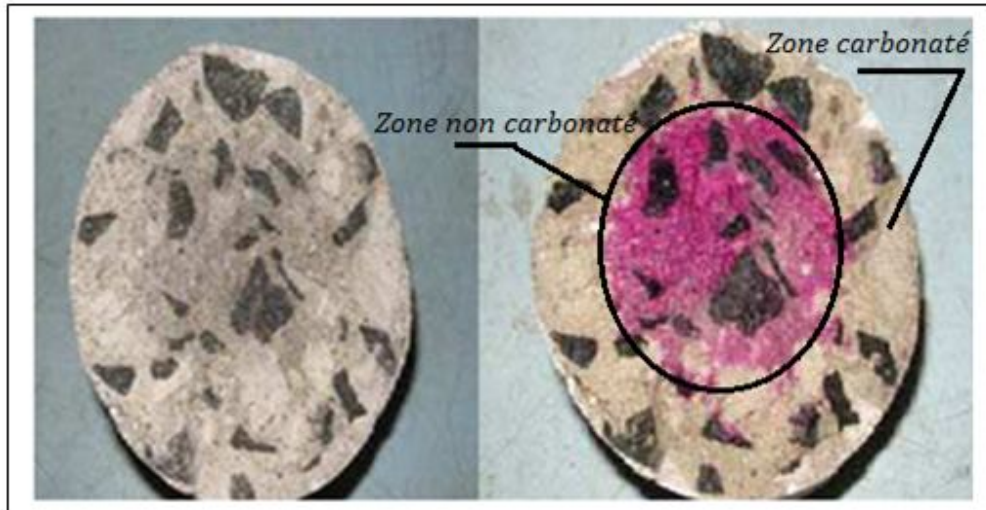


Figure (II, 09) : Détermination de la profondeur de carbonatation. [31]

II.6.1.3. Facteurs influant la carbonatation du béton

Dans cette partie, nous citons quelques facteurs influent sur la profondeur de carbonatation du béton, tels que l'humidité relative, dosage du ciment, rapport E/C et les additions minérales.

a. Humidité relative

La réduction du temps de cure humide de béton accroît la profondeur de carbonatation, la diffusion de gaz carbonique dans le béton à l'état liquide est de dix milles fois (10^4) plus lente, que la diffusion à l'état sec [39]. La carbonatation est maximale lorsque l'humidité relative est comprise entre 40 à 80 %. [19]

La figure (II, 10) montre que la profondeur de carbonatation après 02 ans du béton exposé à l'air à une humidité relative de 65%, et l'autre immergée dans l'eau pendant 28 jours, dont la résistance à la compression du béton est compris entre 30 et 60 MPa, nous remarquons que le murissement humide de 28 jours a diminué la profondeur de carbonatation d'environ à 40%.

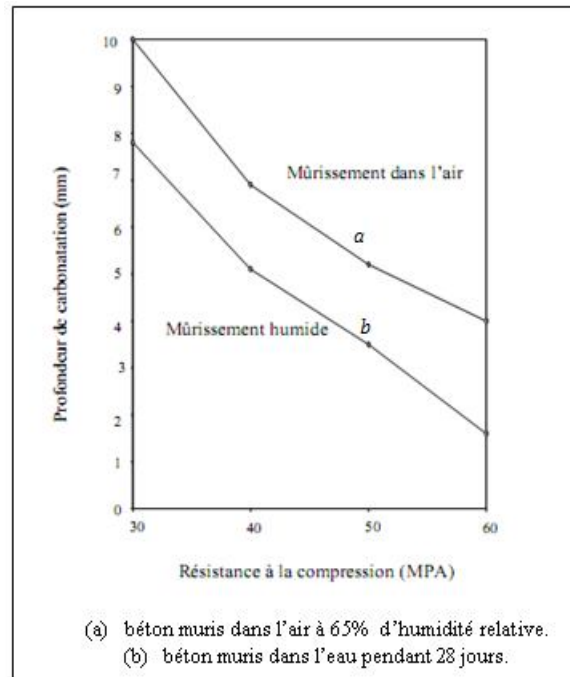


Figure (II, 10) : Relation entre la profondeur de carbonatation et la résistance à la compression de bétons après 2 ans, d'exposition dans l'air à une humidité relative de 65%. [40]

b. Dosage de ciment

L'augmentation du dosage de ciment minimise la profondeur de carbonatation, la figure (II, 11) montre la profondeur de carbonatation des éprouvettes en béton (7X7X28) cm³ préparées avec différents dosages de ciment CPA conservées à 20 °C et à 50 % HR pendant 5 ans.

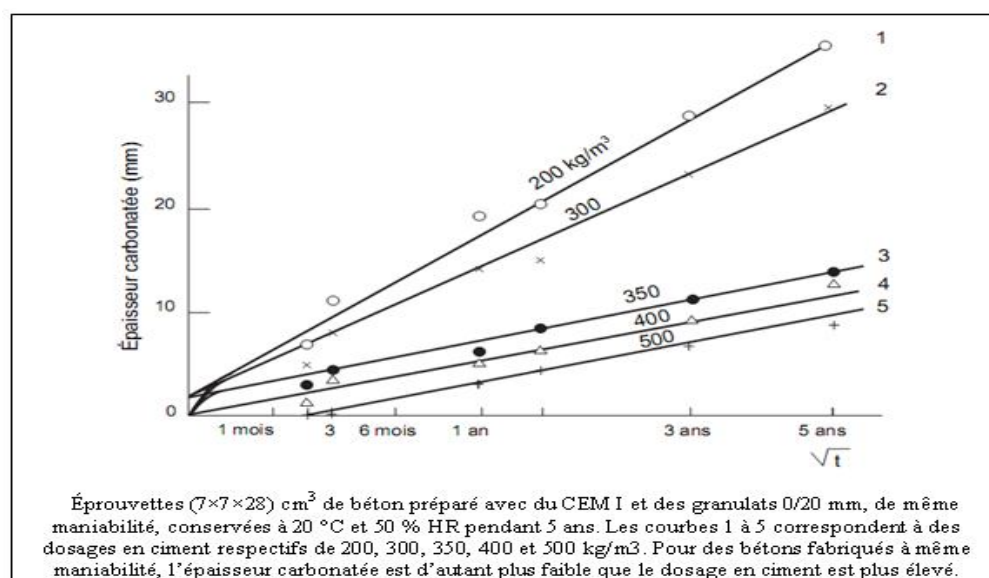


Figure (II, 11) : Relation entre la profondeur de carbonatation et le dosage en ciment des éprouvettes en béton. [39]

c. Rapport E/C

Plus le rapport E/C est élevé, plus la profondeur de carbonatation est élevée. La figure (II, 12) montre la profondeur de carbonatation des éprouvettes en mortier conservées à 7 jours en atmosphère saturée, puis à l'air à 20°C et 50% d'humidité relative pendant deux ans et demi, nous remarquons que la profondeur de carbonatation est plus que le double, lors que le rapport E/C est entre 0,6 à 1.

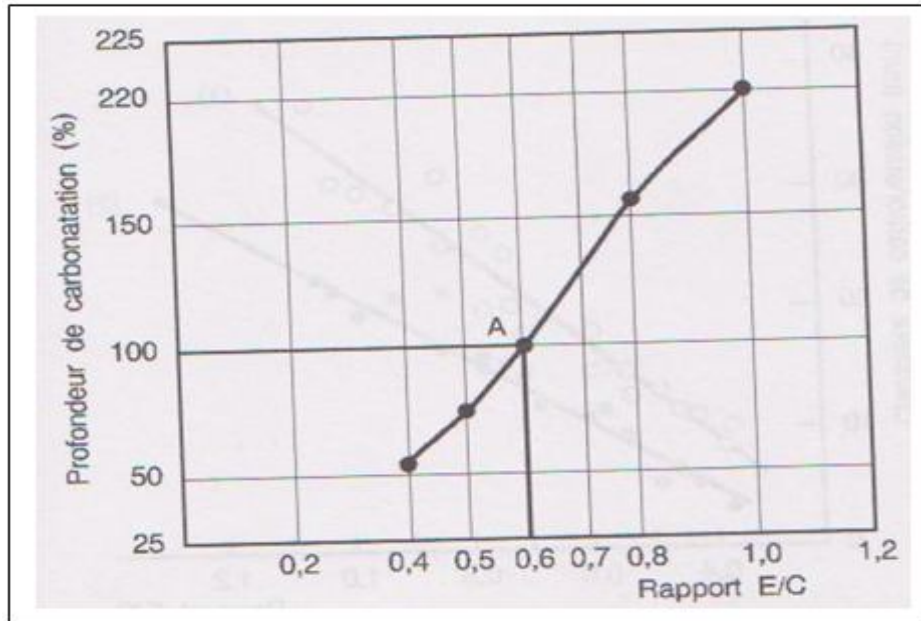


Figure (II, 12) : Evolution de la profondeur de carbonatation en fonction du rapport E/C après 02 ans et demi d'exposition à l'air. [39]

d. Les additions minérales

La teneur des ajouts minéraux dans le béton influe sur la profondeur de carbonatation. Dans le cas, d'un béton comportant 50% de laitier est d'une profondeur de carbonatation plus d'une fois et demie, par rapport un béton de ciment portland. Dans le cas des teneurs en cendres volantes plus de 30% et en laitiers plus de 50%, la vitesse de carbonatation du béton peut être accélérée, pour cela on doit prolonger la durée de cure humide du béton. [19]

La fumée de silice permet de confectionner un béton de haute performances, en cas où il est ajouté au béton, il peut modifier la vitesse de carbonatation par la consommation du portlandite [33], le béton contenant cet ajout est sensible vis-à-vis de la carbonatation [3].

Conclusion

La carbonatation est une réaction chimique entre le dioxyde de carbone et la chaux hydratée du béton en présence d'humidité, pour former le dioxyde de carbone. Ce phénomène diminue la résistance mécanique du béton, puis il provoque la corrosion des armatures du béton et l'éclatement d'enrobage, donc une mauvaise durabilité des ouvrages des réseaux d'assainissements. Pour ralentir la progression de la carbonatation, on doit diminuer le rapport E/C et augmenter le dosage en ciment, utiliser la proportion des ajouts minéraux adéquate, et assurer une grande durée de cure humide des éléments en béton.

II.6.2. Corrosion des armatures du béton armé

La corrosion des armatures des réseaux d'assainissements est conditionnée par le vieillissement physique et/ou chimique de l'enrobage, en présence d'humidité, d'oxygène (O_2), des chlorures (Cl), des dioxydes de carbone (CO_2), et des acides. Ces derniers se dissolvent et pénètrent à l'intérieure des pores d'enrobage du béton (voir photo 04 en annexe).

La corrosion des aciers progresse assez rapidement, ainsi les produits de corrosion qui occupent deux fois le volume de l'acier original, ils exercent des contraintes de traction dans le béton environnant [41], puis des éclatements, des épaufrures et des fissures du béton d'enrobage, ce qui conduit à la dissolution et à la rouille continue de l'acier. [42]

II.6.2.1. Processus de corrosion des armatures du béton armée

Les produits de la corrosion étant expansifs ils provoquent dans un premier temps la fissuration du béton de peau puis son éclatement, et la perte adhérence entre la pate du ciment et les armatures du béton armé.

D'après la figure (II, 13) La corrosion des armatures du béton armé avec formation de rouille comporte deux phases :

- ✓ La première phase est la phase d'incubation, dans cette phase les éléments agressifs, tels que le dioxyde de carbone (CO_2) ou les chlorures (Cl), présents dans le milieu environnant, pénètrent dans le béton jusqu'aux armatures.

- ✓ enfin, La phase de propagation de la corrosion qui commence lorsque ces corps agressifs se trouvent à des concentrations assez fortes au niveau des armatures, cette phase correspond à la croissance de la rouille et la dissolution du métal, qui peut en suite provoquer l'éclatement du béton d'enrobage. [41]

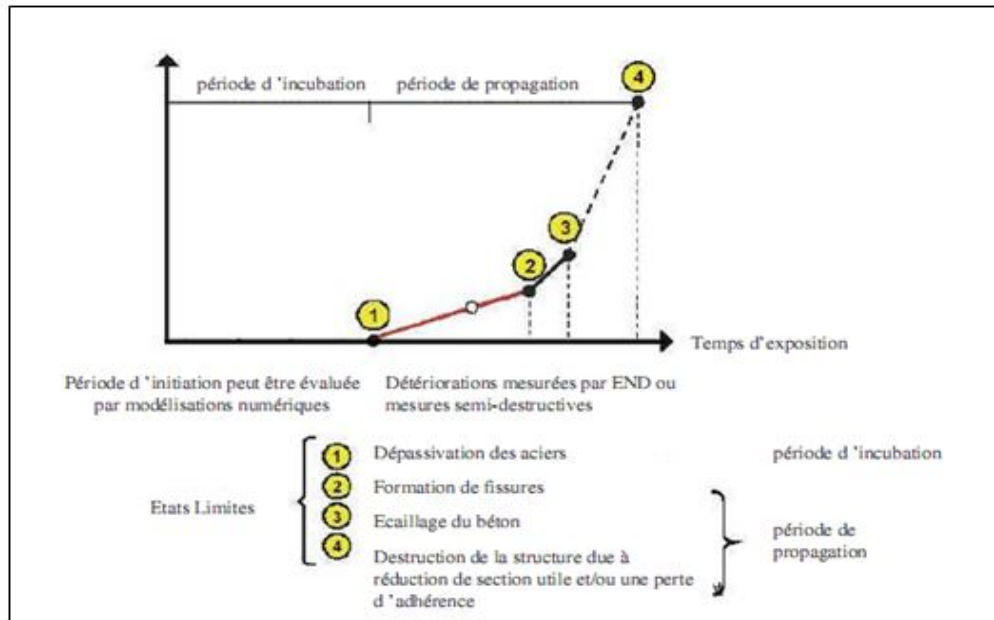
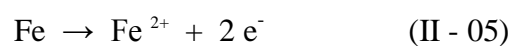


Figure (II, 13): Etapes de la corrosion des armatures du béton armé. [43]

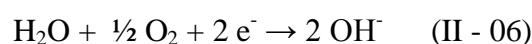
II.6.2.2. Mécanisme de la corrosion des armatures (phénomène électrochimiques)

La corrosion des armatures du béton, selon le phénomène électrochimique implique l'existence d'une anode, d'une cathode et d'un milieu électrolytique pour constituer une pile.

La réaction anodique ou la réaction de dissolution du métal suit l'équation (II - 05) :



Dans le milieu alcalin, les ions libérés par la réaction anodique sont consommés à la cathode par réduction de l'oxygène selon l'équation (II - 06) :



L'anode et la cathode à l'interface du métal sont reliés par le métal conducteur, qui permet le passage des électrons, tandis que le milieu électrolytique environnant assure le transport des ions par diffusion et renferme le circuit de la pile figure (II, 14).

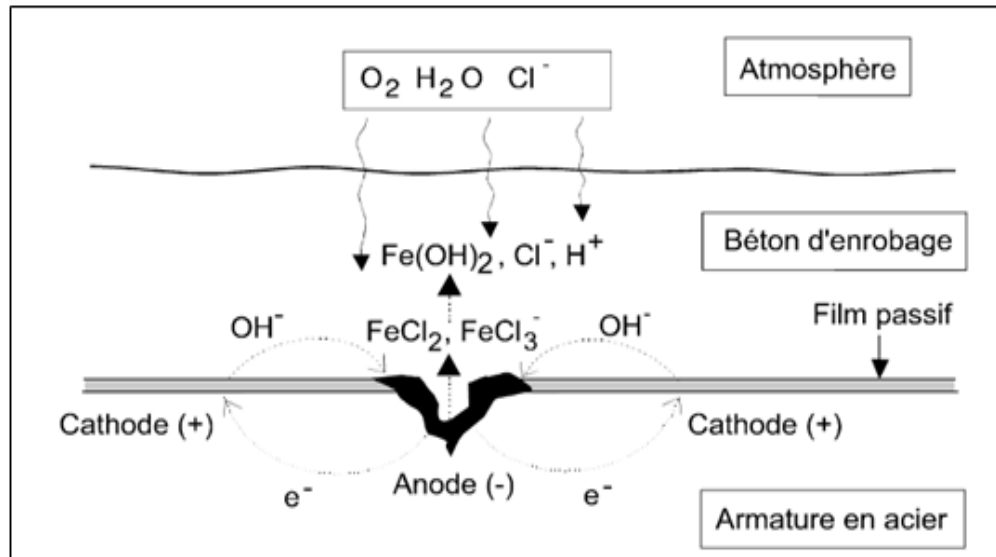
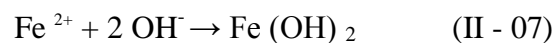


Figure (II, 14): Mécanisme de la corrosion électrochimique et en présence des chlorures. [39]

Les ions ferreux réagissent ensuite avec les ions OH^- pour former de l'hydroxyde ferreux légèrement soluble suivant l'équation (II - 07):

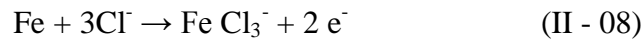


Les réactions se poursuivent en présence d'oxygène pour donner $\text{Fe}(\text{OH})_3$ et Fe_2O_3 , puis une oxydation lente conduit aux oxydes hydratés $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ et la magnétite Fe_3O_4 . La rouille est alors formée d'un mélange de ces trois constituants. [39]

II.6.2.3. Attaque par les ions chlorures

La vitesse de corrosion des armatures est plus élevée en présence d'ions chlore, ces derniers se propagent dans les réseaux poreux du béton d'enrobage en présence d'humidité. S'ils atteignent les couches superficielles des armatures du béton en quantité suffisante, ces aciers vont alors être dépassivés et la corrosion va débiter en présence de dioxygène puis se propager. Dans le cas de très faibles concentrations d'ions de chlore, à peine supérieure à 0,01 %, la corrosion est limitée.

modifieraient la morphologie de la couche passive en donnant le composé $\text{Fe}(\text{OH})_2$ et les ions (OH^-) seront consommés selon les équations (II - 08) et (II - 09) :



Les électrons libérés par la réaction d'oxydation se déplacent à travers le métal jusqu'aux sites cathodiques. D'après ces réactions, le processus conduit à une diminution du pH et un recyclage des ions chlorures. [39]

Dans le cas du béton humide, on peut approximer le taux des chlorures à 0,4% par rapport au poids de ciment, cette valeur correspond à un rapport de concentrations $[\text{Cl}^-] / [\text{OH}^-]$ compris entre 0,6 et 1, selon le type de ciments. [42]

L'hydrolyse de ces derniers entraîne l'acidification de la matière et la formation d'hydroxyde ferreux insoluble dont l'évolution donne la rouille selon la figure (II, 14), ainsi la formation du gonflement, et il provoque une désagrégation de l'enrobage, par éclatement ou fissuration. [31]

II.6.2.4. Corrosion des armatures par la carbonatation

La carbonatation du béton entraîne la modification de la structure en béton, tel que la diminution du pH qui devient inférieure à 9. Lorsque le front de carbonatation atteint les armatures celles-ci sont dépassivées. La couche de passivation n'étant stable qu'en milieu basique, la corrosion des armatures peut débuter selon la figure (II, 15).

La vitesse du front de carbonatation dépend de la perméabilité au gaz dans le béton car le CO_2 pénètre à travers la porosité du béton mais également elle dépend encore de la teneur en humidité du béton, l'humidité relative de 50% est favorable aux réactions. [43]

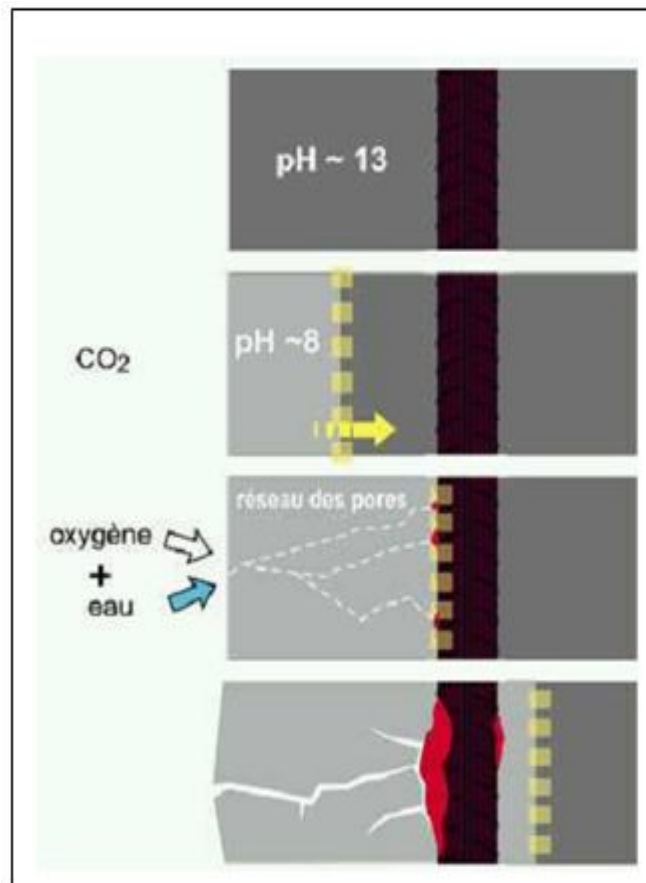


Figure (II, 15): Corrosion des armatures en béton sous l'effet de carbonatation. [44]

II.6.2.5. Paramètres influents sur la corrosion des armatures

a. Influence de l'enrobage du béton

La durée d'amorçage de la corrosion dépend du coefficient de diffusion des chlorures libérés et par conséquent de la structure poreuse du béton. La figure (II, 16) montre un modèle de Tuutti pour calculer la durée d'amorçage de la corrosion en fonction de l'épaisseur d'enrobage, ainsi le niveau de concentration en chlorures sur l'armature pour un rapport $[Cl^-] / [OH^-] = 0,6$.

