

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université KASDI Merbah de Ouargla

—ooOoo—

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

—ooOoo—

Mémoire

Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De

**MAGISTER**

Filière: Génie Civil  
Option: Géo matériaux

Par SALHI Imed

Thème:

**DIAGNOSTIC DE LA DEGRADATION  
DE LA GALERIE D'EVACUATION DE TOUGGOURT**

Soutenu Publiquement Le: 25 / 06 / 2014

Devant Le Jury :

BEBBA A. Abdelhafid	M C A	Université de Ouargla	Président
NEZLI Imed eddine	M C A	Université de Ouargla	Examineur
TATI Abdelouahab	M C A	Université de Biskra	Examineur
KRIKER Abdelouahed	Professeur	Université de Ouargla	Encadreur
ABIMOULOUD Youcef	M A A	Université de Ouargla	Co-encadreur

Année Universitaire : 2013 /2014

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Remerciements

الحمد لله و الصلاة و السلام على رسول الله

*Au terme de ce travail, je remercie le BON DIEU tout puissant qui m'a donné la force et la volonté d'achever cette réalisation et nous lui rendons grâce.*

*Tout d'abord, Je tiens à remercier chaleureusement mon encadreur le doyen de notre faculté et le Professeur **KRIKER Abdelouahed** et Monsieur **ABIMILOUD Youcef** le co-encadreur de ce travail. Je tiens à leurs exprimer ma reconnaissance pour leurs conseils et le soutien qu'ils m'ont accordés tout au long de la préparation et de la rédaction de ma mémoire.*

*Je voudrais exprimer ma gratitude envers tous les membres de mon jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner ce travail: Monsieur Dr **BEBBA A. Abdelhafid** maître de conférences à l'université **Kasdi Merbah** d'Ouargla, que je remercie d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de ce mémoire.*

*Monsieur **NEZLI Imed eddine**, et Monsieur **TATI Abdelouahab** respectivement maître de conférences à L'université de Ouargla, maître de conférences à L'université de Biskra, d'avoir accepté de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail.*

*Je remercie également Monsieur **SETTOU Noureddine** Professeur à l'université **Kasdi Merbah** d'Ouargla pour son aide précieuse, et ses encouragements.*

*Mes remerciements s'adressent ensuite à tous les responsables de la subdivision de l'hydraulique et les services de l'ONRA de Touggourt, et spécialement Mm **MIMOUNI A** et Mr **LAGLAG Toufic**.*

*Je tiens à remercier aussi l'ensemble des membres du Laboratoire **ERENZA** Université d'Ouargla, **LTP Sud Ouargla**, et laboratoire étude et contrôle **LEC**, pour leur soutien qu'ils m'ont apporté.*

*Mes remerciements s'adressent ensuite à les frères **BENAOUNE Elhachemi**, **Djamel** et **Mohamed** et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## ملخص

ت تعاني شبكات الصرف الصحي بمدينة تقرت من ظاهرة الخسوفات المتكررة مباشرة بعد مدة قصيرة من انجازها نظرا لتدهور هاته الأخيرة الشيء الذي أثر سلبا على المنشآت التحتية. ونتيجة لهذه الظاهرة مع هشاشة الأرضية المشبعة بالمياه الصاعدة أصبحت الشبكة لا تؤدي الدور المنوط بها على أكمل وجه. وعليه جاء انجاز رواق المعاينة من الخرسانة المسلحة للصرف الصحي كبديل لحل هذا الإشكال. إلا أن مدى ديمومة هذا الأخير تبقى غير معروفة، علما أنه أنجز سنة 2003.

لمعرفة مدى نجاعة هذا الحل و ديمومته اخترنا أن نشخص حالة رواق المعاينة لصرف المياه المستعملة لمدينة تقرت، حيث اتبعنا في دراستنا الخطوات التالية :

1- كشف نظري بغية الإلمام و الوقوف على أسباب و آليات و حالات التدهور من خلال: الوصف، الحصر و التحديد لكل حالة.

2- قياسات ميدانية و اقتطاع عدة عينات من المنشأ لإجراء التجارب المخبرية.

3- تحاليل لنتائج القياسات و التجارب.