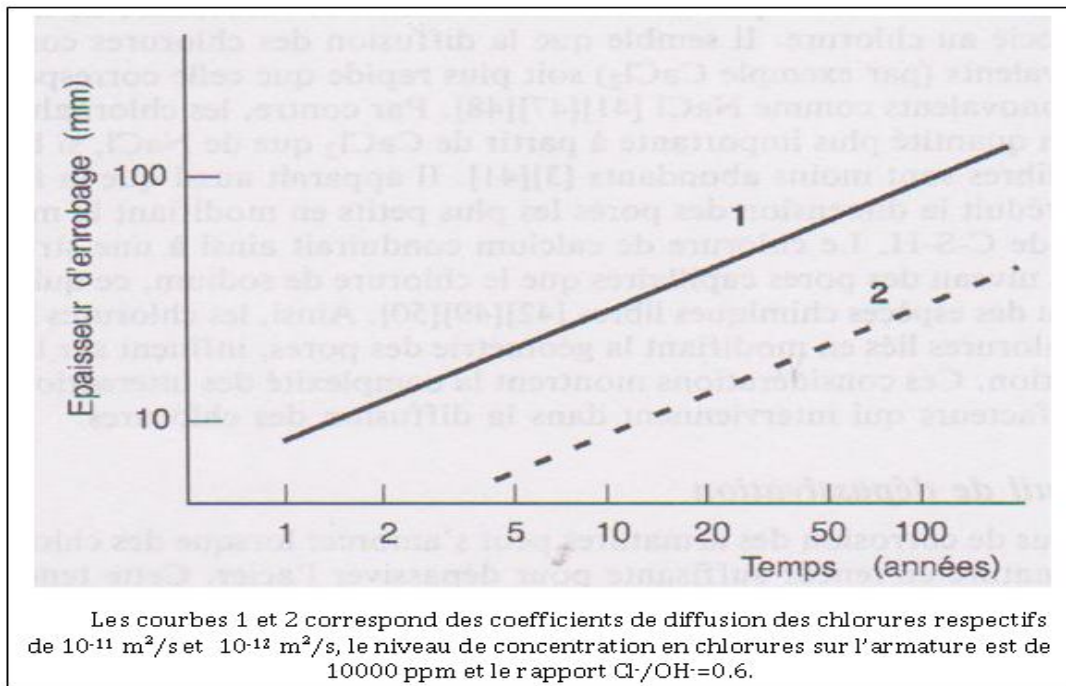


Figure (II, 16): Durée d'amorçage de la corrosion en fonction de l'épaisseur d'enrobage et du coefficient de diffusion des chlorures. [39]

b. Influence du pH sur la corrosion

La figure (II, 17) montre l'influence du pH sur la corrosion de l'acier du béton carbonaté sans chlorures, et des bétons ayant des pourcentages de 0,12 et 0,18 de chlorure de sodium, nous remarquons que la corrosion se propage pour un pH de l'ordre de 11,4 dans du béton carbonaté et s'accroît lorsque le pH diminue, même en présence de chlorures.

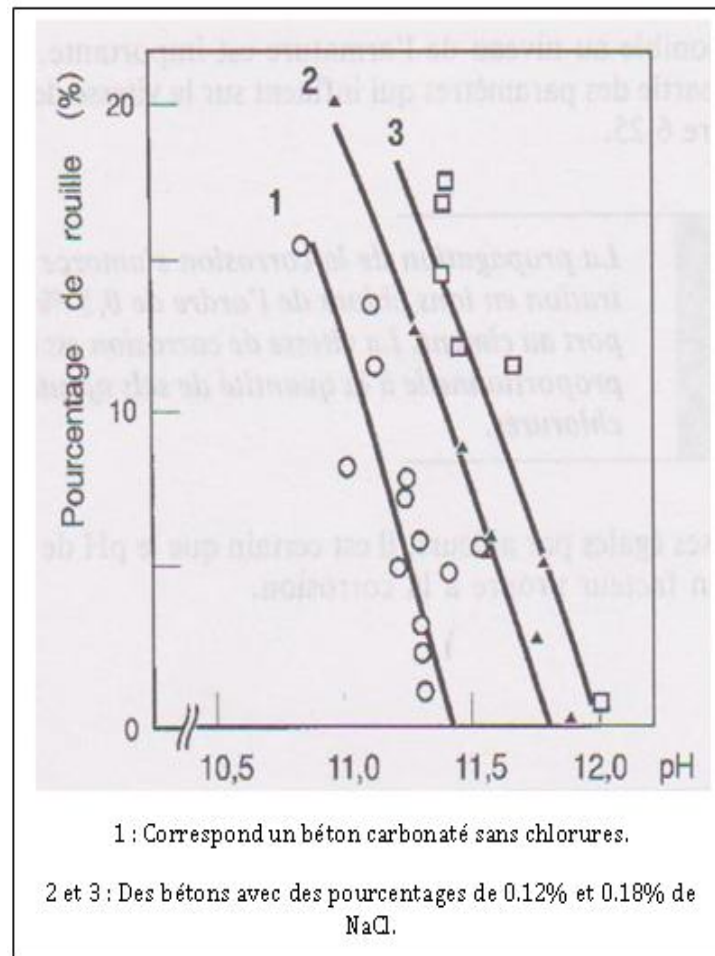


Figure (II, 17): Influence du pH sur la corrosion de l'acier dans des mortiers carbonatés avec et sans chlorures de sodium. [39]

c. Influence d'humidité et de température

L'humidité relative la plus favorable pour que la corrosion se produise est de 70% à 80%, et même au plus de 80%, la diffusion de l'oxygène est considérablement diminuée mais la rouille des aciers augmente selon la figure (II, 18), généralement il n'y a pas de formation de rouille lorsque le béton est totalement immergé dans l'eau désaérée, et l'influence de la température n'étant importante qu'au dessus de 10°C. [39]

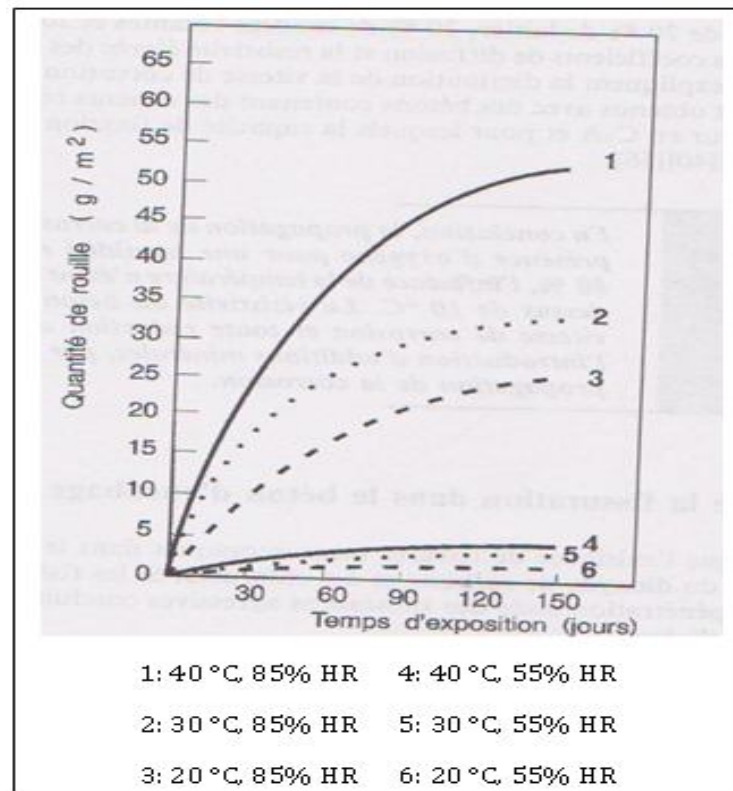


Figure (II, 18): Influence de la température et de l'humidité relative, sur la formation de rouille pour des armatures dans un mortier carbonatées. [39]

d. Influence des ajouts minéraux

Pour une même classe de résistance l'ajout des laitiers, des cendres volantes et de fumée de silice diminuent sensiblement la vitesse de corrosion par rapport à un ciment portland. D'après les recherches, des faibles coefficients de diffusion ont été obtenus, de résistivité élevée des bétons et diminution de la vitesse de corrosion pour des ajouts de 70% de laitier, 30% des cendres volantes et 20 % de fumée de silice. Et aussi la capacité de fixation des chlorures est très limitée pour des bétons contenant des ciments résistants aux sulfates à faible teneur en C_3A . [39]

e. Influence du rapport E/C

La diminution du rapport E/C de 0,6 à 0,5 divise par deux environ la vitesse de corrosion en présence des chlorures pour le ciment portland, de même l'utilisation d'un ciment de classe 45 à la place d'un ciment de classe 35 améliorer la résistance à la corrosion. D'après la figure (II, 19), nous remarquons que l'augmentation de la vitesse de pénétration des chlorures dépend de la

croissance du rapport E/C de façon exponentielle et la concentration élevée de la solution environnante en sels de NaCl. [39]

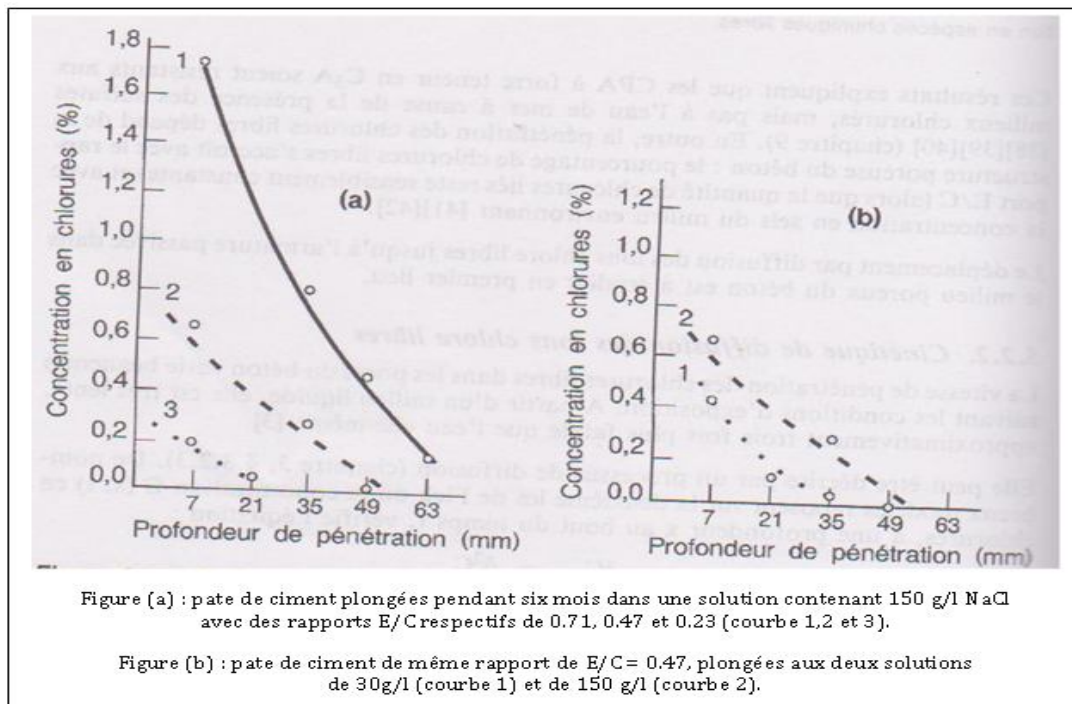


Figure (II, 19): Evolution de la concentration en chlorures pour différents rapports E/C et milieux environnants. [39]

Conclusion

Le phénomène de corrosion des armatures se produit par l'attaque de dioxyde de carbone ou la pénétration des ions chlorures présent dans le milieu environnant. Pour améliorer la résistance à la corrosion des armatures de béton, il y lieu d'assurer la cure humide du béton, diminuer le rapport E/C du béton ou augmenter le dosage en ciment, respecter l'enrobage des armatures, et assurer l'utilisation des ajouts minéraux au béton en proportion adéquate.

II.6.3. Attaque par les sulfates

Les sulfates peuvent être d'origine naturelle, biologique ou provenir de la pollution domestique et industrielle, on peut les retrouver sous les formes suivantes :

- ✓ Sous formes des sulfates de magnésium ($MgSO_4$) ou de sulfates alcalins (K_2SO_4 - Na_2SO_4), et des concentrations plus élevées dans les eaux souterraines.

- ✓ Sous formes des sulfates d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dans les sols et les eaux en milieux agraires.
- ✓ Sous forme de gaz H_2S sous l'effet de décomposition des matières organiques dans les égouts, les silos ou dans les réservoirs d'entreposage.

L'attaque par les sulfates peut détériorer très significativement le béton dans une durée assez courte de 10 à 15 ans (voir photo 05 en annexe). [1]

II.6.3.1. Processus d'attaques par les sulfates seuls

L'attaque du béton par les sulfates se fait par la formation d'ettringite expansive ou secondaire, elle est obtenue par la formation de l'ettringite «primaire» aux réactions d'hydratation des ciments portland avec le gypse, car cette ettringite primaire n'est jamais expansive comme montré sur la figure (II, 20). [35]

L'ettringite expansive est formée en deux étapes:

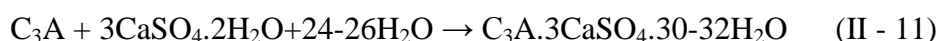
- (a) La formation de gypse secondaire se fait par la réaction entre la portlandite et le sulfate, l'équation (II - 10) montre le cas des sulfates de sodium :



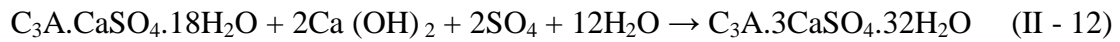
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: ce produit est formé dans les espaces internes des pores du ciment hydraté, dans la majorité des cas, pas ou peu d'expansif.

Si la teneur en sulfate est élevée (supérieure à 1000 mg/l) et la concentration locale en ions Ca^{2+} et SO_4^{2-} , dans la phase liquide interstitielle du béton excède le produit de solubilité du gypse, ce dernier précipite. Le volume du solide précipité représente un peu plus du double de celui des produits de départ et une expansion peut se manifester. [35]

- (b) La formation de l'ettringite secondaire est le résultat de la réaction entre le gypse secondaire et les aluminates de calcium anhydres, selon l'équation (II - 11):



L'obtention de l'ettringite expansive peut se faire par la réaction entre les aluminates et le monosulfo-aluminate de calcium ou l'aluminate tetracalcique hydraté (C_4AH_{13}), selon l'équation (II - 12) :



La cristallisation de l'ettringite est qualifiée d'expansive ou non, suivant la teneur en chaux dans la phase liquide, et la précipitation rapide de l'ettringite conduit à la formation de cristaux très fins, dont le volume molaire est de 3 à 8 fois supérieures (suivant qu'il s'agit du C_3A ou du C_4AH_{13}) au volume du solide initial. [3]

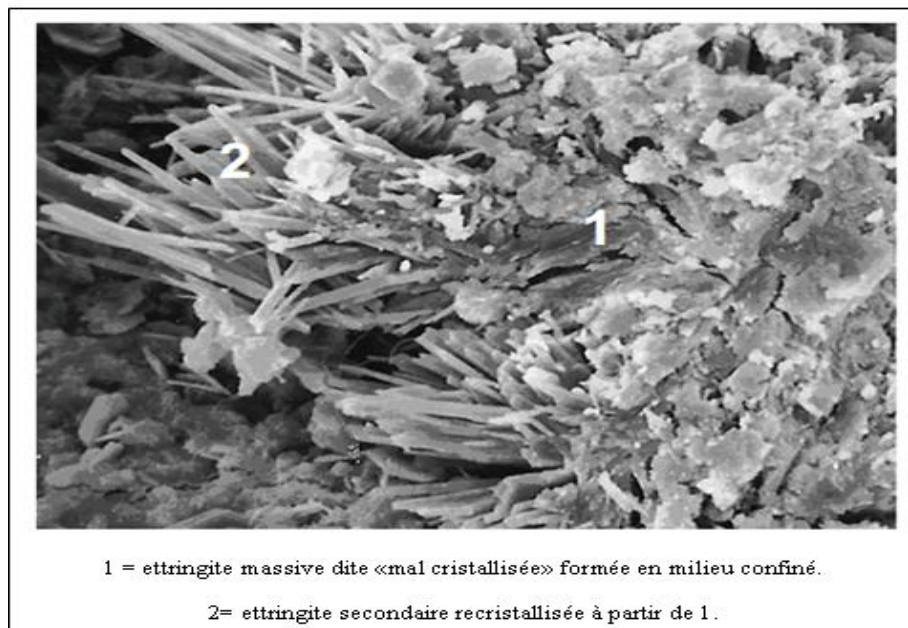


Figure (II, 20): Formation d'ettringite secondaire expansif cas d'attaque par les sulfates. [35]

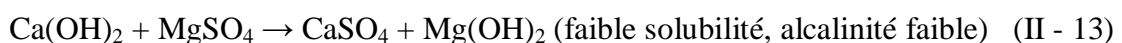
II.6.3.2. Attaque par les sulfates externes

Dans cette partie, nous citons les sulfates externes les plus agressifs sur le béton à savoir, les sulfates de magnésium, les sulfates de calcium, les sulfates de sodium, les sulfates de potassium, les sulfates d'ammonium et les sulfates métalliques.

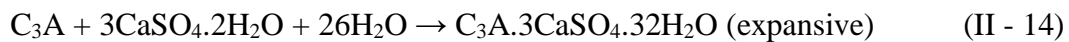
a. Attaque par le sulfate de magnésium

Le sulfate de magnésium est très agressif et de double action, il attaque le béton par les trois étapes [35] qui suivent :

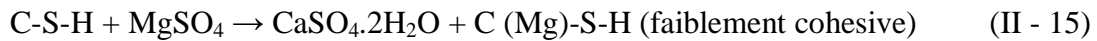
- ✓ Substitution du Mg^{2+} par le Ca^{2+} et l'anion SO_4^{2-} , pour la formation de gypse secondaire cristallisé et la précipitation de brucite, selon l'équation (II - 13):



- ✓ Formation d'ettringite expansive selon l'équation (II - 14):



- ✓ Substitution des ions Ca^{2+} par les ions Mg^{2+} dans les C-S-H selon l'équation (II - 15) :



Les produits finaux engendrés par l'attaque des sulfates de magnésium sont l'ettringite expansive, la formation de brucite $Mg(OH)_2$, la dissolution des silicates de calcium hydratés puis la formation d'une pâte de silicate de magnésium hydraté (Mg-S-H) de faible cohésion. [35]

b. Attaque par le sulfate de calcium

Ces sulfates présents dans les sols ou dans les eaux souterraines séléniteuses sous forme de gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ou $CaSO_4$), généralement, ils sont très agressifs sur le béton, et caractérisés par une solubilité faible et lente que les sulfates d'ammonium ou de magnésium [35], l'ettringite expansive est le résultat de la réaction entre ces sulfates et les aluminates anhydres, et le nombre de molécule d'eau peut être de 32 ou de 31 selon la pression de la vapeur ambiante. [33]

c. Attaque par le sulfate de sodium

Ce sulfate sous forme de (Na_2SO_4) est très soluble, il est très agressif sur le béton par la formation de gypse et l'ettringite expansive [1]. Couramment, le gypse précipité est en fonction de la concentration du SO_4^{2-} et de la teneur des aluminates anhydres.