النتائج المحصل عليها أظهرت أن حالة الرواق مقبولة، و خاصة القسم السفلي المغمور ( الناقل للمياه المستعملة)، في حين سجلنا عيوباً كثيرة مست القسم العلوي منه و المعرض للغازات و مختلف التأثيرات حيث تبين أن خرسانه أقل مقاومة وأنه ذو عيوب أكثر، ومن أجل تدارك هاه الوضعية أردفنا على هاته الدراسة بعض المقترحات التي من شأنها أن تزيد في ديمومة المنشآت المماثلة.

**الكلمات المفتاحية :** ديمومة ، تدهور ، تشخيص ، التأكد ، الفوحمة ، خرسانة مسلحة ، رواق المعاينة ، المياه المستعملة.

## Résumé:

Les réseaux d'assainissement de la ville de Touggourt souffrent du phénomène des affaissements répétés juste après une durée assez courte de leur réalisation du fait de la dégradation de ceux-ci, chose qui a influé négativement sur l'infrastructure. Suite à ce phénomène et la vulnérabilité de l'assise saturée d'eau de la remontée, le réseau n'arrive pas à remplir la mission pour laquelle il a été conçu. De ce fait, vient la réalisation de la galerie en béton armé pour l'évacuation des eaux usées comme solution à ce problème. Néanmoins, la durabilité de cette dernière reste non connue. Nous rappelons que cette galerie est réalisée en 2003.

Pour tester la durabilité de cette galerie, nous avons choisi de diagnostiquer l'état de celle-ci. Nous avons suivi dans notre étude les étapes suivantes :

1- Constat visuel ayant pour objet de relever les causes, les mécanismes et les états de dégradations, à partir de la description, la limitation et la détermination de chaque cas.

2- Des mesures in-situ et prélèvements des échantillons de la galerie pour effectuer des essais au laboratoire.

3- Analyse des résultats de mesures et d'essais.

Les résultats obtenus de ce diagnostic ont montré que l'état actuel de la galerie est acceptable notamment la partie immergée d'eau usée, néanmoins, pour la partie supérieure exposée aux gaz  $H_2S$ , plusieurs anomalies ont été enregistrées et où il s'est avéré que le béton est d'une résistance inférieure. Afin de remédier à cet état nous avons appuyé cette étude par des propositions qui peuvent contribuer à la durabilité des ouvrages similaires.

**Mots clés :** Durabilité, dégradation, diagnostic, oxydation, carbonatation, béton armé, galerie visitable, eaux usées.

## Abstract

The networks of Touggourt town suffer of repeating slump phenomena just after a few times from realization because of erosion, which influent negatively on the structure. This phenomena and vulnerability of saturated under layer by water rising, in which the network can't accomplish the mission that it is designs for. In fact; the realization of steel concrete canal has been as solution to this problem. But the durability of this project is unknown.

In order to know the feasibility and the durability of this kind of solution, we have chosen diagnose of state used water evacuation gallery of Touggourt, were we flow in our study theses tapes below:

1- Visual state as a subject of assessing causes of the mechanisms and degradations sate, since description, limitation and determination of etch item .

2- In-situ measurement and casting specimens from the gallery have been a subject of laboratory experiments.

3- Measurements and experiments results analyses.

The obtained results of diagnosis shown that current gallery state is acceptable, mainly the submerged parts, but the other parts which are not submerged and are exposed to  $H_2S$  gas has shown a several pathologies; and were the concrete present a feeblest resistant. In order to avoid this problem we suggest a number of proposals to contribute in durability of similar buildings.

**Keywords:** Durability, deterioration, diagnosis, oxidation, carbonation, reinforced concrete, gallery preview, waste water.

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	i
RESUME.....	ii
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES PHOTOS .....	viii
Introduction générale .....	1

## **Chapitre I : CADRE GENERALE DE LA REGION D'ETUDE**

I.1. Situation géographique.....	3
I.2. Le Climat .....	4
I.2.1 Les températures .....	4
I.2.2 Les vents .....	4
I.2.3 Pluviométrie .....	5
I.2.4 Evaporation.....	6
I.2.5 Insolation .....	6
I.3. Géologie de la région .....	7
I.3.1. Quaternaire.....	7
I.3.2. Tertiaire :.....	7
I.3.3. Secondaire .....	8
I.4. Hydrogéologie de la région.....	9
I.4.1. Présentation des nappes.....	9
I.4.2. Nappe du Continental Intercalaire (CI) .....	9
I.4.3. Nappe du Complexe Terminal (CT) .....	10
I.4.4. Nappe phréatique .....	11
I.6. Conclusion :.....	11