Les C-S-H moins sensibles que la portlandite ne sont pas affectées directement par les sulfates de sodium, mais sont néanmoins susceptibles de se décomposer dans un deuxième temps par lixiviation partielle de leur chaux et formation de gypse. [35]

d. Attaque par le sulfate de potassium

Le sulfate de potassium (K_2SO_4) est très agressif sur le béton, son action est voisine de celle du sulfate de sodium, mais la vitesse d'attaques est un peu plus lente. [35]

e. Attaque par le sulfate d'ammonium

Ce sulfate est très soluble et de forte agressivité sur le béton, il réagit avec la portlandite et les C-S-H pour la formation du gypse, puis réagit à son tour avec les aluminates en donnant de l'ettringite expansive [35]. La figure (II, 21) montre l'effet de sulfate d'ammonium sur des éprouvettes en mortier ont été confectionnées par des pourcentages de 5% des fillers de marbre, et de pourcentage de 25% à 30% de laitier de haut fourneau, ces échantillons sont conservées dans un solution de sulfate d'ammonium de concentration de 0,25 M pour une durée de 12 mois. [45]

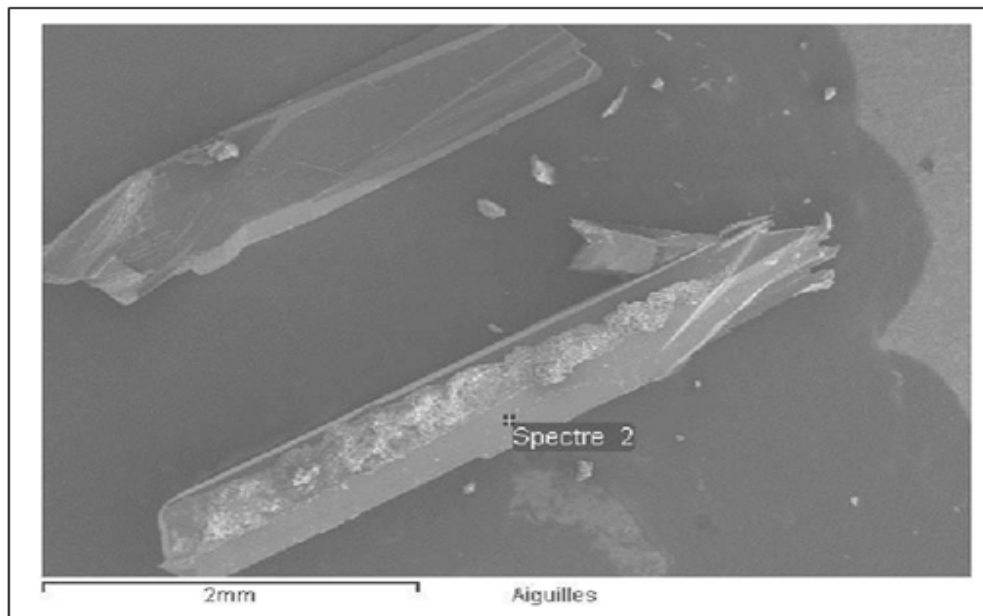


Figure (II, 21): Observation des fibres sur la surface attaquée par le sulfate d'ammonium. [45]

f. Attaque par les sulfates métalliques

La plupart des sulfates métalliques solubles (FeSO_4 , CuSO_4 , ZnSO_4etc.) peuvent être agressifs (notamment en présence de certaines bactéries) [1], à l'exception des sulfates de plomb et de baryum qui sont très peu solubles. [35]

II.6.3.3. Attaque interne par les sulfates

Ce type d'attaque se fait par les sulfates qui proviennent des composés du béton, soient par le sulfate présent dans le ciment portland comme de calcium ajoutés au clinker lors de son

broyage réagissent avec le C_3A et l'eau pour former de l'ettringite primaire, qui assure donc la maniabilité du béton nécessaire à sa mise en place.

Les ions de SO_4^{2-} absorbés sur les C-S-H pendant l'action d'hydratation permet la formation d'ettringite, mais la diminution de la température du béton après l'action d'hydratation ou l'humidité plus élevée pour une durée importante, permet l'instabilité de l'ettringite, puis les ions SO_4^{2-} peuvent être relâchés par les C-S-H et former de l'ettringite différée.

L'expansion conséquente se produit lorsque l'espace pour la formation différée de l'ettringite est restreint. Cette expansion peut, dans certain cas être contrôlée, s'il y'a suffisamment d'espace vacant dans la matrice cimentaire sous forme de porosité élevée ou de bulles d'air entraîné qui peuvent être obtenues par l'augmentation du rapport E/C (augmentation de la porosité capillaire). [46]

Une analyse de la microstructure du béton effectuée après 400 jours, a clairement démontré l'existence d'ettringite dense et mal cristallisée dans les interfaces entre les granulats et la pate. Cette expérience prouve que la température élevée du béton développée par l'hydratation du ciment peut causer la formation différée de l'ettringite et l'expansion en conséquence. [33]

II.6.3.4. Facteurs influents sur la résistance du béton aux sulfates

a. Dosage en ciment et la teneur en C_3A

Pour assurer une bonne durabilité du béton dans le milieu sulfatique, il y a lieu de :

Augmenter la résistance mécanique par la fabrication d'un béton plus compact de faible rapport E/C pendant le gâchage du béton. [1]

Utiliser un ciment de faible teneur en C_3A , parce que la vitesse de dégradation due aux sulfates est proportionnelle à la quantité de C_3A du ciment jusqu'à des teneurs de 10% environ.

La figure (II, 22) montre l'influence du dosage en ciment et de la teneur du C_3A , sur la vitesse de dégradation des éprouvettes en béton conservées pendant 16 ans dans une solution de concentration en Na_2SO_4 de 10% environ.

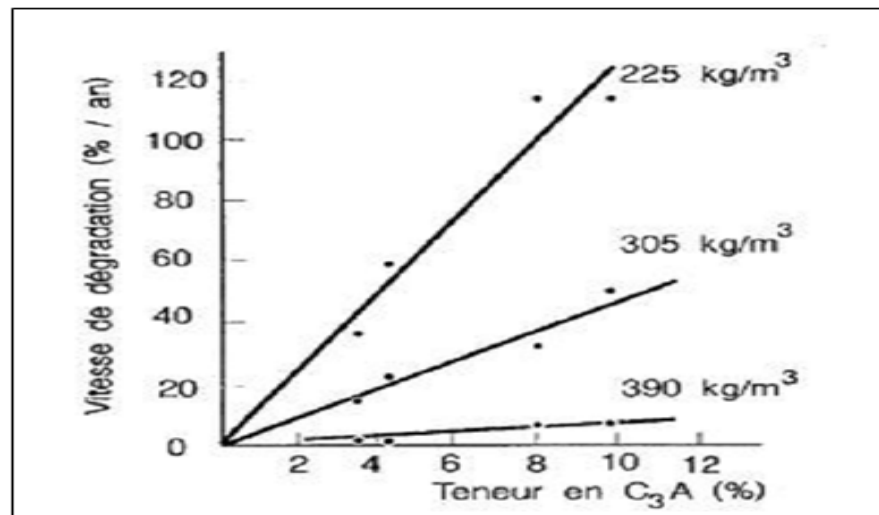


Figure (II, 22): Influence du dosage en ciment et de la teneur en C₃A sur la vitesse de dégradation du béton. [35]

b. Les additions minérales

Les ciments avec ajout de laitier donnent au béton un bon comportement dans les eaux sulfatées [35], soit par :

- ✓ la réduction de la teneur en chaux et du C₃A du mélange.
- ✓ L'accroissement de la compacité des hydrates, en relation avec une diminution du volume poreux pouvant atteindre 25%, et aussi entraîne la réduction de la perméabilité et du coefficient de diffusion.
- ✓ La cristallisation de l'ettringite formée par précipitation à partir de la phase liquide et non expansive.

La figure (II, 23) montre l'augmentation de la résistance aux sulfates des échantillons de mortier en CPA avec ajouts de laitier.

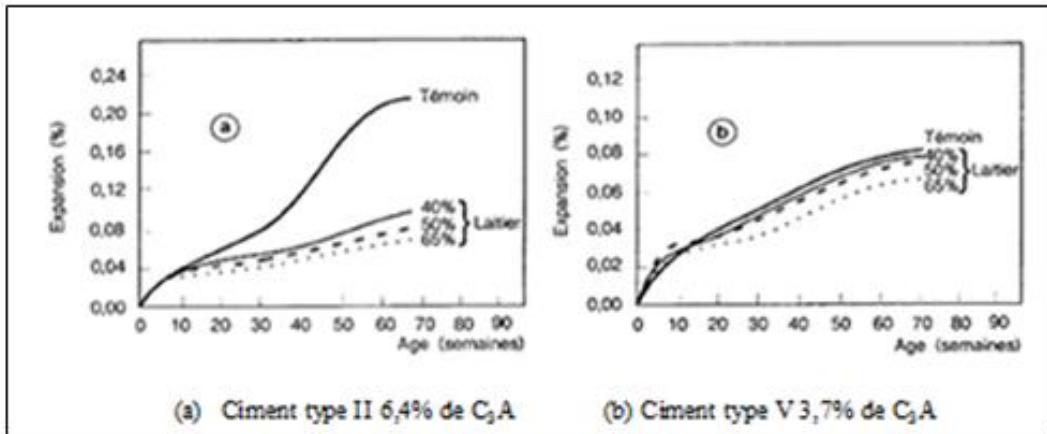


Figure (II, 23): Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier. [1]

Suivant la figure (II, 24), les ciments contenant plus de 40% de laitier ont de bonne résistance aux sulfates, on peut prendre comme un exemple les ciments CHF et CLK qui ont de bonne résistance aux sulfates, dont la teneur en laitiers est supérieure ou égale à 60%.

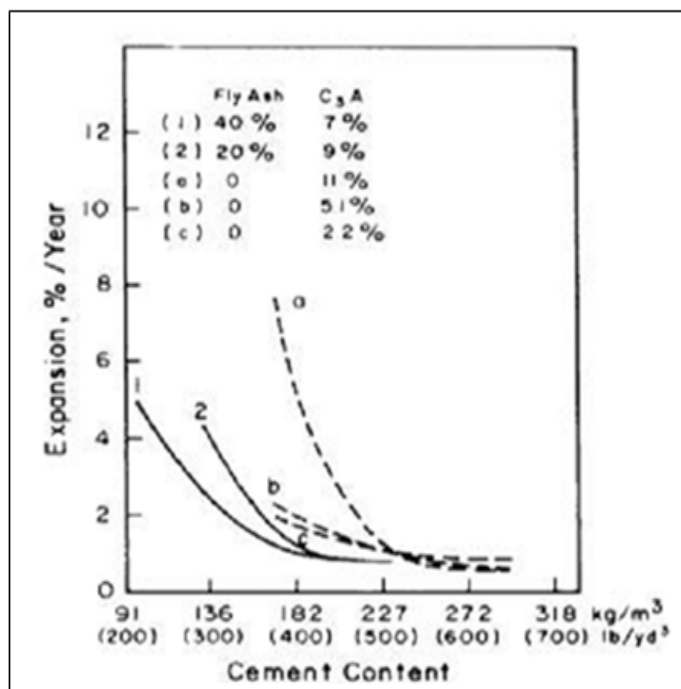


Figure (II, 24): Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier. [1]

Les ciments contenant de 20% à 30% de cendres volantes silico-alumineuse ont un effet bénéfique sur la durabilité du béton dans un milieu sulfatique, cet effet est dû à la consommation partielle de la portlandite libérée pendant l'hydratation du ciment par les cendres. Ils modifient la microstructure du béton, puis minimisent la perméabilité et augmentent la résistance du béton aux sulfates, mais les cendres ayant un contenu en chaux supérieure à 20% ne devraient pas être utilisés.

Les fumées de silice offrent également une bonne protection du béton contre l'effet des sulfates, du fait de leur forte consommation en portlandite et de la structure compacte des C-S-H qu'elles forment [35]. Donc, la teneur de la fumée de silice entre (7%-10%) améliore très significativement la résistance aux sulfates. [1]

Conclusion

Les dégradations du béton provoquées sous l'effet des sulfates, soient internes ou externe conduisent à la formation d'ettringite expansive, la fissuration du béton et mauvaise durabilité dans le milieu agressive, donc pour obtenir une meilleure durabilité en milieu sulfatique, il y a lieu de minimiser le rapport E/C et d'utiliser un ciment de faible teneur en C_3A ou/et des ajouts des laitiers, des cendres volantes, des fumées de silice.

II.6.4. Attaque par le gaz hydrogène sulfurée (H_2S)

Le béton peut être endommagé par certaines bactéries pouvant produire (ou transformer) des substances corrosives [1], ces attaques se fait par le gaz H_2S ou l'acide sulfurique H_2SO_4 , ensuite il y aura formation des produits expansifs dans le béton qui conduit à l'altération du béton ou la corrosion des armatures.

II.6.4.1. Formation du gaz H_2S

Le sulfure hydrogène ou hydrogène sulfuré est le résultat de la combinaison de deux éléments : l'hydrogène **H** et le soufre **S**, soit la formule H_2S appelé aussi : hydrure de soufre, mono sulfure de dihydrogène ou sulfure de dihydrogène.

Le sulfure d'hydrogène (H_2S) est le gaz de fumier le plus dangereux, il est classé parmi les gaz chimiques asphyxiants parce qu'il entre immédiatement en réaction chimique avec l'hémoglobine du sang, ce qui empêche le transport de l'oxygène jusqu'aux tissus et aux organes vitaux du corps. Ce type de gaz est facile à détecter du fait de son odeur caractéristique d'œuf pourri, mais à des concentrations élevées, Il est incolore plus lourd que l'air qui a tendance à s'accumuler dans les parties basses d'espaces non ventilés, donc le cas d'une personne exposée au sulfure d'hydrogène peut donc avoir une fausse impression de sécurité, à forte concentration, le sulfure d'hydrogène cause instantanément la paralysie et la mort. [47] [3]

Le gaz H_2S est le résultat de décomposition bactérienne de la matière organique, il est produit par les déchets humains et animaux, et aussi il peut s'accumuler dans les réseaux d'assainissement et corroder les tuyaux qu'ils soient en béton ou en métal. Il peut se trouver naturellement dans le pétrole, le gaz naturel, les gaz volcaniques et les sources chaudes. Le sulfure d'hydrogène peut également provenir des activités industrielles, telles que la transformation des produits alimentaires, du traitement des eaux usées, des haut-fourneaux, des papeteries et des raffineries de pétrole. [48]

Le sulfure hydrogène est un gaz plus lourd que l'air à la condition normale de pression de ($1,45 \text{ kg. m}^{-3}$ à 15°C), de masse moléculaire égale à $31,08 \text{ g. mol}^{-1}$, il se liquéfie à une température de $T = -60,2^\circ\text{C}$ ($P = 1\text{atm}$) dite point d'ébullition du gaz liquide.

Le point de fusion du sulfure d'hydrogène solide (glace d' H_2S) est de -86°C (187 K), il est aussi le point de solidification du H_2S liquide, ainsi que le point Triple se situe à $-85,5^\circ\text{C}$ et de pression égale à 227 HPa , le point critique se situe à $P = 89,37 \text{ bar}$ et $T_c = 100^\circ\text{C}$. [47]

II.6.4.2. Détecteur de gaz H_2S portable

Le détecteur de gaz est un appareil pour mesurer le pourcentage ou la concentration de gaz in-situ, généralement on trouve plusieurs types de détecteurs soient ceux qui détecte un seul gaz, deux gaz ou plusieurs gaz, à titre d'exemple, on peut citer les gaz détectés : Cl_2 , O_2 , CO , CO_2 , H_2 , H_2S , HCN , NH_3 , NO , NO_2 , PH_3 , SO_2 , NO_2LC , CH_4 , Ozone ou phosgènes.

On prend comme un exemple le détecteur utilisé aux services de l'ONA (Ouargla), qui détecte quatre gaz de matricule (Dräger X-am® 2000) selon la photo (II, 01), cet appareil est léger, il détecte le gaz de carbone CO , l'hydrogène sulfuré H_2S , l'oxygène O_2 et les gaz et vapeurs explosives.

Ce détecteur comporte 03 alarmes fiables : alarme optique très voyante à 360° , alarme par vibrations et alarme sonore puissante, il est de grande longévité et d'enregistreur intégré sans faille des valeurs mesurées, des alarmes, des tests et autres événements.

Il est alimenté électriquement par une batterie rechargeable ou des piles alcalines, l'étalonnage de cet appareil se fait chaque 02 ou 03 mois pour la précision des mesures. L'utilisation est simple et à n'importe quel endroit étant donné que le matériel est facile à porter et que l'indication du gaz se fait par consommation minimale de courant, ainsi l'affichage des mesure

des concentrations de gaz prend juste quelques secondes, sa capacité de détection est de 0 – 200 ppm pour le gaz H₂S, et de 0 – 2000 ppm pour le gaz CO. [49]



Photo (II, 01) : Détecteur portable de gaz H₂S de matricule (Dräger X-am® 2000).

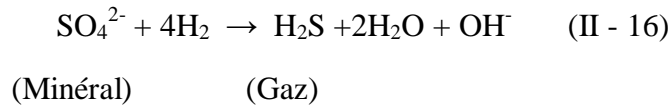
D'après les mesures de gaz H₂S par l'office national d'assainissement de Ouargla (ONA), ce gaz de concentration est très variable selon la température et l'humidité relative, il atteint les valeurs maximales aux mois d'été. A titre d'exemple cette pression a atteint 70 ppm à Rouissat, 29 ppm à Said-Otba et 14 ppm au niveau du 1^{er} pôle universitaire selon les dires des techniciens de l'ONA.

II.6.4.3. Mécanisme de dégradation du béton par le H₂S

Il existe deux types de bactéries qui peuvent accélérer les dégradations du béton, soient : dans le milieu anaérobique ou dans le milieu aérobique.

Généralement, les sulfures sont formés par l'activité bactérienne continue dans les effluents en milieu anaérobique, ils sont ensuite transformés en hydrogène sulfuré (H₂S). Ce dernier est dégagé dans les réseaux d'assainissement ou dans les stations d'épurations, il est très toxique et ça sent mauvais. [1]

La production de gaz de sulfure hydrogène (H_2S) se fait par l'activité de bactérie sulforéductrice selon l'équation (II - 16) :

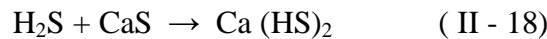


L'action du gaz H_2S (acide faible) sur le béton ce fait par la consommation de ce dernier du gaz dégagé en milieu anaérobie selon les équations (II - 17) et (II - 18) :



Soluble

Lixiviation

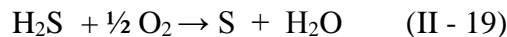


Soluble

Lixiviation

Le gaz H_2S s'oxyde en contact avec l'air, et se transforme en acide sulfurique (H_2SO_4). En surface, le H_2S peut se décomposer sous forme de Soufre par les bactéries aérobie, puis se transformé en H_2SO_4 (un acide fort, très corrosif pour le béton). [1]

- ✓ Oxydation du gaz H_2S par l'activité bactérienne aérobie selon l'équation (II - 19) :



- ✓ Oxydation de sulfure (S) en contact avec l'air selon l'équation (II - 20) :



Acide fort

Lixiviation

Dans les milieux fermés (marins) le gaz H_2S s'oxyde en présence d'humidité et aura la formation d'acide sulfurique selon l'équation (II - 21) :



Le H_2S libéré se condense sur les parois des réseaux d'assainissement, il est transformé par les bactéries anaérobies en acide sulfurique, cet acide est la cause principale de la dégradation du béton des conduites selon la figure (II, 25).

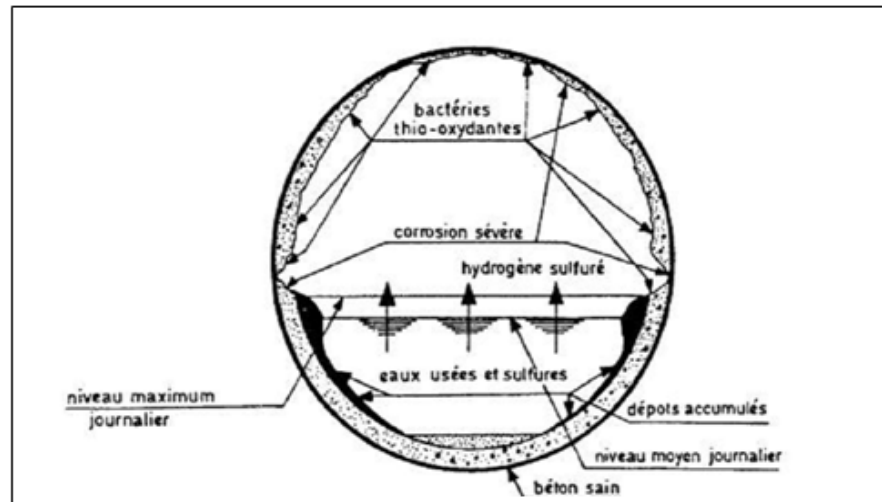


Figure (II, 25) : Agression des surfaces de béton dans les égouts suite à l'activité bactérienne. [1]

Le contact entre l'acide sulfurique et la portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) forment le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) selon l'équation (II - 22) :



Le gypse formé occupe un volume plus grand que la portlandite, lorsque la concentration des sulfates est assez élevée, le gypse reste stable mais les nouveaux cristaux de gypse continuent à se former. Mais à longtermes le gypse sera dissous en libérant des ions SO_4^{2-} , qui réagissent avec les aluminates (C_3A) et former de l'ettringite expansive ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), ce dernier occupe un espace plus grand que les autres composantes solides selon la figure (II, 26), puis engendrera l'expansion du béton. [33]

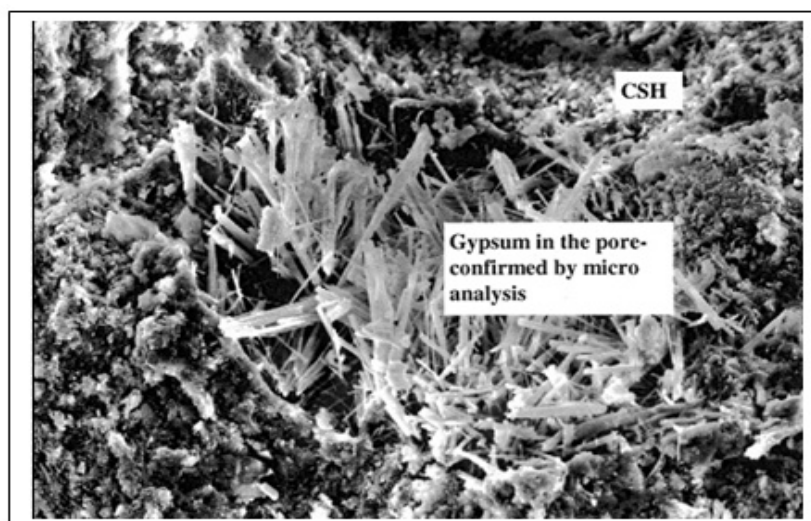


Figure (II, 26) : Formation des cristaux de gypse dans le cas d'attaque par l'acide sulfurique. [33]

Conclusion

Nous concluons que les dégradations du béton des réseaux d'assainissement dans la région de Ouargla se fait a priori par éclatement ou fissuration, ou par la corrosion des armatures ayant comme causes l'effet de la pénétration des agents agressifs à travers les pores intérieures du béton, parmi ces altérations on constate:

- ✓ La carbonatation du béton ou la formation des carbonates de calcium sous l'effet de dioxyde de carbone en présence d'humidité.
- ✓ La corrosion des armatures du béton produit par l'attaque du dioxyde de carbone ou la pénétration des ions chlorures présent dans le milieu environnant.
- ✓ L'attaque par les sulfates soient : par la pénétration des sulfates internes ou externe, le gaz H_2S ou par l'acide sulfurique, ces attaques conduisent à la formation d'ettringite expansive.

Donc, pour obtenir une meilleure durabilité des ouvrages en béton armé et surtout les réseaux d'assainissement, on doit :

- ✓ Diminuer le rapport E/C du béton soit l'augmentation du dosage en ciment pour obtenir une bonne compacité.
- ✓ Utiliser un ciment de faible teneur en C_3A ou résistant aux sulfates.
- ✓ Respecter l'enrobage des armatures.
- ✓ Assurer l'utilisation des ajouts minéraux adéquats dans le béton en proportion acceptable.
- ✓ Assurer une grande durée de cure humide des éléments en béton.
- ✓ Minimiser la concentration des ions chlorures dans le béton.
- ✓ Assurer une bonne ventilation à l'intérieure des conduites d'assainissement.

CHAPITRE III

ESSAIS SUR LES MATERIAUX UTILISEES

CHAPITRE III: ESSAIS SUR LES MATERIAUX UTILISES

III. 1. Introduction

Les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton est une étape inévitable, ce chapitre, traite les essais sur les matériaux utilisés pour la confection des éprouvettes en béton, à pour objet de déterminer les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques selon les normes préconisées. Ces essais ont été effectués au laboratoire des travaux publics du sud (LTPS).

Notre travail expérimental a pour but d'étudier le mécanisme de dégradation physico-chimique des éprouvettes en béton et en PRV dans le milieu agressif réel en tant que les éléments constitutifs des conduites et des regards utilisés pour l'assainissement dans la région de Ouargla.

Donc, le programme expérimental comprend les étapes suivantes :

- ✓ L'identification et la caractérisation des matériaux de base.
- ✓ Préparation et confection des éprouvettes.
- ✓ Conservation des éprouvettes dans les différents milieux (descriptif).

III.2. Caractéristiques des matériaux utilisées

III.2.1. Ciment

L'environnement extérieur de la région de Ouargla est fortement sulfaté, pour cela dans la plus part des ouvrages d'assainissement c'est le ciment de type CRS (ciment résistant aux sulfates) qui est utilisé. Pour cette raison, nous avons opté pour la confection des éprouvettes en béton par l'utilisation du ciment CRS de l'usine de LAFARGE (M'Sila). Ce ciment est constitué de 95% de clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle du ciment portland et de 5% des constituants secondaires. [50]

Les normes des essais sur le ciment sont présentées au tableau (III, 01).

Tableau (III, 01): Normes des essais sur le ciment. [18]

NF P 15-473	Détermination du temps de prise et de la stabilité
NF P 15-471	Détermination des résistances mécaniques
NF P 15-476	Détermination de la finesse

III.2.1.1. Analyses chimique du ciment CRS

Les analyses chimiques du ciment CRS sont présentées au tableau (III, 02).

Tableau (III, 02): Résultats des analyses chimiques du ciment CRS. [50]

Perte au feu (%)	< 3.00
Résidus insolubles (%)	0.30 – 0.65
Teneur en sulfates SO₃ (%)	1.60 – 2.10
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.00 – 1.50
Teneur en chlorures (%)	0.01 – 0.03
Silicate tricalcique C₃S (%)	52.00 – 63.00
Silicate bi calcique C₂S (%)	13.00 – 25.00
Aluminate tricalciques C₃A (%)	1.80 – 3.50
Aluminoferrites tetracalcique C₄AF (%)	13.00 – 15.00

III.2.1.2. Propriétés physiques du ciment CRS

Les caractéristiques physiques du ciment CRS sont présentées au tableau (III, 03).

Tableau (III, 03): Caractéristiques physiques du ciment CRS. [50]

Consistance normale dans la pate de ciment (%)	25,50 – 28,00	
Finesse suivant la méthode de Blaine	3100 - 3500	
Retrait à 28 jours en µm/m	< 1000	
Expansion en mm	0,50 – 0,20	
Temps de prise à 20°C	Début de prise (min)	120 - 200
	Fin de prise (min)	200 - 280

III.2.2. Granulats

Les granulats utilisés sont :

- ✓ Le sable naturelle de classe granulaire (0/5) de la carrière de Ben Brahim, Haoud El-Hamra.
- ✓ Le gravier concassé de classe granulaire (3/8) et (8/15) de la carrière de Ben Brahim, Haoud El-Hamra.

Pour la détermination des caractéristiques des granulats précédemment cités, les essais sont réalisés au LTPS, et selon les normes européennes présentées au tableau (III, 04) et le tableau (III, 05).

Tableau (III, 04): Normes des essais d'identification sur le sable.

NF P 18-553	Préparation d'un échantillon pour essai
NF P 18-560	Analyse granulométrique par tamisage
XP P 18-540	Détermination du module de finesse
NF P 18-576	Essaie de friabilité de sable
NF P 18-598	Essaie d'équivalent de sable
NF P 18-555	La masse volumique apparente et absolue
NF P 15-461	Analyse chimique - détermination du taux des carbonates et des insolubles
BS 1377/V1975	Analyse chimique - détermination de la teneur des sulfates
BS BOWLY/V 1979	Analyse chimique - détermination de la teneur en chlorures

Tableau (III, 05): Normes des essais d'identification sur le gravier.

NF P 18-553	Préparation d'un échantillon pour essai
NF P 18-560	Analyse granulométrique par tamisage
NF P 18-573	Essaie de los Angeles
NF P 18-591	Propreté superficielle des granulats
NF P 18-554	La masse volumique apparente et absolue

NF P 15-461	Analyse chimique - détermination du taux des carbonates et des insolubles
BS 1377/V1975	Analyse chimique - détermination de la teneur des sulfates
BS BOWLY/V 1979	Analyse chimique - détermination de la teneur en chlorures

III.2.2.1. Préparation des échantillons

Le prélèvement des échantillons de tel matériau se fait dans un plateau en tôle (voir la photo (III, 01)), pouvant entrer le matériau dans les couloirs de diviseur, ainsi la largeur des couloirs doit être supérieure ou égale à deux fois le plus grande diamètre des granulats, et la quantité du matériau enlevé doit être au moins deux fois le plus grande que la masse nécessaire pour faire le ou les essais au laboratoire. [51] pour l'homogénéisation d'échantillon de tel matériau, on utilise une pelle manuelle, la réduction d'un échantillon se fait par un diviseur ou par quartage, ainsi la quantité nécessaire pour l'essai est en fonction de la grande dimension des grains du matériau.



Photo (III, 01): Préparation des échantillons de gravier 8/15 au labo LTPS.

III.2.2.2. Essai de détermination de la masse volumique absolue et apparente

L'objectif de la détermination de la masse volumique apparente et absolue des granulats, est la fabrication d'un béton compact et de bonne résistance mécanique, à partir de la définition de la porosité et les autres propriétés des granulats selon les normes (NF P 18-554) et (NF P 18-555).

III.2.2.2.1. Détermination de la masse volumique apparente du sable et du gravier

L'essai a pour but de définir la masse volumique du matériau y compris les vides qui sont contenus entre ces grains par l'utilisation d'un récipient métallique.

- **Mode opératoire**

L'essai se fait selon les étapes suivantes:

- ✓ Utiliser un récipient métallique de volume (V) de 5000 cm³ et de masse (M₀) de 3860 g pour le gravier, et un récipient métallique de volume (V) de 1000 cm³ et de masse (M₀) de 313,71 g pour le sable (voir photos 06 et 07 en annexe).
- ✓ Remplir le récipient par le matériau (sable ou gravier), puis raser et régler le niveau par une règle métallique, enfin peser le contenu soit de masse (M_T), cette opération répétée au moins quatre fois.
- ✓ La masse volumique apparente est calculée par la relation (III - 01) :

$$MV_{app} = \frac{M_T - M_0}{V} \quad \text{(III- 01)}$$

III.2.2.2.2. Détermination de la masse volumique absolue du sable et du gravier

L'essai a pour objet de déterminer la masse volumique du matériau compact ou les vides ne sont pas compris, par l'utilisation d'une éprouvette remplie d'eau.

- **Mode opératoire**

L'essai se fait selon les étapes suivantes:

- ✓ Utiliser une éprouvette remplie d'eau de masse (M₂) de 1017 g, et peser une masse (M₁) de 300 g du sable ou de gravier. La masse (M₃) est la somme de la masse (M₁) et la masse (M₂) est égale à 1317 g (voir la photo 08 en annexe).
- ✓ Introduire le matériau dans l'éprouvette remplie d'eau et peser le contenu soit de masse (M₄),
- ✓ Le volume (V) des agrégats en cm³ est calculé par la relation (III - 02):

$$V = M_4 - M_3 \quad \text{(III - 02)}$$

- ✓ La masse volumique absolue est calculée par la relation (III - 03):

$$MV_{abs} = \frac{M_1}{V} \quad (\text{III} - 03)$$

La masse volumique absolue et apparente, du sable et du gravier 3/8, 8/15 sont présentées au tableau (III, 06).

Tableau (III, 06): Masse volumique absolue et apparente des granulats utilisés.

Matériaux utilisée	M.V apparente (g/cm ³)	M.V absolues (g/cm ³)
Sable 0/5	1.530	2.590
Gravier 3/8	1.244	2.600
Gravier 8/15	1.381	2.630

III.2.2.3. Essai d'analyse granulométrique par tamisage des granulats (NF P 18 - 560)

Le présent essai a pour objet de déterminer la distribution des granulats en masse selon les dimensions des tamis supérieures à 0,063 mm.

a) Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis les matériaux utilisés tels que le sable, le gravier 3/8 et 8/15, les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisages sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous une forme graphique dite courbe granulométrique.

b) Mode opératoire

- ✓ Sécher de l'échantillon humide à l'étuve à la température réglée à 105 °C ± 5 °C.
- ✓ Prendre une masse supérieure à 0,2 D, avec M_s exprimée en kilogrammes, et D la plus grande dimension spécifiée en millimètres.
- ✓ Verser le matériau séché dans la colonne des tamis (voir photo 09 en annexe). Cette colonne est constituée par l'emboîtement des tamis, en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes.

- ✓ Agiter manuellement cette colonne pour verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur, puis agiter chaque tamis à la main par des coups réguliers pour assurer le passage des granulats en dimensions inférieures.
- ✓ Peser le refus de chaque tamis par une balance électronique (R_i).
- ✓ Calculer le pourcentage des refus cumulé par la relation (III - 04) :

$$refus\% = 100 \frac{\sum R_i}{M_s} \quad (III - 04)$$

- ✓ Calculer le pourcentage des tamisât par la relation (III - 05) :

$$Tamisat\% = 100 - refus\% \quad (III - 05)$$

c) Module de finesse (XP P 18 - 540)

Le module (MF) a pour but de déterminer la finesse du sable, c'est la somme des refus cumulés, il est calculé par la relation (III - 06) : [55]

$$M_f \% = \frac{\sum (R_{0.16} + R_{0.315} + R_{0.63} + R_{1.25} + R_{2.5} + R_5)}{100} \quad (III - 06)$$

D'après le calcul, notre Module de finesse est égal à 2,37 %, donc le sable est de finesse moyenne.

d) Coefficient de courbure (Cc)

Il est calculé par la relation (III - 07) : [56]

$$Cc = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} d_{60}} \quad (III - 07)$$

D₁₀, D₃₀ et D₆₀ : représentent respectivement les diamètres des éléments correspondant 10%, 30% et 60% de tamisât cumulé.

Après le calcul, le coefficient de courbure est égal à 1,06.

e) Coefficient d'uniformité ou de Hazen (Cu)

Ce coefficient a pour but de classer les granulats, il est calculé par la relation (III - 08) : [56]

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (\text{III} - 08)$$

Après le calcul, le coefficient d'uniformité obtenu est égal à 3,09, donc le sable est de granulométrie étalée.

f) Résultats des analyses granulométriques des granulats

Donc, le résultat de l'analyse granulométrique du sable de masse initial 1500 g est présenté au tableau (III, 07).

Tableau (III, 07): Résultats de l'essai granulométrique de sable.

Tamis en mm	Refus partiels en (g)	Refus cumulés en (g)	Refus en %	Passant (tamisât) en %
6,3	0	0	0	100
5	10,33	10,33	0,69	99,31
4	24,1	34,43	2,30	97,70
3,15	16,38	50,81	3,39	96,61
2,5	34,61	85,42	5,69	94,30
2	32,57	117,99	7,87	92,13
1,6	43,12	161,11	10,74	89,26
1,25	68,87	229,98	15,33	84,67
1	87,41	317,39	21,16	78,84
0,63	330,24	647,63	43,18	56,82
0,5	153,63	801,26	53,42	46,58
0,4	251,56	1052,82	70,19	29,81
0,315	97,96	1150,78	76,72	23,28
0,25	127,97	1278,75	85,25	14,75
0,2	154,69	1433,44	95,56	4,44
0,16	0,21	1433,65	95,58	4,42
0,125	0,1	1433,75	95,58	4,42
0,08	9,1	1442,85	96,19	3,81

Donc, le résultat de l'analyse granulométrique du gravier 3/8 de masse initial 3000 g est présenté au tableau (III, 08).

Tableau (III, 08): Résultats de l'essai granulométrique du gravier 3/8.

Tamis en mm	Refus partiels en (g)	Refus cumulés en (g)	Refus en %	Passant (tamisât) en %
10	0	0	0	100
8	103,24	103,24	3,44	96,56
6,3	946,6	1049,84	35	65,00
5	831,72	1881,56	62,72	37,28
4	564,54	2446,1	81,54	18,46
3,15	330,47	2776,57	92,55	7,45
2,5	182,62	2959,19	98,64	1,36
2	16,14	2975,33	99,18	0,82
1,6	1,41	2976,74	99,22	0,78

Donc, le résultat de l'analyse granulométrique du gravier 8/15 de masse initial 5000 g est présenté au tableau (III, 09).

Tableau (III, 09): Résultats de l'essai granulométrique de gravier 8/15.

Tamis en mm	Refus partiels en (g)	Refus cumulés en (g)	Refus en %	Passant (tamisât) en %
20	0	0	0	100
16	690,25	690,25	13,80	86,20
12,5	1911,68	2601,93	52,039	47,96
10	1174,55	3776,48	75,53	24,47
8	790,6	4567,08	91,34	8,66
6,3	304,6	4871,68	97,43	2,57
5	38,21	4909,89	98,20	1,80
4	4,8	4914,69	98,29	1,71

III.2.2.4. Essai d'équivalent de sable (NF P 18 - 598)

L'essai d'équivalent de sable a pour but de définir la propriété du sable utilisé pour la confection du béton, et pour obtenir les meilleures caractéristiques au béton.

Cet essai a été effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau étudié, et le tamisage de sable se fait par voie humide pour ne pas perdre les éléments fins.

a) Mode opératoire

Pour faire l'essai d'équivalent de sable on doit suivre les étapes ci-après: [57]

- ✓ Tamisage de l'échantillon de sable par voie humide au tamis d'ouvertures de 5 mm.
- ✓ Sécher l'échantillon de sable à l'étuve, et en peser une masse de $120\text{g} \pm 1\text{g}$.
- ✓ Remplir les éprouvettes graduées avec la solution lavante, jusqu'au premier trait (inférieur). Puis verser la masse pesée à l'aide de l'entonnoir dans les éprouvettes posées verticalement, et laisser au repos pour 10 minutes (voir photo 10 en annexe).
- ✓ Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, puis agiter l'éprouvette 90 cycles ± 1 cycle en $30\text{ s} \pm 1\text{ s}$ par la machine d'agitation.
- ✓ Laver et remplir les éprouvettes par la solution lavante, avec le tube plongeur jusqu'au trait supérieure de l'éprouvette, puis laisser l'éprouvette reposer pendant $20\text{ min} \pm 10\text{s}$.
- ✓ Mesurer à vue la hauteur totale h_1 , du niveau supérieure du floculat, jusqu'au fond de l'éprouvette.
- ✓ Lire la hauteur du sédiment h_2 , du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.
- ✓ Mesurer également la hauteur h'_2 à l'aide d'un piston, introduit de l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, et lire la hauteur de sable propre.
- ✓ L'équivalent de sable visuel est donné par la formule (III - 09) :

$$E_{SV} = \frac{h_2}{h_1} 100 \quad (\text{III} - 09)$$

- ✓ L'équivalent de sable par piston est donné par la relation (III - 10) :

$$E_{SP} = \frac{h'_2}{h_1} 100 \quad (\text{III} - 10)$$

- ✓ Donc, l'équivalent de sable est donné par la formule (III - 11) :

$$E_S = \frac{E_{SV} + E_{SP}}{2} \quad (\text{III} - 11)$$

b) Résultat d'essai

A partir des essais réalisés au labo, le résultat d'équivalent de sable est égal à 73,21 %.

Donc, le sable est propre de faible pourcentage de fines et convient parfaitement pour les bétons ordinaires.

III.2.2.5. Essai de propreté des granulats (NF P 18 - 591)

Cet essai a pour but de déterminer la propreté superficielle des granulats de diamètre supérieure à 2 mm, pour obtenir une meilleure qualité du béton.

a) Principe de l'essai

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage des particules inférieures à 0,5 mm mélangées ou adhérentes à la surface supérieures des granulats, ces particules sont séparées par lavage sur le tamis de 0,5mm. [58]

b) Mode opératoire

L'essai de propreté des graviers de classe 3/8 ou 8/15 se fait selon les étapes ci-après: [58]

- ✓ Séchage de l'échantillon humide des matériaux à l'étuve à $(105\text{ °C} \pm 5\text{ °C})$.
- ✓ Prise d'une masse sèche (M_s) supérieure à 0,2 D, pour cet essai on prend un échantillon de 3000 g de gravier de classe 3/8 et de même pour la classe 8/15.
- ✓ Tamisage sous eau de l'échantillon sur le tamis de 0,5 mm jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire.
- ✓ Récupération du refus et le sécher à l'étuve à $(105\text{ °C} \pm 5\text{ °C})$, jusqu'à masse constant, puis tamiser sur le tamis de 0,5 mm pendant une minute, soit (m') sa masse sèche.
- ✓ La masse sèche (m) des éléments inférieurs à 0,5 mm est calculée par la relation (III-12):

$$m = M_s - m' \quad (\text{III} - 12)$$

- ✓ La propreté superficielle est calculée par la relation (III - 13) :

$$P\% = 100 \frac{m}{M_s} \quad (\text{III} - 13)$$

c) Résultat d'essai

La propreté de gravier de classe 3/8 est égale à 3,32%.

La propreté de gravier de classe 8/15 est égale à 3,73%.