## **Chapitre II: DURABILITE DU BETON DESTINE AUX OUVRAGES D'EVACUATION**

### **Partie 1 : Notions sur la durabilité du béton**

1.1 Généralités.....	12
1.2. Désordres chimiques .....	13
1.2.1. La Carbonatation.....	13
1.2.2. Attaques aux sulfates .....	18
1.2.3. Attaque par les chlorures .....	22
1.3. Désordres physico-Chimique .....	23
1.3.1. Corrosion des Armatures.....	23
1.3.2. Attaque par Le sulfure d'hydrogène H <sub>2</sub> S .....	28
1.4. Conclusion .....	31

### **Partie 2 : Généralités sur les galeries et les réseaux d'évacuation**

2.1. Introduction.....	33
2.2. Définition d'un réseau d'assainissement.....	33
2.3. Les différents types de réseaux d'égout.....	34
2.4. Nature des eaux à évacuer .....	34
2.5. Construction des ouvrages d'évacuation .....	36
2.6. Curage et entretien des réseaux d'évacuation.....	39

### **Partie 3: Procédés du diagnostic**

3.1. Introduction .....	41
3.2. Critères de choix des investigations .....	41
3.2.1 Les besoins du gestionnaire.....	41
3.2.2 La fiabilité du dossier d'ouvrage.....	42
3.2.3 Le type d'ouvrage.....	42
3.2.4 L'environnement de l'ouvrage.....	42
3.2.5 La nature et l'ampleur des dégradations.....	42
3.3. Type d'investigations : .....	42
3.3.1. Investigations non destructives.....	42
3.3.2. Investigations destructives .....	46
3.4. Analyse en laboratoire .....	47
3.5. Conclusion .....	48

## **Chapitre III : DIAGNOSTIC DE LA GALERIE D'ÉVAUATION**

1. Objectif.....	49
2. Historique de la galerie d'évacuation des eaux usées .....	49
3. Investigation sur site .....	53
3.1. Relevé général des désordres .....	53
3.2. Essai de dureté de surface au scléromètre.....	60
4. Essais Pratiques Envisages .....	62
4.1. Prélèvements de carottes in-situ.....	62
4.2. Caractérisation du béton .....	65
4.2.1. Mesure de la profondeur de carbonatation .....	65
4.2.2. Mesure de la résistance à la compression .....	66
4.2.3. Mesure de la traction par fendage .....	69
4.2.4. Mesure de la masse volumique.....	71
4.2.5. Mesure d'auscultation sonique .....	72
4.2.6. Analyse chimique .....	75
4.2.7. Résultats des analyses chimiques .....	80
4.2.8. Conclusion .....	80

## **Chapitre IV : REHABILITATION A L'ISSU DU DIAGNOSTIC**

1. Introduction .....	83
2. Résumé des résultats du diagnostic.....	83
3. Etapes de la réhabilitation.....	84
3.1.Réparation des épaufrures.....	85
3.2.Réparation des fissures.....	90
3.3.Dégradations par effet mécanique.....	91
3.4.Prévenir la corrosion des aciers.....	92
3.5. Protection contre l'infiltration .....	93
3.6. Limitation de l'effet du gaz H <sub>2</sub> S.....	94
3.7.Intervention illicite des citoyens sur la galerie.....	96
Conclusion Générale.....	97
Bibliographie.....	100
Annexe.....	106