Donc, Ces résultats sont acceptables et le gravier utilisé pour la confection du béton est qualifié propre selon la norme.

III.2.2.6. Essai de friabilité de sable (NF P 18 - 576)

Cet essai a pour but de définir la résistance à la fragmentation du sable.

a) Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer l'évolution granulométriques des sables produites par fragmentation dans un cylindre en rotation, à l'aide une charge en présence d'eau, pour les éléments de sables supérieures à 0,2 mm et inférieurs à 2 ou 4 mm. [59]

b) Mode opératoire

Cet essai se fait par ces étapes : [59]

- ✓ Tamiser par voie humide l'échantillon de sable sur les tamis 2 mm et 0,2mm.
- ✓ Sécher le refus de 0,2 mm dans l'étuve à (105°C ± 5 °C), et peser une masse de 500g.
- ✓ Préparer la charge de broyage et introduire dans le cylindre d'essai (voir photo 11 en annexe) par la façon suivante :

Prendre 9 billes de 30mm de diamètre, dont la masse doit être comprise entre 925 g et 985g, ajouter 21 billes de 18 mm de diamètre, dont la masse doit être comprise entre 440 g et 500 g, et compléter avec des billes de 10 mm de diamètre, de façon que la masse totale de la charge soit de 2500 g ± 4 g.

- ✓ Mettre le cylindre en rotation à la vitesse de 100 tr/min ± 5tr/min pendant 15 minutes.
- ✓ Verser le contenu du cylindre sur deux tamis superposés de 8 mm et de 0,1 mm, et tamiser l'ensemble sous l'eau, jusqu'à ce quelle devienne claire.
- ✓ Sécher le refus de tamis 0,1 mm à l'étuve à (105°C ± 5 °C), puis tamiser la masse sèche au tamis de 0,1 mm, et peser le refus, soit (m') cette masse.
- ✓ Le coefficient de friabilité est calculé par la relation (III - 14) :

$$F_s \% = \frac{500 - m'}{500} 100 \quad (\text{III - 14})$$

c) Résultat d'essai

L'essai de friabilité a donné une valeur de 13,97%, donc ce sable est de bonne qualité et ce résultat est acceptable pour un béton ordinaire.

III.2.2.7. Essai Los Angeles (NF P 18 - 573)

Cet essai a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par choc des grains de l'échantillon de gravier.

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulettes normalisées dans la machine de Los Angeles. [60]

a) Mode opératoire

L'essai effectué sur le gravier 8/15 suit les étapes ci-après: [60]

- ✓ Laver et sécher le matériau à l'étuve à $(105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C})$, puis tamiser l'échantillon de gravier sec sur deux tamis superposés de diamètre 10 mm et 14 mm.
- ✓ Peser un échantillon de gravier 8/15 de masse de $5000 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$.
- ✓ Introduire avec précaution la charge de boulets (11 boulets) de masse de 4840 g, et la masse de l'échantillon pesé dans le cylindre creux de la machine de Los Angeles.
- ✓ Faire effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 tr/mn et 33 tr/mn (voir photo 12 en annexe).
- ✓ Laver et tamiser le matériau contenu sur le tamis de 1,6 mm, puis sécher le refus à l'étuve à $(105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C})$, soit (m') la masse sèche.
- ✓ Le coefficient de Los Angeles est calculé par la relation (III - 15) :

$$L_A \% = \frac{5000 - m'}{5000} 100 \quad (\text{III} - 15)$$

b) Résultat d'essai

L'essai effectué sur le gravier 8/15 donne la valeur du coefficient de Los Angeles de 23,57%, ce gravier est de catégorie (B) acceptable pour la confection d'un béton ordinaire. [48]

III.2.2.8. Analyses chimiques

III.2.2.8.1. Essai de détermination des corps insolubles (NF P 15-461)

Cet essai a pour objet de déterminer le pourcentage des corps insolubles dans la matière, ces insolubles sont des silicates ou des corps insolubles dans l'acide chlorhydrique.

a) Principe d'essai

L'essai consiste à bouillir l'échantillon avec l'acide chlorhydrique, puis filtrer le mélange sur un papier filtre pour déterminer les matières non solubles dans l'acide chlorhydrique.

b) Mode opératoire

Le mode opératoire de l'essai suit les étapes ci-après : [61]

- ✓ Prendre 80g d'échantillon humide, puis étuver à 105-110 °C.
- ✓ Tamiser l'échantillon au tamis de 0,2 mm, puis peser une masse (M_0) de 1g.
- ✓ Mettre dans un bécher à 250 ml, et ajouter 100 ml d'acide chlorhydrique (HCl) de concentration diluée à 10%.
- ✓ Bouillir doucement pour une durée de 4 à 5 minutes, jusqu' à l'obtention d'une couleur jaune claire du mélange (voir les photos (III, 02)).
- ✓ Refroidir le mélange pour une durée de 15 minutes dans un récipient contenant l'eau.
- ✓ Filtrer le mélange sur un papier filtre N° 541 sans cendres.
- ✓ Laver le bêcheur à l'aide de l'eau distillée jusqu'à disparition des ions chlorures (Cl).
- ✓ Réserver le filtrat pour déterminer la teneur des ions de sulfate (SO_4^{2-}).
- ✓ Peser le creuset vide, soit de masse (M_1).
- ✓ Mettre le papier filtre contenant les insolubles dans un creuset, puis l'étuvage au four à 900°C de température pendant 15 minute, et peser le creuset, soit de masse (M_2).
- ✓ La teneur des insolubles est calculée par la relation (III - 17) :

$$INS\% = \frac{M_2 - M_1}{M_0} 100 \quad (\text{III} - 17)$$

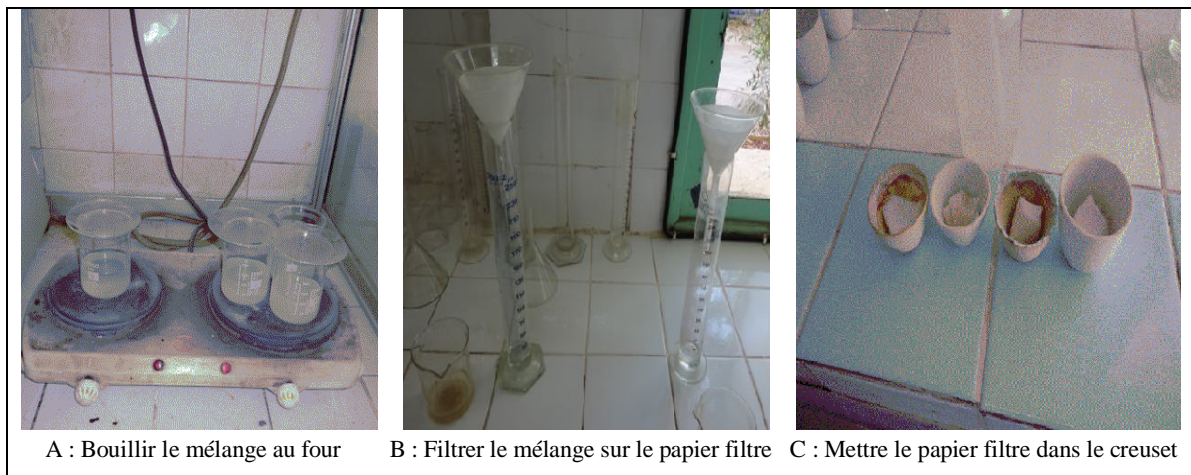


Photo (III, 02) : Essai de détermination les corps insolubles dans la matière.

III.2.2.8.2. Essai de détermination des carbonates (NF P 15-461)

Cet essai a pour but de définir le taux des carbonates dans la matière, ces carbonates sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3), ils sont très agressifs sur le béton et les aciers du béton armé.

a) Principe d'essai

L'essai consiste à déterminer la précipitation de carbonates dans la matière sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3), lorsque tous les carbonates sont précipités en présence de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), la couleur de la solution est transférée à la couleur violet.

b) Mode opératoire

Les étapes d'essai de détermination des carbonates sont : [61]

- ✓ Tamiser l'échantillon sèche au tamis de 0,2 mm, puis peser une masse (M_0) de 0,5 g.
- ✓ Ajouter à l'échantillon un volume (V_b) de 10 ml d'acide chlorhydrique (HCl), avec une concentration diluée de 10% (voir les photos (III, 03)).
- ✓ Ajouter 03 ou 04 gouttes de phénolphtaléine de concentration de 0,1% (détecteur).
- ✓ Bouillir doucement le mélange d'une durée de 30 secondes pour activer la réaction.
- ✓ Ajouter la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) goutte à goutte, jusqu'à l'obtention d'une couleur violet.
- ✓ Lire le volume (V_a) de NaOH .
- ✓ La teneur de calcium des carbonates est calculée par la relation (III - 18) :

$$\text{CaCO}_3 \% = \frac{5(V_b - V_a)}{M_0} \quad (\text{III} - 18)$$

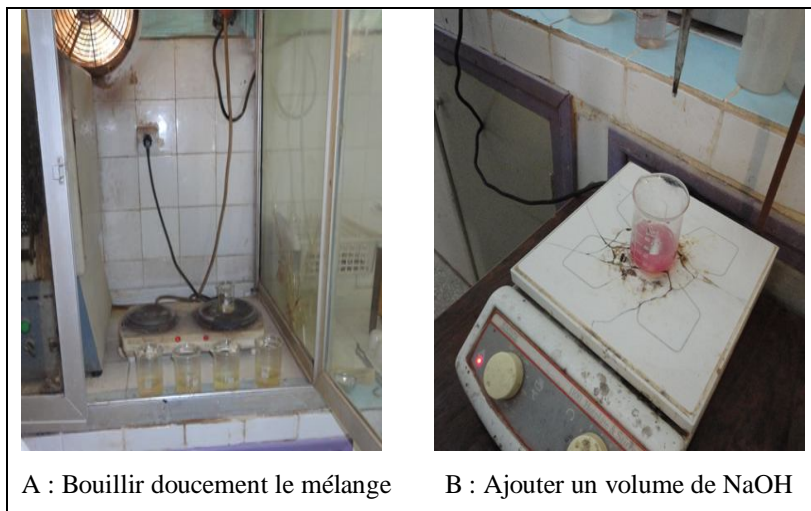


Photo (III, 03) : Essai de détermination des carbonates de calcium dans la matière.

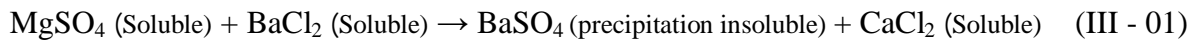
III.2.2.8.3. Essai de détermination des sulfates (BS 1377/V1975)

Cet essai a pour objet de déterminer le pourcentage des sulfates dans la matière, ces sulfates sont trouvés dans le matériau sous formes : de sulfates de sodium ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$), des

sulfates de magnésium ($Mg SO_4$) et des sulfates de calcium ($Ca SO_4$), ou sous forme de gypse faiblement soluble dans l'eau. Généralement, ces sulfates sont très nuisibles sur le béton.

a) Principe d'essai

L'essai consiste à bouillir l'échantillon à l'aide de chlorure de baryum ($BaCl_2$), puis filtrer la solution sur un papier filtre pour déterminer les précipitations des sulfates des baryums insolubles selon l'équation (III - 04): [62]



b) Mode opératoire

Les étapes d'essai de détermination des sulfates sont : [62]

- ✓ Prendre le filtrat des insolubles et ajuster jusqu'à 250 ml avec l'eau distillée, puis l'agitation du filtrat.
- ✓ Prendre 100 ml de filtrat dans un bêcher, et ajouter 10 ml de chlorure de baryum ($BaCl_2$) de concentration diluée à 5% (voir les photos (III, 04)).
- ✓ Bouillir doucement d'une durée de 4 à 5 minutes, jusqu' à l'obtention d'une couleur jaune claire du mélange.
- ✓ Refroidir la solution une durée de 15 minute dans un récipient contenant de l'eau.
- ✓ Filtrer la solution sur un papier filtre N° 541, puis laver le bêcher à l'aide de l'eau distillée.
- ✓ Peser le creuset vide, soit de masse (M_1).
- ✓ Mettre le papier filtre contenant les sulfates précipités dans un creuset, puis l'étuvage au four à $900^\circ C$ de température pendant 15 minutes, et peser le creuset, soit de masse (M_2).
- ✓ La teneur des sulfates (SO_4^{-2}) est calculée par la relation (III - 19) :

$$SO_3^{-2} \% = 34,3 \frac{M_2 - M_1}{M_0} \quad \text{(III - 19)}$$

- ✓ La teneur de gypse ($Ca SO_4$) est calculée par la relation (III - 20) :

$$CaSO_4 \% = 184,23 \frac{M_2 - M_1}{M_0} \quad \text{(III - 20)}$$

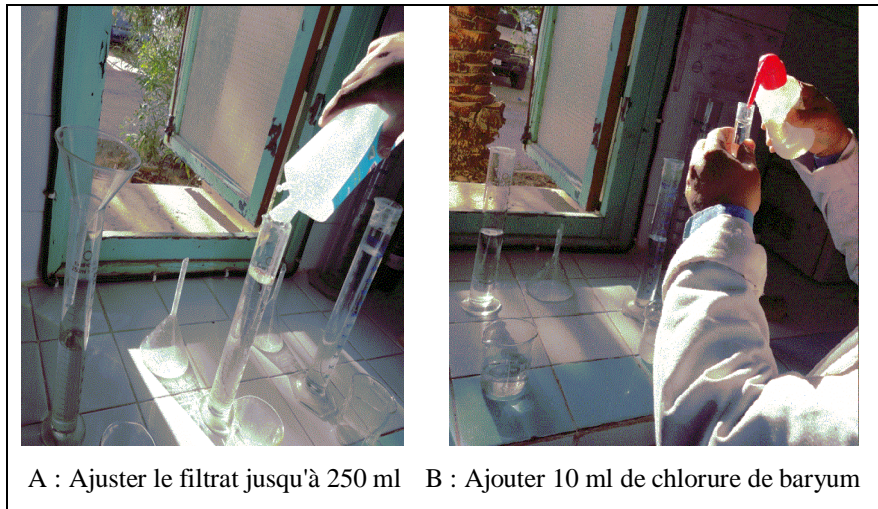


Photo (III, 04) : Essai de détermination les sulfates dans la matière.

III.2.2.8.4. Essai de détermination des chlorures (BS BOWLY/ V1979)

Cet essai a pour objet de déterminer le pourcentage des chlorures dans la matière, ces chlorures se trouvent dans le matériau sous formes : des ions chlorures (Cl^-), et des chlorures de sodium (NaCl), ces chlorures sont très agressifs sur les aciers du béton armé.

a) Principe d'essai

L'essai consiste à déterminer la précipitation de chlore dans la matière sous forme d' AgCl , cette transformation se fait en présence des chromates de potassium (K_2CrO_4) et la solution du nitrate d'argent (AgNO_3), par le changement de la couleur au rouge brique et la formation de CrO_4Ag_2 , pour obtenir un pH neutre qui provoque la précipitation des chlorures dans la matière.

b) Mode opératoire

Les étapes d'essai de détermination des chlorures sont : [63]

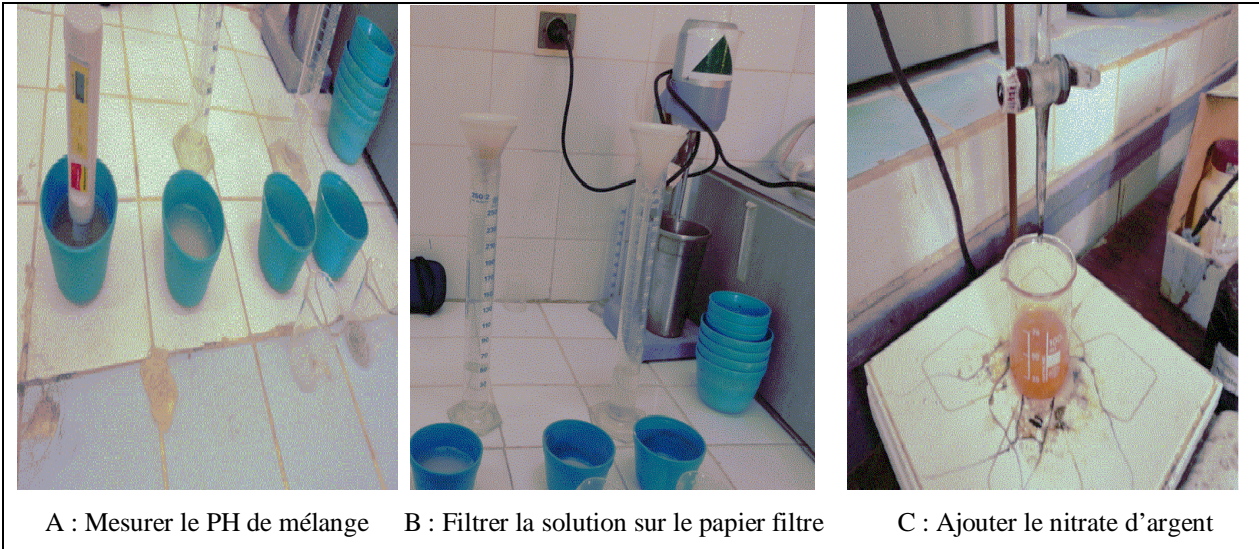
- ✓ Tamiser l'échantillon sèche au tamis de 0,2 mm, puis peser une masse de 50g.
- ✓ Ajouter à l'échantillon 100 ml de l'eau distillée, et agiter le mélange pendant 24 heures.
- ✓ Mesurer le pH du mélange avant le filtrage, puis filtrer le mélange sur un papier filtre N° 541.
- ✓ Prendre 25 ml de filtrat dans un bécher et ajouter 03 gouttes de l'acide nitrique (HNO_3).
- ✓ Ajouter 03 gouttes de chromate de potassium (K_2CrO_4) de concentration diluée à 10%.

- ✓ Titrer à pH neutre et précipiter les chlorures par ajouter le nitrate d'argent (AgNO_3) goutte à goutte, jusqu'à l'obtention d'une couleur rouge brique.
- ✓ Lire le volume (V) d' AgNO_3 (voir les photos (III, 05)).
- ✓ La teneur des ions chlorures (Cl^-) est calculée par la relation (III - 21) :

$$\text{Cl}^- \% = 0,005672 (V - 0,2) \quad (\text{III} - 21)$$

- ✓ La teneur des chlorures de sodium (NaCl) est calculée par la relation (III - 22) :

$$\text{NaCl} \% = 1,64 \text{Cl}^- (\%) \quad (\text{III} - 22)$$



A : Mesurer le PH de mélange

B : Filtrer la solution sur le papier filtre

C : Ajouter le nitrate d'argent

Photo (III, 05) : Essai de détermination des chlorures dans la matière.

Les résultats des essais des analyses chimiques sur le sable et le gravier sont résumés au tableau (III, 10).

Tableau (III, 10): Résultats des analyses chimique du sable et du gravier.

Constituants en %	Sable naturel	Mélange de gravier 3/8 et 8/15
Insolubles	90,21	30,26
Sulfates (SO_4^{-2})	0,35	0,85
Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1,86	4,59
Carbonates (CaCO_3)	1,5	77
Chlorures (Cl^-)	0,0159	0,0226
Chlorures de sodium (NaCl)	0,0263	0,0363

D'après les résultats des analyses chimiques de sable et de gravier, on remarque que:

- ✓ Le sable est d'origine siliceux, ainsi que les éléments agressifs sont contenus en quantité faible, ce qui permet leur utilisation pour la confection du béton.
- ✓ Les graviers 3/8 et 8/15 sont des matériaux d'origine calcaire, les éléments nuisibles sont contenus en quantité faible, ce qui permet leur utilisation pour le béton sans crainte.

III.2.3. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la préparation des gâchées des bétons et des mortiers permettant d'avoir une consistance visée, selon les conditions et moyens de mise en œuvre. [18]

L'eau employée est souvent l'eau douce propre de toutes impuretés solides ou solubles qui peut influencer sur la stabilité des granulats, ou les conditions d'hydratation, ou le durcissement du béton, ou l'évolution de la résistance mécanique et/ ou la durabilité du béton, ou la protection des armatures contre la corrosion. [18] [64]

Généralement, l'eau potable est propre ne nécessite aucun essai d'analyse, il se caractérise par des propriétés physico-chimiques acceptables pour la confection du béton que les eaux usées ou les eaux de haute salinité.

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des éprouvettes en béton est l'eau potable de robinet du laboratoire LTPS d'unité de Ouargla.

Conclusion

L'étude des différentes caractéristiques de sable et de gravier, ainsi les propriétés du ciment et de l'eau de gâchage montre que les matériaux sont acceptables pour la confection des éprouvettes en béton.