## *Liste des figures*

<b>N° de Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure (I, 1)	Localisation de la zone d'étude.	03
Figure (I, 2)	Répartition des températures moyennes mensuelles en (°C).	04
Figure (I, 3)	Répartition des vitesses moyennes mensuelles du vent.	05
Figure (I, 4)	Répartition des précipitations moyennes mensuelles.	05
Figure (I, 5)	Répartition des évaporations moyennes mensuelles.	06
Figure (I, 6)	Répartition de la durée d'insolations moyennes mensuelles en heure	07
Figure (I, 7)	Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT).	09
Figure (I, 8)	Coupe hydrogéologique du complexe T. de la région d'O.Righ sud	11
Figure (II, 1)	Mécanisme de carbonatation de $\text{Ca(OH)}_2$ .	14
Figure (II, 2)	Evolution de la carbonatation du béton en fonction du dosage $e$ (°C)	16
Figure (II, 3)	Incidence de l'humidité $r$ . de l'air sur la vitesse de carbonatation.	16
Figure (II, 4)	Influence du dosage en ciment et de la teneur en $\text{C}_3\text{A}$ sur la vitesse de dégradation du béton.	20
Figure (II, 5)	Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier. a: Ciment type II 6,4% de $\text{C}_3\text{A}$ , b: Ciment type V 3,7% de $\text{C}_3\text{A}$	21
Figure (II, 6)	Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier	21
Figure (II, 7)	Evolution de la concentration en chlorures pour différents rapports E/C (a) et milieux environnants (b).	23
Figure (II, 8)	Processus de la corrosion de l'acier dans le béton.	24
Figure (II, 9)	Étapes de l'évolution de la corrosion des armatures.	25
Figure (II,10)	Modèle de PAGE d'attaque de l'acier par les ions chlore.	27
Figure (II,11)	Mécanisme d'attaque biochimique.	30
Figure (II,12)	Égouts et collecteurs à banquettes	37
Figure (II,13)	Regard de visite de chute sur réseau d'eau usée.	39
Figure (II,14)	Exemple de fenêtre de détection des armatures dans une dalle	45
Figure (II,15)	Exemple d'une ligne de détection des cadres dans une poutre en BA	45
Figure (III, 1)	Schéma en 3D et la section transversale de la galerie	51
Figure (III, 2)	Coupe transversale de la galerie	51
Figure (III, 3)	Résistance de compression ( $\sigma$ ) en fonction de l'indice sclérométrique moyen ( $I_{smoy}$ ) pour un angle d'application de $-90^\circ$ .	61
Figure (III, 4)	Histogramme de la résistance la compression de la galerie.	61
Figure (III, 5)	Schéma différentes positions des carottages dans le couloir (galerie)	63
Figure (III, 6)	Localisation des carottages sur l'ensemble de la galerie.	64
Figure (III, 7)	Histogramme des résultats de la résistance à la compression.	68
Figure (III, 8)	Histogramme des résultats de la résistance de traction par fendage	70
Figure (III, 9)	Histogramme des résultats de la masse volumique	72
Figure(III,10)	Histogramme des résultats de la vitesse du son des carottes	74
Figure (IV, 1)	Mode de projection par voie sèche et par voie mouillée	89

## *Liste des Tableaux*

<b>N° du Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau (I, 1)	Type des réservoirs hydrogéologiques du Sahara Algérienne	8
Tableau (II, 1)	Classification du béton en fonction des vitesses de propagation des ultrasons.	43
Tableau (III, 1)	Résultats des analyses chimiques du ciment CRS	51
Tableau (III, 2)	Résultats des analyses de sable	52
Tableau (III, 3)	Résultats des analyses du gravier	52
Tableau (III, 4)	Caractéristiques des aciers utilisés au ferrailage de la galerie	52
Tableau (III, 5)	Profondeurs de carbonatation des bétons	66
Tableau (III, 6)	Résultats de mesures de la masse volumique	71
Tableau (III, 7)	Résultats de mesures de la vitesse du son	74
Tableau (III, 8)	Résultats d'analyse des paramètres de minéralisation globale.	75
Tableau (III, 9)	Degré d'agressivité des bétons d'infrastructure par les agents chimiques	76
Tableau (III, 10)	Résultats d'analyse chimique	80

## *Liste des Photos*

<b>N° de la Photo</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Photo (II,1)	Détermination de la profondeur de carbonatation.	15
Photo (II, 2)	Galerie du musée des égouts.	33
Photo (II, 3)	Scléromètre.	44
Photo (II, 4)	Fissurmètre.	46
Photo (III, 1)	Position géographique de la galerie visitable.	50
Photo (III, 2)	Détail d'épaufrure et d'éclatement de béton.	53
Photo (III, 3)	Illustration des éclatements sur mur.	54
Photo (III, 4)	Détail d'une forte corrosion des aciers corrodé et du tampon.	54
Photo (III, 5)	Détail d'une forte réduction de section des aciers corrodé	55
Photo (III, 6)	Illustrations de fissuration horizontale -voile -	55
Photo (III, 7)	Illustrations de fissuration verticale - l'entrée du couloir-	56
Photo (III, 8)	Infiltration des eaux de la nappe et aspect de corrosion	56
Photo (III, 9)	Illustrations d'infiltrations d'eau de la nappe ph. à la galerie.	57
Photo (III, 10)	Détérioration apparente de la partie supérieure de la dalle de la galerie au niveau de la traversée de route par apparition de fissures.	58
Photo (III, 11)	Fermeture de tous les passages des entrées de visite.	59
Photo (III, 12)	Prélèvement des échantillons de la galerie.	62
Photo (III, 13)	Front de carbonatation révélé par le test à la phénolphtaléine.	65
Photo (III, 14)	Presse CONTROLS pour l'essai de compression.	67
Photo (III, 15)	Presse CONTROLS utilisé à l'essai de traction par fendage.	69
Photo (III, 16)	Appareil de mesure d'auscultation sonore	73
Photo (III, 15)	Etapas et outils des essais chimiques.	79
Photo (IV, 1)	Détail du recouvrement et Protection des armatures.	87
Photo (IV, 2)	Détail d'une réparation et remplacement des armatures.	91