III.3. Formulation du béton par la méthode de Dreux Gourisse

III.3.1. Principe de la méthode

Cette méthode est la plus utilisée pour la confection du béton, elle est basée sur ces étapes : [18]

- ✓ Tracer les courbes granulométriques du sable (S), du gravier 3/8 (G3/8) et du gravier 8/15 (G8/15), dans un plan d'axes orthonormé (d, T%) d'une échelle arithmétique.

- ✓ Tracer la courbe de référence de Dreux Gourrisse constituée d'une ligne brisée (O A B) ayant les abscisses suivantes: O (0,0) A (D/2, Y) B (D, 100%).
- ✓ D étant le grand diamètre des granulats, il est égal à 20 mm.
- ✓ La valeur de Y est calculée suivant la relation (III - 23) :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s \quad (\text{III} - 23)$$

K: facteur correctif qui dépend du dosage de ciment, l'énergie de serrage, et la nature et forme des granulats voir tableau (III, 11):

Tableau (III, 11): Coefficient correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité des granulats. [18]

Vibration du béton		faible		normale		puissant	
Forme des granulats		roulé	concassé	roulé	concassé	roulé	concassé
Dosage de ciment en Kg/m ³	400 + fluidifiants	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	2	-2	0	-4	-2
	350	2	4	0	2	-2	0
	300	4	6	2	4	0	2
	250	6	8	4	6	2	4
	200	8	10	6	8	4	6

D'après le tableau, pour un dosage de 400 Kg/m³ de ciment, un granulat concassé et une vibration normale; on peut adopter un coefficient de correction égal à 0 (K = 0).

K_s : coefficient de correction supplémentaire, il est calculé en fonction du module de finesse du sable par la relation (III - 24) :

$$K_s = 6M_f - 15 \quad (\text{III} - 24)$$

Le coefficient de correction supplémentaire est égale à - 0.78 (K_s = -0,78), donc :

$$Y = 50 - \sqrt{20} + 0 - 0,78 \Rightarrow Y = 44,75\% \quad (\text{III} - 25)$$

Les valeurs de la courbe de référence de Dreux Gourrisse sont : O (0, 0), A (10, 44,75), B (20, 100%).

- ✓ Tracer les lignes de partage joignant les points de 5% sur G3/8 et 95% sur S, de 5% sur G8/15 et 95% sur G3/8.
- ✓ Les points d'intersection de cette ligne avec la courbe de référence, et la verticale de Joisel permettent les lectures des pourcentages de S, G3/8 et G8/15 (voir la figure (III, 02))

$$S = 33\% \quad G3/8 = 9\% \quad G8/15 = 58\%$$

III.3.2. Détermination de la quantité d'eau

D'après la figure (III, 01) pour un dosage de 400 Kg/m^3 de ciment utilisé et un affaissement de béton de 7 cm, donc le rapport C/E est 2.

$$C / E = 2 \Rightarrow E = 200l$$

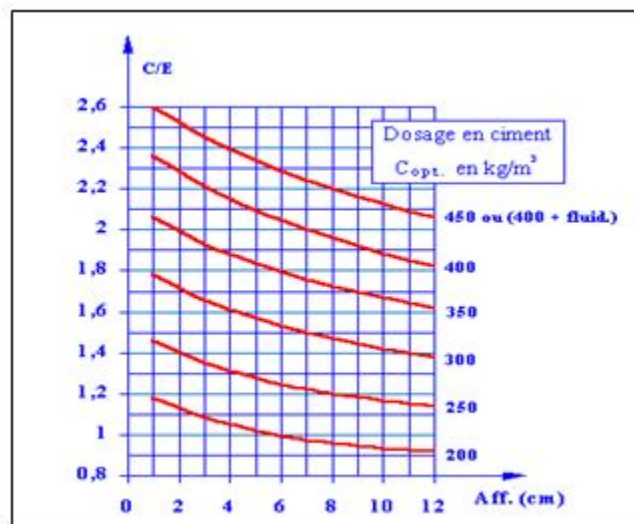


Figure (III, 01) : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône). [18]

Mais après correction de la formulation d'après les essais de convenance et ajustement de la maniabilité désirée par la mesure de l'affaissement à l'essai du cône d'Abrams, la quantité d'eau est modifiée pour devenir : $E = 256l$

III.3.3. Détermination le volume absolu des agrégats secs

Le volume granulats sec est calculé par la relation (III - 29) :

$$V_{\text{sec}} = 1000 - V_{\text{eau}} \Rightarrow V_{\text{sec}} = 744l \quad (\text{III} - 26)$$

III.3.4. Détermination du pourcentage de ciment

Pour un dosage de ciment de 400 Kg/m^3 , et de masse volumique de ciment de 3100 g/cm^3 .

$$\%C = V_C / V_{Sec} \Rightarrow \%C = 17,34\% \quad (III - 27)$$

III.3.5. Détermination des pourcentages massiques des constituants

Le tableau (III, 12) présente les pourcentages massiques des constituants de béton, après les calculs et l'utilisation de la méthode graphique de Dreux Gourisse (voir la figure (III, 02)).

Tableau (III, 12): Pourcentages massiques des constituants.

Ciment en %	Sable en %	Gravier 3/8 en %	Gravier 8/15 en %	Quantité d'eau en (L)	Affaissement au Cône d'Abrams (cm)	Rapport E/C
17,34	27,28	7,44	47,94	256	8	0,64

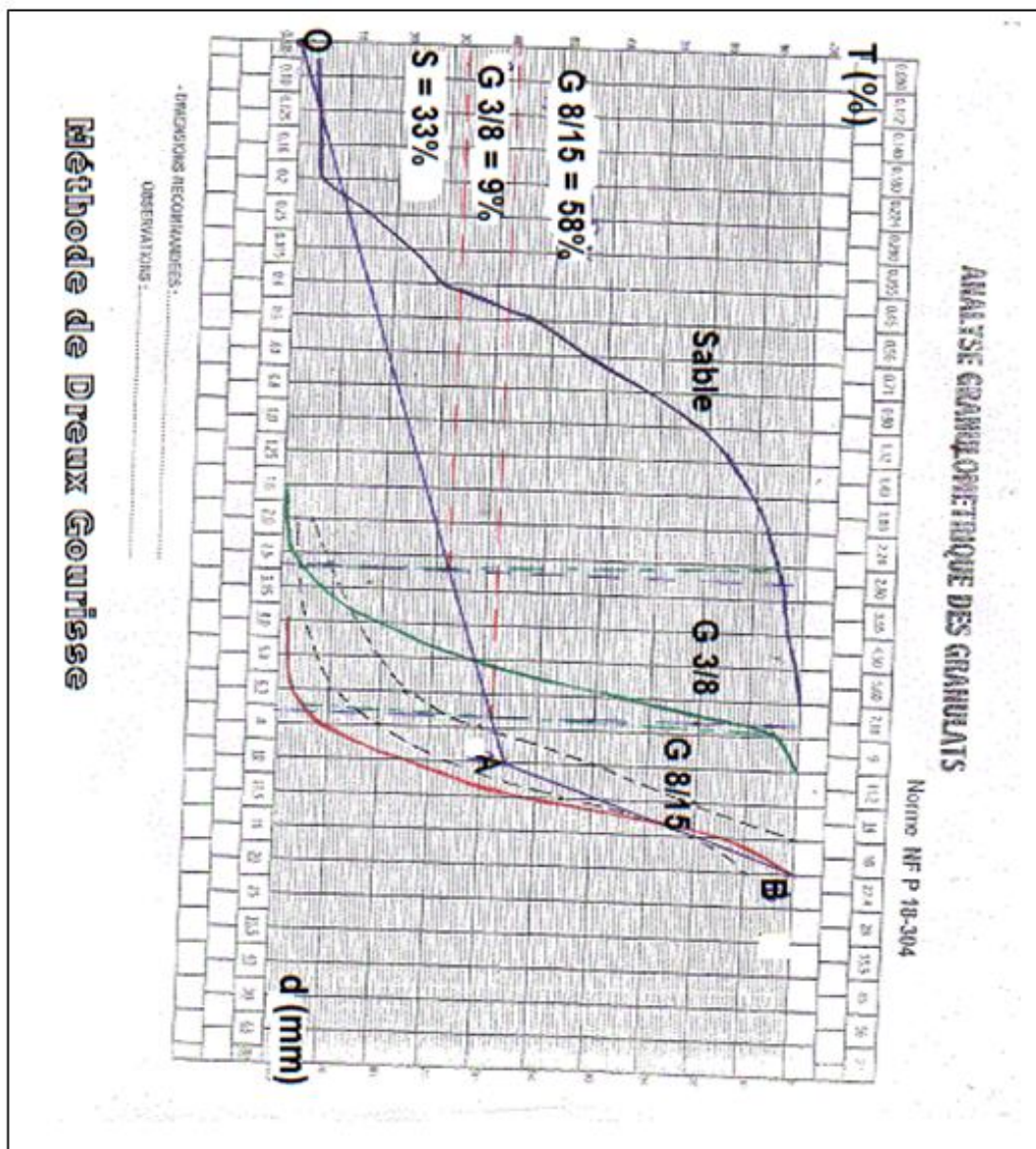


Figure (III, 02) : Formulation du béton par la méthode de Dreux Gourisse.

III.4. Mesurer de l'affaissement par l'essai de cône d'Abrams (NF P 18-451)

Cette essai a pour but de déterminer la plasticité du béton par l'utilisation du moule tronconique en tôle des dimensions ($D = 20$ cm, $d = 10$ cm, $h = 30$ cm).

a) Mode opératoire

Préparation un gâché du béton suivant la formulation étudiée, puis suivre ces étapes :

- ✓ Humidifier la surface d'appui, et huiler légèrement le cône, puis placer l'entonnoir.
- ✓ à l'aide d'une pelle creuse, introduire le béton en 3 couches représentant $1/3$ de la hauteur du cône.
- ✓ Piquer chaque couche 25 coups par une tige de piquage de $\varnothing 16$ mm. Ces coups doivent être répartis et pénétrer toutes les couches.
- ✓ à la dernière couche, au cours du piquage, ajouter le béton nécessaire pour que le cône soit juste rempli.
- ✓ Raser la surface du cône, et régler le niveau par une règle métallique.
- ✓ Démouler immédiatement en soulevant le cône avec précaution, lentement, à la verticale et sans secousses.
- ✓ Mesurer l'affaissement du béton par une règle, et utiliser le point plus haut comme un repère du béton affaissé (voir la photo (III, 06)).

Dans notre étude l'affaissement du béton est égal à 8 cm, donc ce béton de type plastique est de bonne plasticité. [65]

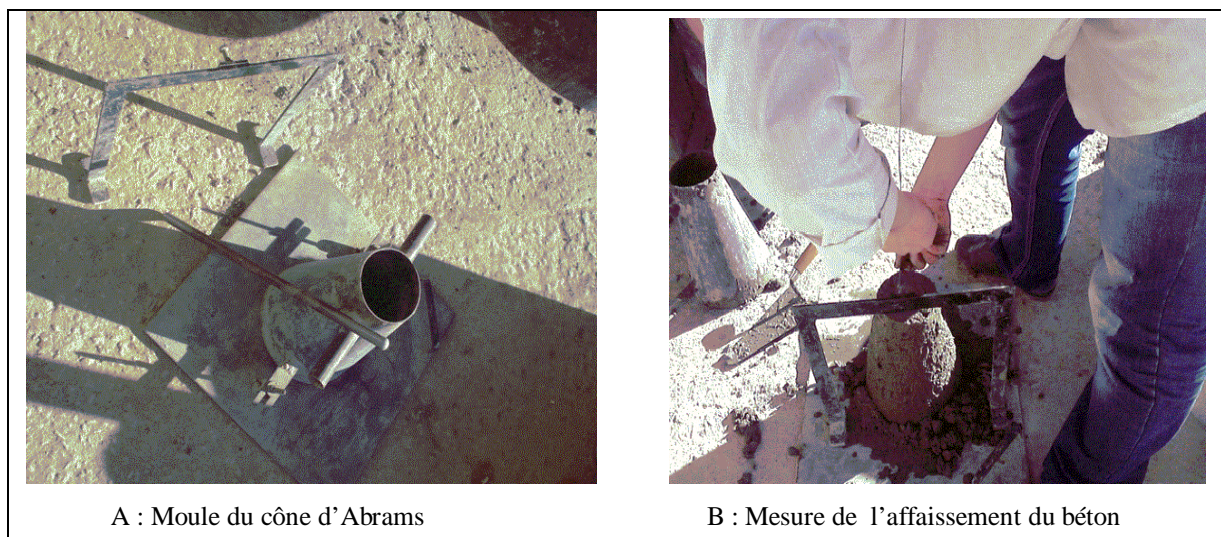


Photo (III, 06): Mesure de l'affaissement du béton au labo LTPS.

III.5. Confection et conservation des éprouvettes en béton

III.5.1. Confection des éprouvettes

Dans cette étude, on utilise les moules prismatiques des dimensions (70X70X280) mm³ selon les normes européennes NF EN 12390 -1 et NF P 18-427, [66] [67] pour faire des différents essais sur les éprouvettes en béton soit : l'absorption capillaires, l'essai à la traction par flexion et l'ultra son.

Après l'essai de traction par flexion, les chutes sont réglés sous formes des éprouvettes cubiques par l'emplacement des plaques des dimensions de (70X70) mm², pour faire l'essai de compression d'après la norme européenne NF EN 12390 -3. [66]

La confection des éprouvettes est selon la formulation du béton étudiée précédemment, et selon la norme française NF P18 – 404 (voir les photos (III, 07)), [68] donc on va suivre ces étapes :

- ✓ Préparer les constituants du mélange sec dans le malaxeur (gravier, sable, ciment).
- ✓ Malaxer le mélange sec d'une durée de 1 minute.
- ✓ Ajouter l'eau de gâchage, puis malaxer le mélange frais d'une durée de 2 minutes.
- ✓ Vérifier la plasticité du béton par mesurer de l'affaissement à l'essai du cône d'Abrams.
- ✓ Huiler les moules prismatique, puis introduire le béton aux moules en deux couches.
- ✓ Vibrer chaque couche de béton par la table vibrante pendant une durée de 10 secondes.
- ✓ Raser et régler la surface du béton par une pelle, puis laisser pour le durcissement.



A : Moules prismatiques (7X7X28) cm³



B : Huiler les moules avant le coulage



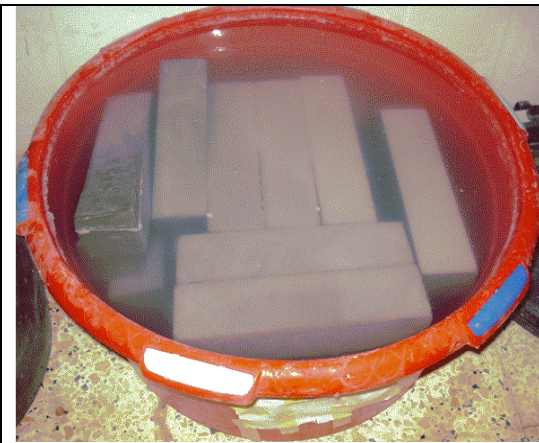
Photo (III, 07) : Confection des éprouvettes en béton ($7 \times 7 \times 28$) cm^3 au labo LTPS.

III.5.2. Conservation des éprouvettes

Après le coulage du béton, les éprouvettes sont conservées dans les moules à l'intérieur du laboratoire ($T = 20 \pm 5$ °C et $HR = 70 \pm 5$) pendant une durée de 24 heures, pour le durcissement du béton et éviter toute évaporation de l'eau.

Après le démoulage, une série d'éprouvettes témoins sont conservées au laboratoire de M.D.S (laboratoire mécanique de sol au département de génie civil), dans un bac remplis

d'eau potable de labo. Une autre série est conservée dans le bassin rempli d'eau usée à la station d'épuration (S.T.E.P) de Ouargla (voir la photo 13 en annexe), la dernière série est surélevée sur un support métallique et exposée au gaz H_2S dans un regard fermé ayant pour but d'assurer une grande concentration de gaz H_2S (au département de génie civil), (voir les photos (III, 08)). Ces éprouvettes sont conservées dans milieux cités, jusqu'à la date des essais.



A : Eprouvettes conservés à l'eau potable



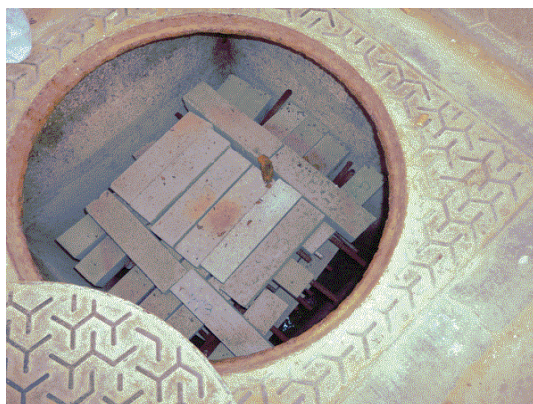
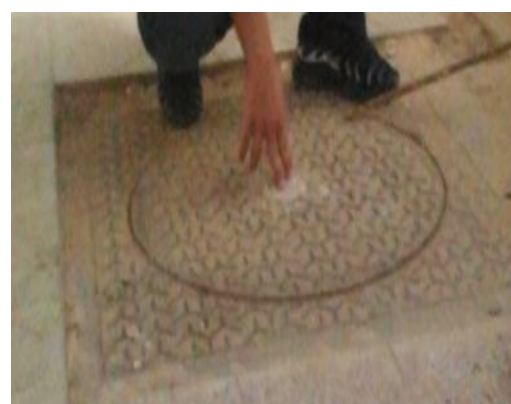
B : Eprouvettes témoins au labo M.D.S



C : Eprouvettes conservées dans l'eau usée



D : Eprouvettes en béton conservées à la S.T.E.P

E : Eprouvettes en béton exposées au gaz H_2S 

F : Regard de conservation fermé.

Photo (III, 08) : Conservation des éprouvettes en béton durci dans différents milieux.

III.6. Confection et conservation des éprouvettes en PRV

III.6.1. Confection des éprouvettes

Pour la réalisation des essais relatifs à cette étude l'usine de MAGHREB PIPE de la wilaya de M'sila a pris en charge la fabrication de trois conduites en PRV par la technique de fabrication de l'enroulement filamentaire discontinue, et dont les matières premières utilisées sont: résines (Orthophtalique et Isophtalique), fibres en verres (coupés et continues), additifs (catalyseurs et accélérateurs).

Ces conduites sont caractérisées par une pression nominale de 20 bars et de rigidité de 10000 N/m², et des dimensions sont présentées sur le tableau (III, 13).

Tableau (III, 13): Dimensions des conduites en PRV fabriquées à l'usine.

Diamètre nominal (DN) en mm	Diamètre extérieure (DE) en mm	Diamètre intérieure (DI) en mm	Epaisseur moyenne (e) en mm	Longueur (L) en mm
300	310,40	300	5,20	1700

Les essais sur le matériau PRV sont réalisés au laboratoire de l'usine de MAGHREB PIPE (voir les photos (III, 09)), et les dimensions des échantillons sont préparées suivant ces normes :

- ✓ **Essai d'ovalisation** : couper un échantillon de longueur de 30 cm d'une conduite de 30 cm de diamètre selon la norme américain ASTM D 2412-02. [69]
- ✓ **Essai de flexion de trois points** : préparer des échantillons des dimensions de 15 mm de largeur et de 104 mm de longueur, suivant la norme américaine ASTM D 790-03. [70]
- ✓ **Essai de traction** : préparer des éprouvettes des dimensions de 25 mm de largeur et de 250 mm de longueur, selon la norme européenne EN ISO 527-04. [71]

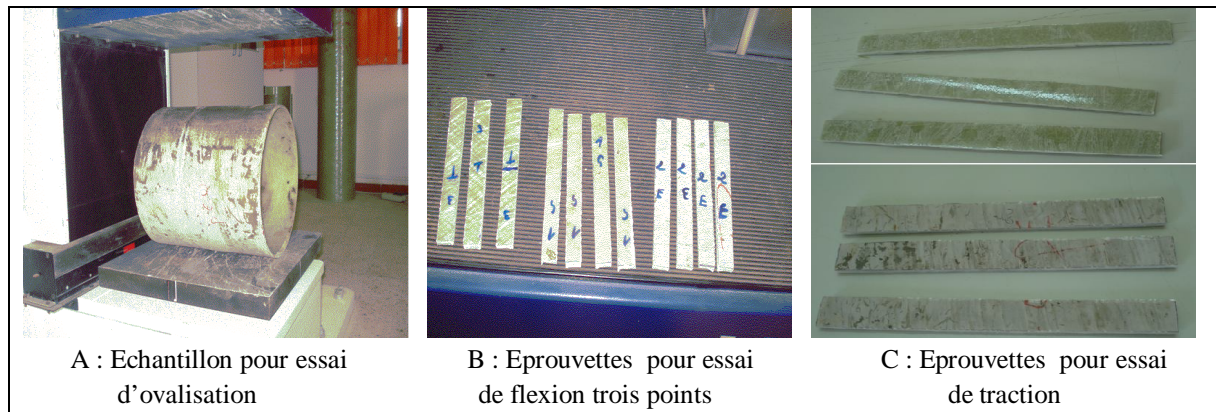


Photo (III, 09) : Confection des éprouvettes en PRV.