## INTRODUCTION GENERALE

La durabilité du béton s'explique en grande partie, par la difficulté que les agents agressifs aient à pénétrer dans les réseaux poreux des bétons [1].

La durabilité des ouvrages en béton armé dépend de leur comportement face aux conditions climatiques et environnementales qui existent dans les milieux où ils sont construits. Ces ouvrages sont souvent exposés à de nombreuses agressions physico-chimiques auxquelles ils doivent résister afin de remplir de façon satisfaisante pendant leur période d'utilisation, toutes les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus. [2]

Les milieux les plus agressifs sont soit des acides, soit des sels (chlorures, nitrates, mais surtout sulfates). On peut alors observer des dégradations des ouvrages en béton par dissolution et érosion en cas d'attaques acides, par fissuration et éclatement dans le cas d'attaques salines, en particulier sulfatique. Ces altérations d'origine chimique peuvent être amorcées ou renforcées par des actions physiques (chocs thermiques, cycles d'humidification-dessiccation,...) ou mécaniques. [3]

Et comme nous le savons, la ville de Touggourt, située au sud-est de l'Algérie, souffre depuis longtemps du phénomène de la remontée des eaux de la nappe phréatique, cette remontée est due essentiellement à la surexploitation des eaux des nappes profondes, pour les besoins d'irrigation et d'alimentation en eau potable. Ce phénomène influe négativement sur toute la région, de la façon suivante :

- La fragilité du sol d'assise de quelques ouvrages
- L'apparition des fuites dans les réseaux (d'assainissement et d'eau potable) causé par l'instabilité du sol d'assise (saturé d'eau)
- La dégradation du réseau d'assainissement avec l'apparition de plusieurs affaissements au niveau de la ville de Touggourt où on peut citer à titre d'exemple: les affaissements enregistrés au niveau du réseau secondaire de la cité du 17 octobre à la commune de Touggourt, les affaissements au niveau du collecteur Principal de la cité du 1<sup>er</sup> novembre à la Commune de Touggourt et les affaissements constatés à la cité Boumerdès à la Commune de Nezla.

L'idée de la réalisation de la « GALERIE VISITABLE D'EVACUATION DES EAUX USEES » de Touggourt sur une longueur de 3098 ml comme « collecteur Principal » en 2003, (année de sa mise en service) a réussi dans une large mesure (au moins aux endroits où il est

implanté). Mais l'émergence d'un certain nombre de problèmes et de dégradation au niveau de celui-ci nécessite d'effectuer des travaux de réparations et de réhabilitations pour pouvoir au moins assurer la durée de vie prévue initialement.

Afin de réhabiliter cet ouvrage, il est important d'effectuer un DIAGNOSTIC global. Cette procédure nous permettra d'identifier les différentes pathologies présentes, leur ampleur ainsi que leur cause. Grâce à cela, il est possible encore de proposer une méthode de réparation et de réhabilitation efficace et durable ainsi qu'une protection contre les attaques futures.

Le Diagnostic permet alors avant tout de déterminer l'état de l'ouvrage. Cependant le Diagnostic peut avoir deux finalités. Soit il est mené afin de déterminer exactement quels sont les désordres présents en vue de leur traitement, soit il est effectué afin de connaître l'évolution des désordres dans le temps, que ce soit à court, moyen ou à long terme.

Les ouvrages en béton armé destinés à l'évacuation des eaux usées exposés aux agressions de la région, nécessitent des recherches scientifiques pour déterminer les différentes causes de ces dégradations surtout les altérations d'origine chimique et de proposer les remèdes qui s'imposent.

L'objectif de cette étude est ainsi de faire un diagnostic pour mettre en évidence l'état de durabilité de la galerie de Touggourt après dix ans de service.

A ce propos, ce mémoire est composé de quatre chapitres :

- Au premier chapitre, nous présentons le cadre général de la zone d'étude.
- Au deuxième chapitre, nous présentons quelques notions sur la durabilité du béton destiné aux ouvrages d'évacuation.
- Au troisième chapitre, nous présentons la démarche du diagnostic de la galerie à savoir : les différentes visites de prospection sur le site d'étude, les prélèvements des échantillons (carottages), les techniques expérimentales au laboratoire et les analyses des résultats obtenus.
- Au dernier et quatrième chapitre, nous présentons les techniques de réhabilitation proposées suite aux constats effectués.

Et enfin, nous terminons cette étude par une conclusion générale et quelques recommandations.

## Chapitre I : CADRE GENERAL DE LA REGION D'ETUDE

### I.1.Situation géographique

La ville de Touggourt est la plus grande daïra de la wilaya de Ouargla, située à 160 km au nord-est de Ouargla, et à 225 km au sud de Biskra. Elle compte parmi les oasis du nord du Sahara algérien. Touggourt est la plus grande ville aussi de la région d'Oued-Righ, son territoire s'étend sur les consistances territoriales suivantes : Tebesbest, Nezla, Zaouia Al-Abidia et Touggourt. La ville est un centre d'industrie de commerce et de tourisme important de 164 031 habitants en 2013. Elle est limitée par :

- Au Nord : daïra de MEGARINE.
- Au Sud : daïra de TEMACINE.
- A l'Est : daïra de TAIBET.
- A l'Ouest : daïra de MESAAD (W – DJELFA).

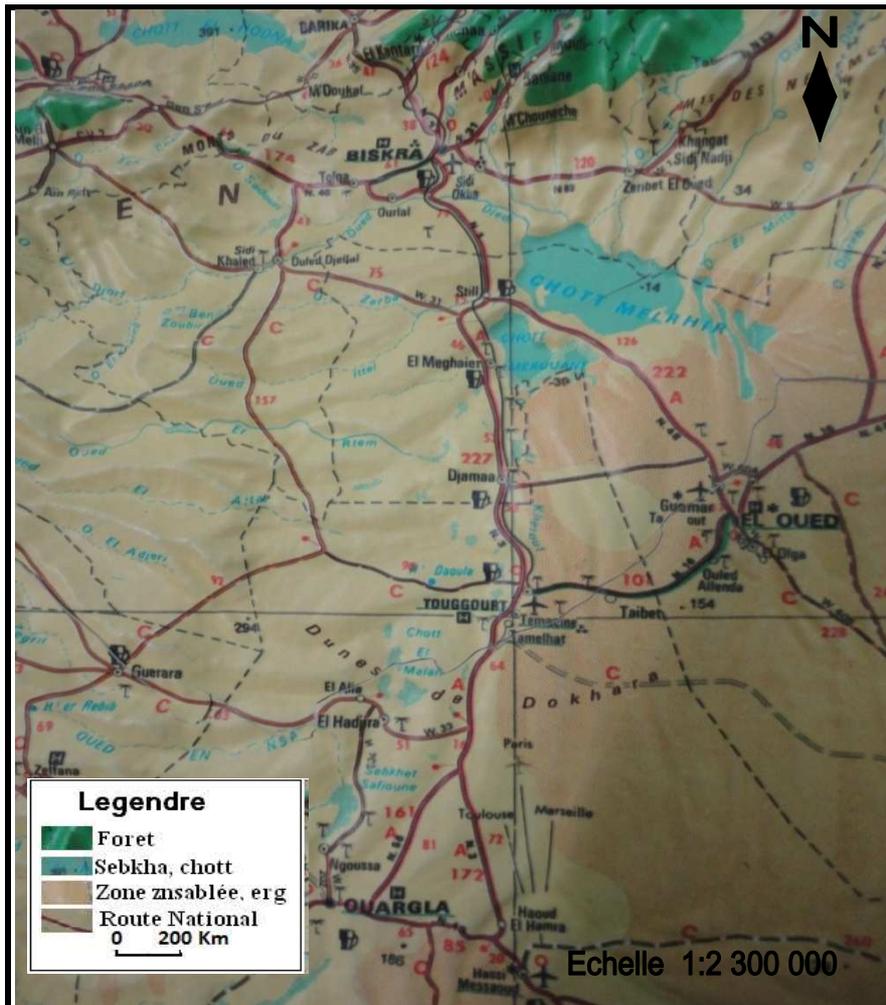


Figure (I, 1): Localisation de la zone d'étude (Carte touristique).