III.6.2. Conservation des conduites

Une conduite est laissée au laboratoire de l'usine pour prélever des éprouvettes témoins. Les deux autres conduites sont conservées dans un bassin rempli d'eau usée au S.T.E.P de Ouargla, chaque conduite est fermée par deux tampons circulaires en plastique de diamètres de 290 mm, ayant des ouvertures de hauteur ($H/3$) ou de 100 mm de hauteur de la conduite, pour permettre le passage des eaux usées à l'intérieure et le dégagement de gaz H_2S après immersion des conduites (immergés au tiers ($H/3$) ou 100 mm de la hauteur du diamètre des conduites, et deux tiers ($2H/3$) ou 200 mm de la hauteur du diamètre est vide pour assurer le dégagement de gaz H_2S de la partie supérieure des conduites), en plus le niveau de l'eau usée au bassin est variable suivant le débit, et l'eau évacuée des conduites est d'une hauteur (100 ± 30) mm (voir la photo (III, 10)).

Chaque période d'essai on coupe 30 cm de chaque conduite par une tronçonneuse de disque en diamante, pour faire des essais au laboratoire de MAGHREB PIPE, on utilise une coupe de longueur de 30 cm pour faire l'essai d'ovalisation, mais l'autre coupe sera réservée pour le prélèvement des échantillons à la partie immergée dans l'eau usée et la partie supérieure non immergée (partie de gaz H_2S), pour faire des essais de traction et de flexion de trois points.

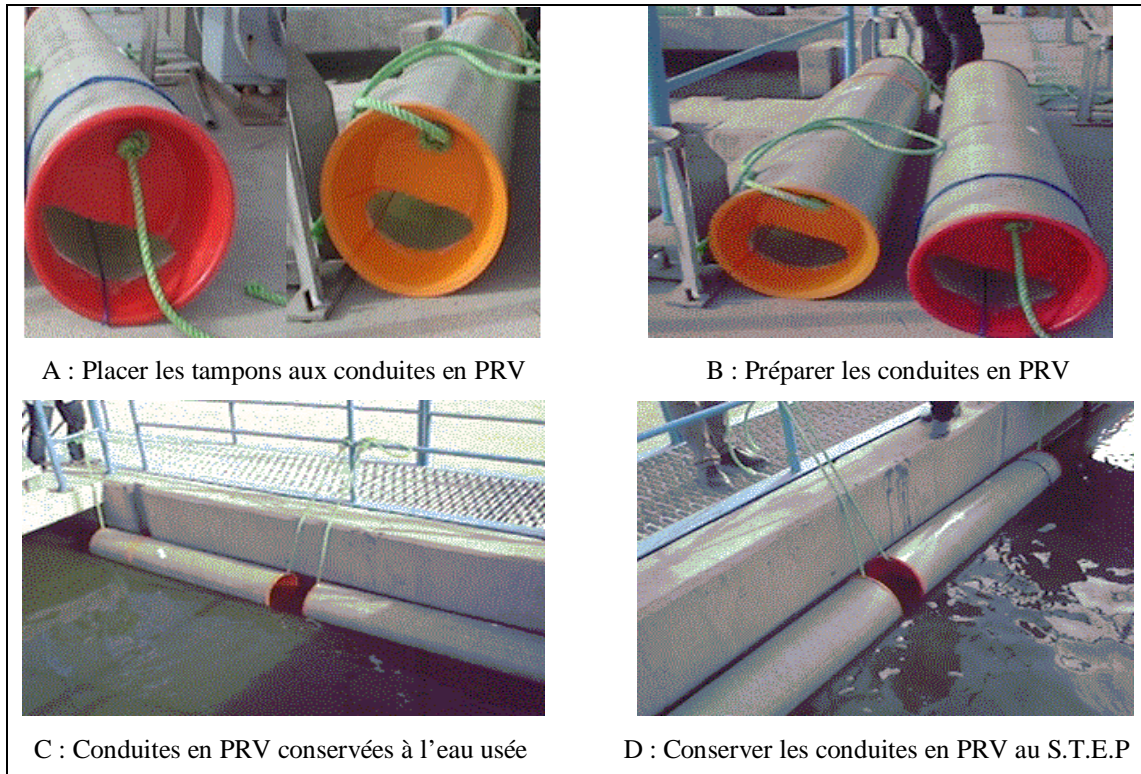


Photo (III, 10) : Conservation des éprouvettes en PRV au S.T.E.P.

Conclusion

Les matériaux utilisés pour la fabrication du béton sont acceptables et de bonnes caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques.

La confection des éprouvettes en béton se fait suivant les normes pour obtenir une compacité élevée et une bonne résistance mécanique.

Les éprouvettes en béton sont conservées en milieu agressif de l'eau usée et au gaz H_2S , avec des éprouvettes témoins pour comparer les résultats du béton, selon des essais mécaniques, physiques et chimiques réalisés au laboratoire de LTPS.

Les conduites en PRV sont immergées en milieu agressifs (eau usée et gaz H_2S), ayant pour but d'évaluer la durabilité de ces conduites, selon des essais mécaniques et chimiques réalisés aux laboratoires de MAGHREB PIPE et de LTPS.

CHAPITRE IV
RESULTATS
ET INTERPRETATIONS

CHAPITRE IV: RESULTATS ET INTERPRETATIONS

IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'exposition des résultats obtenus des essais effectués au laboratoire de LTPS et celui de l'usine de MAGHREB PIPE, sur les éprouvettes en Béton et en PRV conservés dans l'eau usée et exposées au gaz H₂S comparées à des éprouvettes témoin confectionnées dans les mêmes conditions mais conservées dans le milieu standards.

IV.2. Essais effectués sur les éprouvettes en béton

Les essais sur les éprouvettes en béton ont été effectués au laboratoire de LTPS, après le séchage des échantillons conservés aux différents milieux à l'air libre pour une durée de 24 heures, puis procéder au programme d'essais physiques, chimiques et mécaniques.

IV.2.1. Essais mécaniques destructifs

IV.2.1.1. Essai de résistance à la compression (R_C)

Cette essai a été effectué par l'emplacement des plaques de section (70X70) mm² aux faces des éprouvettes après la rupture par l'essai de flexion, la figure (IV, 01) montre le dispositif d'essai de compression, puis elles sont positionnées sur les éprouvettes cubiques (70X70X70) mm³ au centre d'une presse (machine de WYKEHAM FARRANCE de force Max de 3000 KN), et de façon que le chargement s'effectue perpendiculairement au sens du coulage. Enfin elles sont chargées par l'application de charge sans choc et s'accroître de façon continue de vitesse constante sélectionnée, jusqu'à la rupture de l'éprouvette d'après la norme européenne NF EN 12390-3 (voir la photo (IV, 01)). [72] [73]

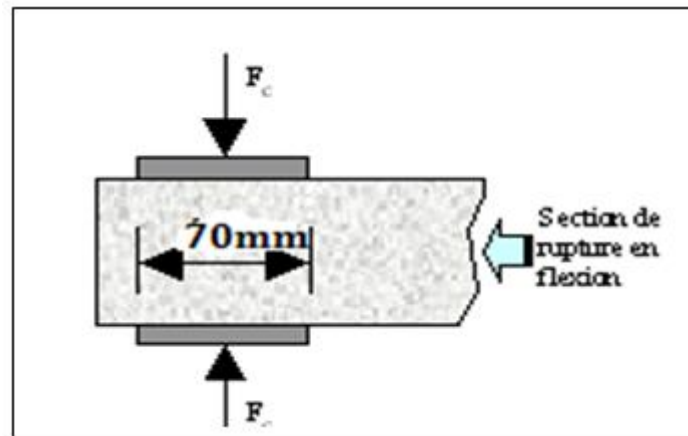


Figure (IV, 01) : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.

Cet essai a été réalisé au laboratoire LTPS unité de Ouargla, puis la résistance à la compression est calculé par la relation (IV - 01):

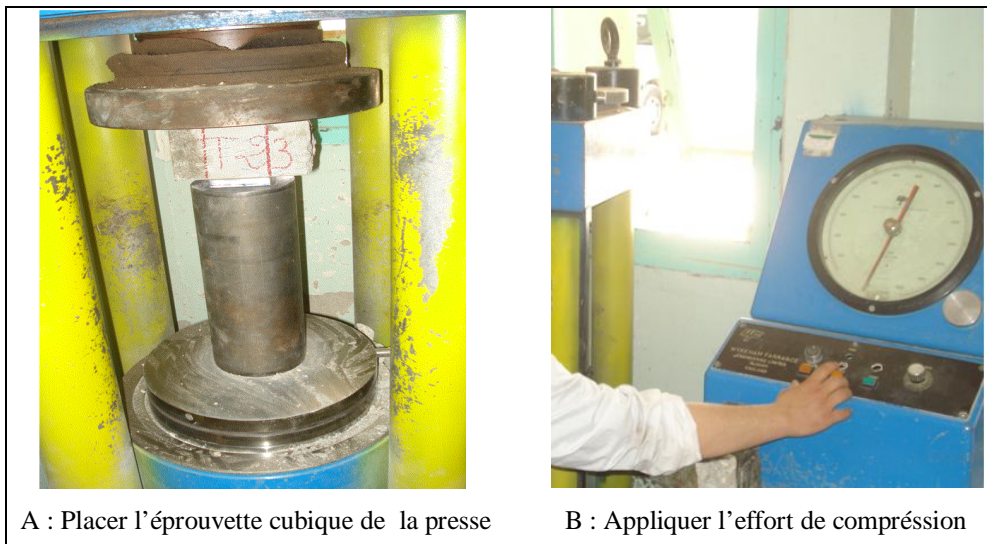
$$R_c = \frac{F}{A} \quad (\text{IV} - 01)$$

Avec :

R_c : est la résistance en compression, exprimée en MPa ou (N/mm^2).

F : est la charge maximale, exprimée en Newtons.

A : est l'aire de la section de l'éprouvette chargée, exprimée en mm^2 .



A : Placer l'éprouvette cubique de la presse

B : Appliquer l'effort de compression

Photo (IV, 01) : Essai de compression sur les éprouvettes en béton au labo LTPS.

La valeur de la résistance à la compression des éprouvettes en béton est la moyenne des résultats de six (06) éprouvettes dans chaque série d'essai. Les résultats de ces essais sont récapitulés sur le tableau (IV, 01) ci-après :

CONCLUSION GENERALE
ET RECOMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusions

D'après l'étude de l'effet des eaux usées et du gaz H₂S sur la durabilité des conduites d'assainissement utilisées dans la région de Ouargla, soient les conduites en béton ou en PRV, nous concluons ce qui suit :

1. La cuvette de Ouargla est caractérisée par un climat sec et chaud, ayant de hautes températures en été atteignant plus de 47,91°C. Les sols dans la région sont riches en sels très agressifs soient des sulfates ou/et des chlorures, et aussi l'existence de nappe phréatique proche à la surface ayant une très forte salinité. Ces caractéristiques influent sans doute négativement sur la durabilité des constructions qui y sont réalisées voir les ouvrages souterrains surtout les fondations et les réseaux d'assainissements (conduites et regards).
2. Les eaux usées dans la région de Ouargla contiennent de forte teneur en sulfates et en chlorures, dont la concentration peut atteindre 39710 mg/l en sulfates et 160783.42 mg/l en chlorures. En plus, les eaux usées ont un fort dégagement de gaz H₂S dans les réseaux d'assainissement suite aux campagnes de mesure de concentration de gaz effectuées par l'ONA (2011-2014).
3. Plusieurs constats de dégradations ont été relevés sur le béton des réseaux d'assainissement de Ouargla, sous l'effet de la pénétration des agents agressifs à l'intérieure des pores du béton soient : la carbonatation, attaque par les ions chlorures et la corrosion des armatures du béton, l'attaque par les sulfates et le gaz d'hydrogène sulfuré H₂S (voir photos 04 et 05 en annexe).
4. Les éprouvettes en béton de ciment CRS conservées dans les eaux usées, ont présenté des caractéristiques mécaniques acceptables comparativement au béton témoins et une pénétration des agents agressifs assez lente et où une faible régression en résistance

mécanique à la compression de 3 % et une réduction de la résistance à la traction par flexion de l'ordre de 7% à la durée de 365 jours de conservation ont été enregistrées.

5. L'exposition du béton en ciment CRS au gaz H₂S, montre une dégradation accéléré du béton sous l'effet du gaz H₂S notamment après 90 jours d'âge où une régression de 40 % d'environ de résistance à la compression par rapport aux éprouvettes témoins et de 34% pour la résistance à la traction a été enregistré à l'âge de 365 jours.

6. La conservation du PRV dans les eaux usées de Ouargla a montré une surélévation de contrainte à la rupture par traction maximale à l'âge de 365 jours de 14% par rapport aux éprouvettes témoins et une réduction de 20% de déformation à la rupture d'où une augmentation du module d'élasticité de l'ordre de 80%.

7. L'exposition du PRV au gaz H₂S des conduites d'assainissement de Ouargla a montré une surélévation de contrainte à la rupture par traction maximale à l'âge de 365 jours de 32% par rapport aux éprouvettes témoins et une réduction de 20% de déformation à la rupture d'où une augmentation du module d'élasticité de l'ordre de 100%.

8. Le matériau PRV représente une bonne alternative dans le réseau d'assainissement de Ouargla en remplacement d'éléments en béton CRS, étant donné qu'il résiste mécaniquement mieux qu'au béton de CRS vis-à-vis de l'agression du gaz H₂S.

Recommandations et perspectives des recherches

D'après l'étude de la durabilité des conduites en ciment et en PRV destinées au réseau d'assainissement de la région de Ouargla, nous recommandons ce qui suit:

- ✓ Eviter l'utilisation des conduites en béton de ciment CRS dans l'assainissement de la région de Ouargla notamment en la présence du gaz H₂S.
- ✓ A défaut de substituant appropriés, le badigeonnage par des peintures bitumineuses en plusieurs couches pour les ouvrages d'assainissement réalisés en béton dans la région de Ouargla (regards, conduite CAO, CAP), surtout la partie en contact avec le gaz H₂S, s'avère d'une importance capitale. Ainsi que l'aération du réseau.

- ✓ L'utilisation des éléments en PRV (conduites et regards), dans l'assainissement de Ouargla, constitue une bonne remède pour les dégradations constatées au réseau d'assainissement si un bon raccordement et bonne mise en œuvre sont assurées.

En perspectives, nous proposons ce qui suit :

- ✓ Etudier l'introduction des ajouts minéraux dans la formulation du béton d'assainissement de Ouargla, soient : des laitiers, des cendres volantes silico-alumineuse, des pouzzolanes naturelles et de fumée de silice et l'ajout des fibres en verre ou de résine.
- ✓ Etudier la durabilité du matériau PRV sous l'effet de salinité élevé dans la nappe phréatique de Ouargla.
- ✓ Etudier l'effet de haute température et des rayons solaires (ultra violet) sur la durabilité des éléments en PRV.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]- GAGNE.R, « Durabilité et réparations du béton », Cours en ligne de la durabilité de béton, GCI-714, site internet (www.civil.Usherbooke.ca/cours/gci174), Université de Sherbrooke, 29 Aout 2012.
- [2]- MECHERI.B, « Influence de la nappe phréatique sur les ouvrages hydrauliques et Génie civil », Mémoire de magistère, Département d'hydraulique et Génie Civil, Université de KASDI Merbah Ouargla, 2009.
- [3]- BENSEKRANE.K, « Durabilité des ouvrages en béton destinés à l'évacuation des eaux usées dans la vallée de Ouargla », Mémoire de Magistère, Département d'hydraulique et Génie Civil, Université de KASDI Merbah Ouargla, 2011.
- [4]- Agence des Bassins hydrographique Sahara, « Remontée des eaux de la nappe phréatique dans la wilaya de Ouargla et la wilaya d'El-Oued », Rapport technique, Ministère des Ressources en Eau, 1996.
- [5]- NEZLI.I.E, ACHOUR.S, DJABRI.L, « Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'Oued m'ya (Ouargla) », Article publier au journal Larhyss, décembre 2007.
- [6]- Rapport technique de BG (bureau d'étude techniques suisse), « Etude d'assainissements des eaux résiduaires, pluviaux et d'irrigations, mesure complémentaire de lutte contre la remontée de la nappe phréatique », Mission IC, Avant projet détaillé - Tranche II, Octobre 2004.
- [7]- BOUTELLI.M.H, « Salinité des eaux et des sols au niveau de la sebkha de Bamendil, caractérisation et conséquence sur l'environnement », Mémoire de Magistère, Département d'hydraulique et Génie Civil, Université de KASDI Merbah de Ouargla, Mai 2012.
- [8]- GUENDOZ.A, MOULLA.AS, EDMUNDS.JM, ZOUARI.K, SHAND.P, MANOU.A, « Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara », Hydrogeology Journal, Springer-Verlag, PP485, 2003.
- [9]- BELHADJ.H.A, GIRARD.M.C, « Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages», Science et changements planétaires / Sécheresse, Volume11, N° 3, PP179, Septembre 2000.

- [10]- Rapport annuel l'Office National de la Météorologie de Ouargla (O.N.M), « Données météorologiques de la station pluviométrique de la période d'observation (2002-2011) », 2012.
- [11]- UNESCO, « Etude des ressources en eau du Sahara septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100 », Rapport technique, Paris 1972.
- [12]- Agence nationale des ressources hydraulique (ANRH), « Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la Wilaya de Ouargla », Ouargla, Algérie, Janvier 2005.
- [13]- MESROUK.H, « Contribution à l'évaluation et au traitement des eaux usées dans la région de Ouargla : cas des composées phénoliques », Mémoire de Magistère, Département des sciences de la matière, Université de KASDI Merbah de Ouargla, 2011.
- [14]- « Document technique de l'assainissement et des analyses chimiques des eaux usées de Ouargla », Rapport technique de la station d'épuration (S.T.E.P) Ouargla, 2012.
- [15]- Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), « Analyse des eaux et des eaux usées », Laboratoire d'analyse de Département performances des systèmes de production et de transformation tropicaux (PERSYST), Paris, France, 2004.
- [16]- Norme Européenne NF P 18-011, « Bétons, Classification des environnements agressifs », Juin 1992, Editions AFNOR, Paris, 1992.
- [17]- « Caractéristiques techniques des conduites CAP et CAO », Document technique, de l'usine de TRANS-CANAL/EST/SPA, unité de Ouargla, 2011.
- [18]- DREUX.G, « Guide pratique du béton », Ingénieur en chef au Centre Expérimental du Bâtiment et des Travaux Publics, Edition de la société de diffusion des techniques du bâtiment et des travaux publics, Janvier 1970.
- [19]- JAAFAR. W, « Influence de la carbonatation sur la porosité et la perméabilité des bétons », Rapport de stage, Ingénieur de Recherche au laboratoire central des ponts et des chaussées (LCPC), PP.11-12, France, Juin 2003.
- [20]- « Guide technique, canalisation PRV pour adduction d'eau », Document technique, Génie Chimique Etude et Réalisation (G.C.E.R), Route de Thrayet, 4041-KSIBET SOUSSE, septembre 2005.
- [21]- « Système de canalisation FLOWTITE pour application en eau brute », Document technique, Flowtite Technology AS, P.O. Box 2059, 3202 Sandefjord, Norvège, Mai 2008.

- [22]- SIMON.T, COUDER.M, «Les fibres minérales», Documents techniques, Agence Rhône-Alpes pour la Maîtrise des Matériaux, France, Mai 2000.
- [23]- «Les fibres de verre», Document technique, société de Saint-Gobain Vetrotex America, 3410 Briarfield Blvd, America (USA), Septembre 2001.
- [24]- «Société polyester 93, les différents types de résine», Document technique, ZAC Ariel Building – 2 à 24 avenue Henry Barbusse, paris, France, Juin 2002.
- [25]- «Résine polyester pré accélérée», Fiche technique, SOROMAP peinture vernis de BELIGON, 1, Rue Maurice Mallet 17300 Rochefort s/mer, Janvier 2012.
- [26]- «Présentation générale de système de canalisation en PRV», Document technique, Usine de MAGHREB PIPE – M’sila, 2012.
- [27]- «Canalisation en PRV (FLOWTITE), présentation générale des tuyaux destinés à l’assainissement », Document technique, APS France SAS, Juin 2006.
- [28]- «Composites et nouveaux matériaux», Document technique, Sogex EREM, Rue des Forgerons 29, B-6001, MARCINELLE, Février 2009.
- [29]- «Systèmes de canalisations et raccords PRV, pour l’adduction d’eau, l’assainissement et les applications industrielles», Document technique, Flowtite Technology AS, P.O. Box 2059, 3202 Sandefjord, Norway, Octobre 2004.
- [30]- «Systèmes de canalisations en PRV, valeurs de conception à prendre en compte pour calculs de résistance mécanique selon la fascicule70 », Document technique, APS France SAS, 2003.
- [31]- BOUALLEG.S, «Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires», Mémoire de magistère, Département de Génie Civil, Université de M’sila, Septembre 2004.
- [32]- C.VERNET, «Petit mémento de chimie des ciments», La durabilité des bétons, PP100-106, J.BARON et J.P.OLLIVIER, collection de l’association technique de l’industrie des liants hydrauliques, Edition de l’école des ponts et chaussées, 49, Rue de l’université, 75007 Paris, 1992.