## I.2. Le Climat

Le climat de la ville de TOUGGOURT se caractérise comme toutes les régions Sahariennes par un climat continental aride, froid en hiver et chaud en été. Les données climatiques relevées au niveau de la station météorologique de Touggourt durant la période 2001-2009 font ressortir les caractéristiques suivantes :

**I.2.1 Les températures :** Les températures annuelles moyennes sont respectivement de 11,51°C et 31,04 °C.



Figure (I, 2): Répartition des températures moyennes mensuelles en (°C) [4].

La figure (I, 2) montre que la température est très élevée en été, Le mois de Juillet représente la période la plus chaude de l'année avec une moyenne mensuelle qui atteint 31,04°C. Le mois de Décembre est le mois le plus froid de l'année avec une moyenne qui atteint 11,51°C.

**I.2.2 Les vents :** Pour notre région les vents sont plus forts à la fin d'hiver et au printemps ; les vents de sable arrivent en Mars, Avril et Mai, et le vent sirocco souffle principalement en Juin et parfois en Avril, Mai et Juillet [5].

Selon la figure (I, 3), nous remarquons que la variation saisonnière de la vitesse du vent durant la période d'observation reste quasi constante. D'autre part, la valeur maximale de la vitesse du vent ne dépasse pas 4,12 m/s durant le mois de mai, tandis que la valeur minimale (2,46 m/s) est observée au mois de Novembre.

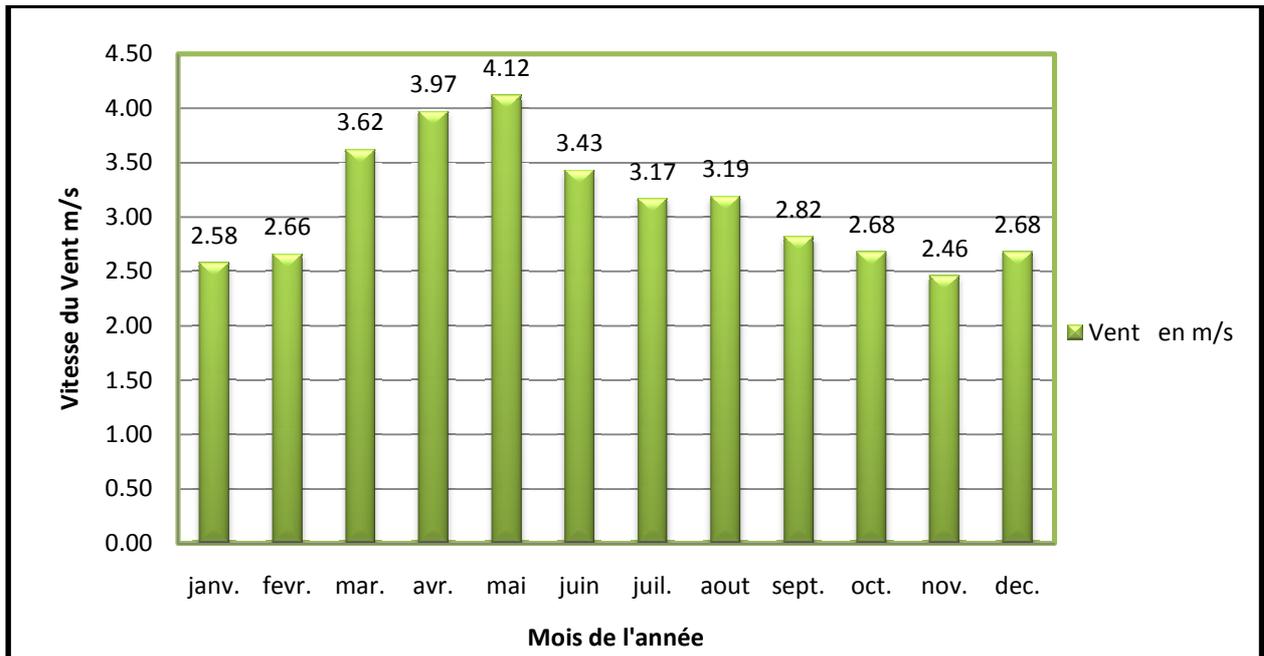


Figure (I, 3): Répartition des vitesses moyennes mensuelles du vent [4].