- [33]- AMRIOU.A, «Détection par rayon x de la dégradation du béton sous l'effet des agressions chimiques (sulfates)», Mémoire de magistère, Département de Génie Civil, Université de M' sila, Mars 2009.
- [34]- M.BUIL, J.P.OLLIVIER, «Conception des bétons : la structure poreuse», La durabilité des bétons, PP57-99, J.BARON et J.P.OLLIVIER, collection de l'association technique de l'industrie des liants hydrauliques, Edition de l'école des ponts et chaussées, 49, Rue de l'université, 75007 Paris, 1992.
- [35]- R.DUVAL, H.HORNAIN, «La durabilité du béton vis-à-vis des eaux agressives», La durabilité des bétons, PP351-391, J.BARON et J.P.OLLIVIER, collection de l'association technique de l'industrie des liants hydrauliques, Edition de l'école des ponts et chaussées, 49, Rue de l'université, 75007 Paris, 1992.
- [36]- SEBSADJIS, « Les dégradations dans les ouvrages en béton armé : causes et prévention», Colloque CREDIMAT, Département de Génie Civil, Université des sciences et de la technologie, Mohammed BOUDIAF, Oran, Décembre 2005.
- [37]- HAOUARA.S, GUETTALA.A, « Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton armée dans la région de Biskra », Courrier du savoir – N°06, PP.109 -116, Département de génie civil, Université de Biskra, Juin 2005.
- [38]- Céline. C, «Carbonatation des bétons», Rapport de stage, département de mécanique, école polytechnique, université de paris, France, Juillet 2007.
- [39]- R.DUVAL, «La durabilité des armatures et du béton d'enrobage», La durabilité des bétons, PP175-225, J.BARON et J.P.OLLIVIER, collection de l'association technique de l'industrie des liants hydrauliques, Edition de l'école des ponts et chaussées, 49, Rue de l'université. 75007 Paris, 1992.
- [40]- BEN BASSAT. M, NIXON. P. J, HARDCAQTLE. J, « the effect of differences in the composition of Portland cement on the properties of hardened concrete», Magazine of Concrete Research, Volume 42, N° 151, PP 59 – 66, 01 June 1990.
- [41]- LASSOUED.R, OUCHENANE.K, OUCHENANE.M, « Influence de l'enrobage de béton sur la corrosion des armatures et effet de la corrosion sur l'adhérence.», Colloque national, pathologie des constructions : du diagnostic à la réparation, Département de Génie Civil, Université de MENTOURI- Constantine, Novembre 2008.

- [42]- «Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion», Documents scientifiques et techniques, Groupe de travail AFGC / CEFACOR, Novembre 2003.
- [43]- BONNET.S et KHELIDJ.A, «La durée de vie des ouvrages en béton armé situés sur la façade atlantique», Documents techniques, Institut de recherche en génie civil et mécanique, Université de Nantes France, Mai 2012.
- [44]- BOERAËVE.P, « Choisir un béton durable » Cours de béton armée, professeur et responsable de l'unité de construction, Institut gramme, Belgique, Janvier 2009.
- [45]- MESSAOUDENE.I, JAUBERTH.I.R, MOLEZ.L, RANGEARD.D, NACER.I.A, « Effet des fillers de laitier et marbre sur la durabilité des ciments portland dans des environnements de sulfate», Rencontres Association Universitaire Génie Civil (AUGC)- International Building Performance Simulation Association (IBPSA), Chambéry, France, Juin 2012.
- [46]- PETROV. N, «Effets combinés de différents facteurs sur l'expansion des bétons causée par la formation différée de l'ettringite», Mémoire de doctorat, PP147-151, Département de Génie Civil, Université de Sherbrooke (Québec), Canada, Avril 2003.
- [47]- BRUNET. L, «Les gaz dangereux dans les exploitations agricoles», Fiche technique, Ingénieur en environnement rural, Centre d'information agricole, Bureau régional du Nord de l'Ontario au Canada, Novembre 2006.
- [48]- « Le sulfure d'hydrogène », Document technique, American Society of Agricultural Engineering Standards, 2003.
- [49]- «Détection portable, détecteurs multi gaz pour mesure continue », Fiche technique, société de Dräger Safety France (SAS), route de la Fédération, 67025 Strasbourg, France, 2012.
- [50]- « MOKAOUEM, ciment pour béton en milieu agressifs », Fiche technique, de l'Usine de LAFARGE en Algérie, 2012.
- [51]- Norme française P 18-553, «Granulats, Préparation d'un échantillon pour essai», Septembre 1990, Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris 1990.

[52]- Norme française P 18-554, «Granulats, mesure des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux », décembre 1990, Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), paris 1990.

[53]- Norme française P 18-555, «Granulats, mesure des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables », décembre 1990, Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), paris 1990.

[54]- Norme française P 18-560, «Granulats, Analyse granulométrique par tamisage», Septembre 1990, Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), paris 1990.

[55]- Norme française XP P 18-540, «Granulats, Définitions, conformité, spécifications», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), paris Octobre 1997.

[56]- GABRYSIK. F, « Matériaux de construction, Chapitre II : Matériaux, Les granulats », Editions Eyrolles, Paris, Octobre 1978.

[57]- Norme française P 18-598, «Granulats, Équivalent de sable», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), paris, Octobre 1991.

[58]- Norme française P 18-591, « Granulats, détermination de la propreté superficielle», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Septembre 1990.

[59]- Norme française P 18-576, «Granulats, mesure du coefficient de friabilité de sable», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Décembre 1990.

[60]- Norme française P 18-573, «Granulats, essai los Angeles», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Décembre 1990.

[61]- Norme française P 15-461, «Essai chimique», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Mai 1964.

[62]- Norme BS 1377/V1975, «Sol, essai de détermination des sulfates», Décembre 1975.

[63]- Norme BS BOWLY/V1979, «Sol, essai de détermination des chlorures», 1979.

[64]- Norme française XP P 18-303, «Eau de gâchage pour béton», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Août 1999.

[65]- Norme française P 18-451, «Béton, essai d'affaissement», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Décembre 1981.

[66]- Norme européenne NF EN 12390-1, «Essai pour béton durci, Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Octobre 2001.

[67]- Norme française P 18-427, «Béton, détermination des variations dimensionnelles entre deux faces opposées d'éprouvettes de béton durci», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Décembre 1996.

[68]- Norme française P18 – 404, «Béton, essai d'étude, de convenance et de contrôle, confection et conservation des éprouvettes », Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Décembre 1981.

[69]- Norme américaine ASTM D 2412 - 02, «Standard test methods for determination of external loading characteristics of plastic pipe by parallel-plate loading », Editée par l'ASTM (American Society for Testing and Materials), United States American (USA), April 2002.

[70]- Norme américaine ASTM D 790 - 03, «Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials », Editée par l'ASTM (American Society for Testing and Materials), United States American (USA), Mars 2003.

[71]- Norme européenne EN ISO 527-4, «Determination of tensile properties of plastics», éditée et diffusée par DIN (Deutsches Institut für Normung), Berlin, Juillet 1997.

[72]- Norme européenne NF EN 12390-3, «Essai pour béton durci, Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Février 2003.

[73]- PHOUMMAVONG.V, «Matériaux de construction», Vice-doyen et professeur à la faculté d'ingénierie, Cours en génie civil, Agence universitaire de la francophonie, Université Nationale du Laos, Lausanne, Octobre 2009.

[74]- Norme française P 18-418, «Béton, auscultation sonique, mesure du temps de propagation d'ondes soniques dans le béton», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Décembre 1989.

[75]- Norme française P 18-417, «Béton, mesure de la dureté de surface par rebondissement à l'aide d'un scléromètre», Editée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), Paris, Décembre 1989.

[76]- GORISSE.F, «Essais et contrôles des bétons», PP 102-103, Editions Eyrolles, Paris, 1978.

[77]- Algérienne des eaux (ADE), « Analyses des paramètres minéralogiques globales des eaux usées de la station d'épuration (STEP) de Ouargla », Unité de Ghardaïa, 2013.

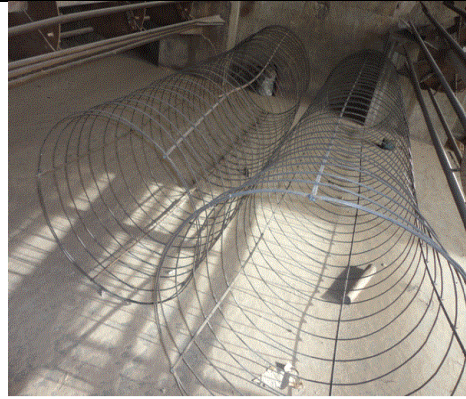
[78]- Norme américaine ASTM D 638 - 03, «Standard test methods for tensile properties of plastics», Editée par l'ASTM (American Society for Testing and Materials), United States American (USA), Décembre 2003.

Annexe

- Fabrication des conduites en CAO et CAP



A : Machine d'enroulement des armatures de Ø 6



B : Préparation des spires continues



C : Création des soudures aux câbles de précontraintes



D : Placer le nez par l'appareil de pitonnais



E : Préparation des moules des conduites



F : Moules de diamètre 800mm



G : Pistolet de vérin pour le tirage des câbles



H : Emplacement du mouchons au câbles



I : Bétonnière de préparation des gâchés du béton



J : Châssis de vibration du moule remplis en béton



K : Conduites CAO après la fabrication



L : Conduites CAP après la fabrication

Photo 01: Etapes de fabrication des conduites CAO et CAP à l'usine de TRANS-CANAL/EST, unité de Ouargla.

• **Fabrication des conduites en PRV**



A : les regards



B : les éléments de raccordement



C : les citernes

Photo 02: Eléments fabriqués en PRV à l'usine de MAGHREB PIPE.



A : Fabrication par l'enroulement filamenteux continue.



B : Fabrication par l'enroulement filamenteux discontinu.

Photo 03: Méthode de fabrication des conduites en PRV par l'enroulement machine sur mandrin à l'usine de MAGHREB PIPE.

• **Dégradation des conduites à Ouargla**

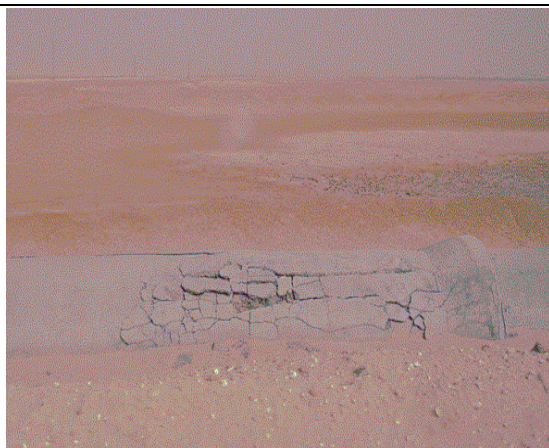


A : Destruction du béton et la corrosion des aciers



B : Eclatement d'enrobage et la corrosion des aciers

Photo 04 : Corrosion des armatures du béton de réseau d'assainissement de N'goussa.



A : Attaque par les sulfates externe du sol



B : Attaque par les sulfates des eaux usées et le gaz H₂S

Photo 05: Attaque des conduites en béton de réseau d'assainissement de N'goussa par les sulfates.

Annexe

- Essai d'identification des Matériaux de construction utilisés

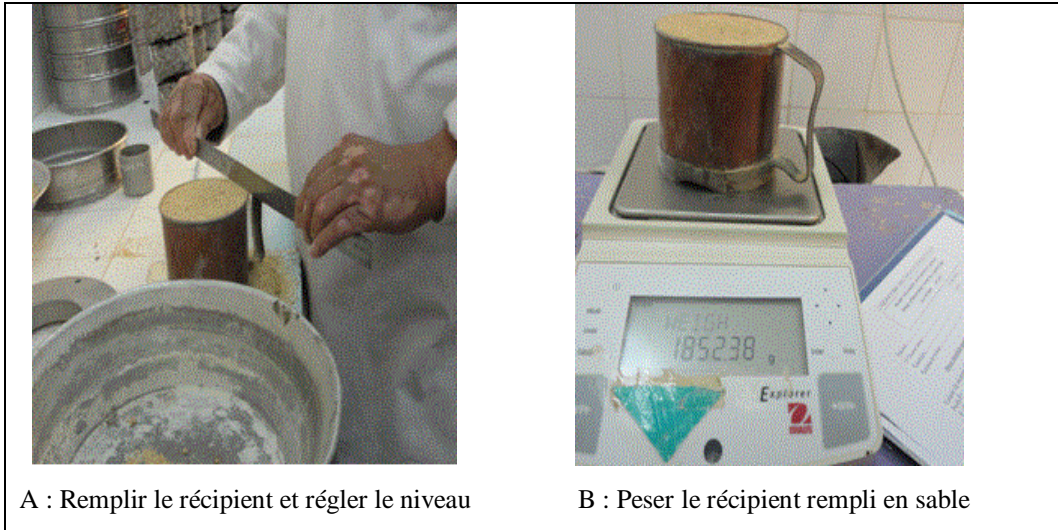


Photo 06 : Mesure de la masse volumique apparente de sable au labo LTPS.

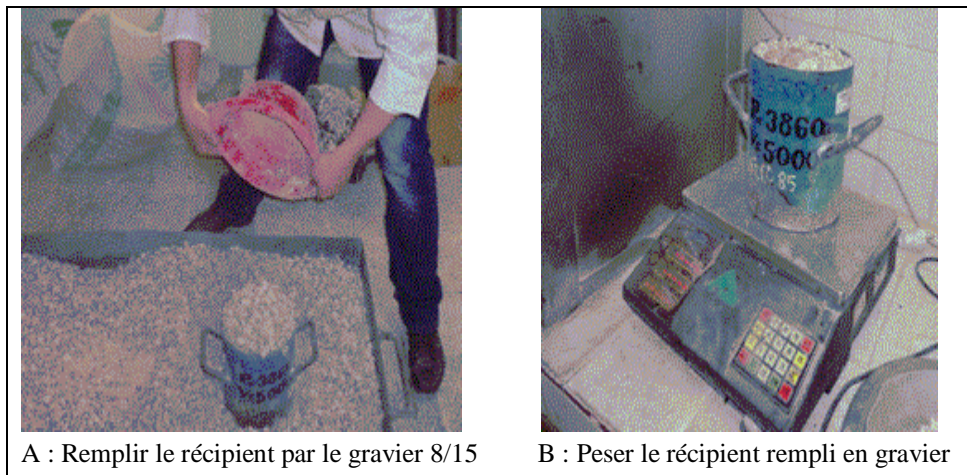


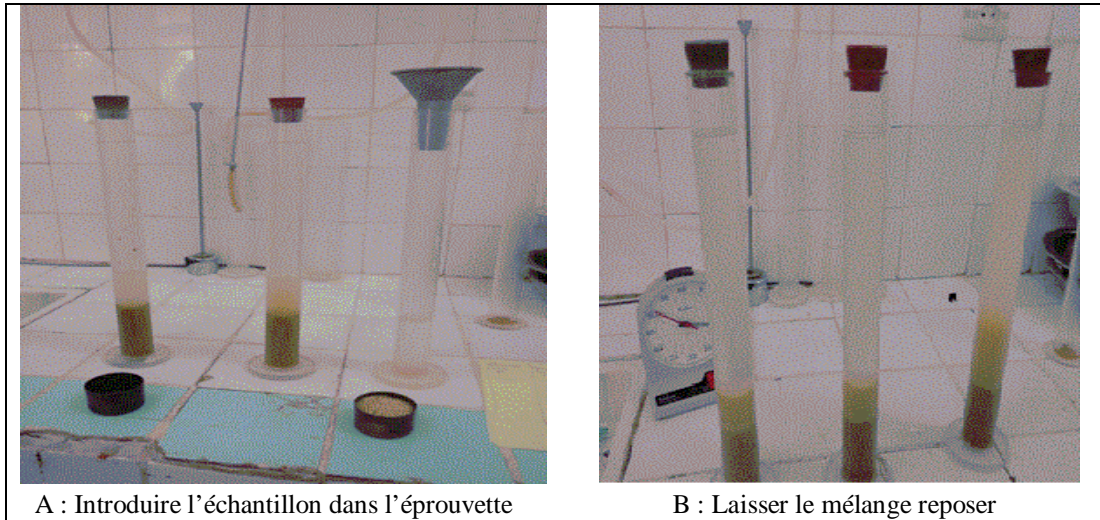
Photo 07 : Mesure de la masse volumique apparente du gravier 8/15 au labo LTPS.



Photo 08 : Mesure de la masse volumique absolue du sable au labo LTPS.



Photo 09 : Séries des tamis pour essai granulométrique.



A : Introduire l'échantillon dans l'éprouvette

B : Laisser le mélange reposer

Photo 10 : Essai d'équivalent de sable au labo LTPS.



Photo 11 : Essai de friabilité de sable par la machine de MICRO-DEVAL.



Photo 12: Essai de Los Angeles de gravier 8/15 au labo LTPS.

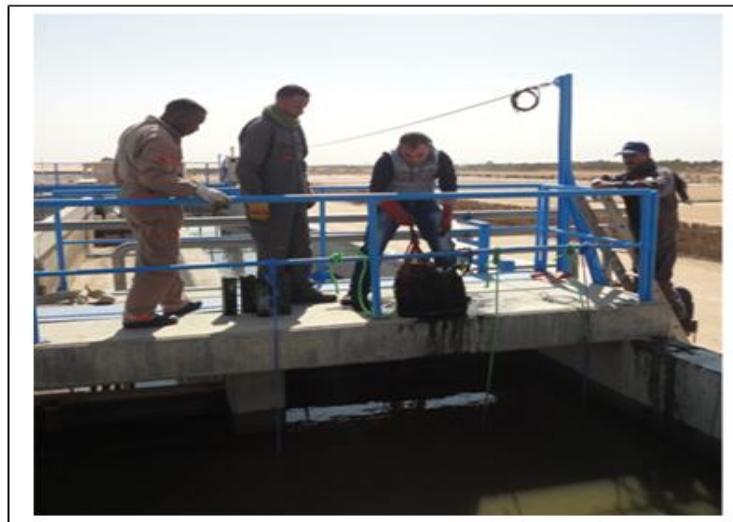
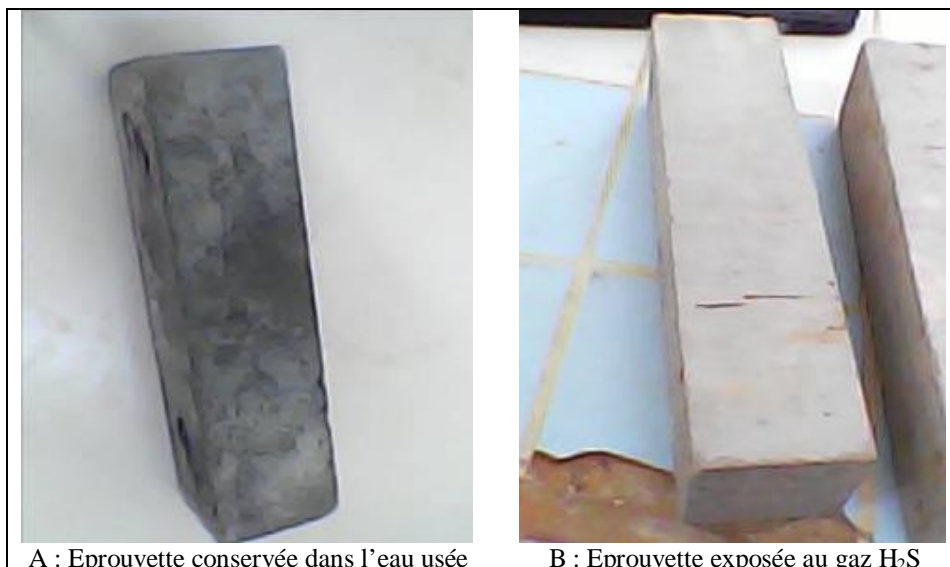


Photo 13: Conservation des éprouvettes en béton à la STEP de Ouargla



A : Epreuve conservée dans l'eau usée

B : Epreuve exposée au gaz H₂S

Photo 14: Epreuves conservées dans les différents milieux.

Annexe



Photo 15: Coupe des échantillons en haut et en bas pour l'essai de traction et de flexion en trois points



Photo 16: Echantillon après la rupture par l'essai de traction axiale