**I.2.3 Pluviométrie:** Les précipitations sont très faibles et irrégulières les valeurs des pluies moyennes mensuelles enregistrées depuis 2001 jusqu'à 2009 varient de 0,08 à 25,61 mm, elles se produisent essentiellement en hiver et en automne après une période sèche généralement entre mai et septembre.

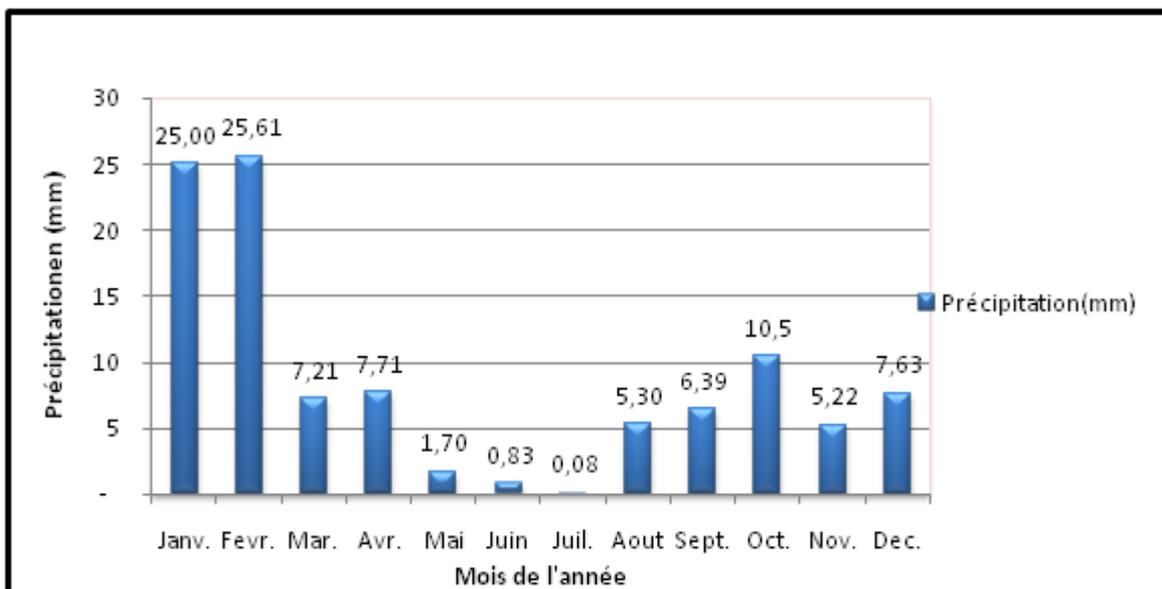


Figure (I, 4): Répartition des précipitations moyennes mensuelles [4].

### I.2.4 Evaporation

Exprime la quantité d'eau perdue par évaporation et transpiration biologique. Cette donnée climatologique, dépend de plusieurs facteurs variant dans le temps et dans l'espace, on distingue:

- Evapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau, généralement exprimée en (mm), qui serait évaporée ou transpirée à partir d'un bassin versant .
- L'évapotranspiration réelle (ETR) est la quantité exacte d'eau évapotranspirée par une couverture végétale réelle.



Figure (I, 5): Répartition des évaporations moyennes mensuelles [4].

L'évaporation est très élevée, elle est en moyenne de 258,6 mm au mois de Juillet, et de 55,13mm au mois de Janvier.

**I.2.5 Insolation :** A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui à un effet desséchant en augmentant la température. Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagées. La durée moyenne d'insolation est d'environ 269 heures, avec un maximum de 361 heures en Juillet et un minimum de 205 heures en Janvier figure (I, 6).



Figure (I, 6): Répartition de la durée d'insolations moyennes mensuelles en heure [4].

### I.3. Géologie de la région

La description stratigraphique des formations géologiques de la zone d'étude seront décrites du plus récent au plus ancien.

#### I.3.1. Quaternaire :

Essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables les séparent de la pliocène supérieure. Cette formation quaternaire renferme une nappe phréatique alimentée principalement par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation et en faible quantité par la précipitation.

#### I.3.2. Tertiaire :

##### I.3.2.1. Mio-Pliocène

- Mio-Pliocène supérieur : de formation sablo gréseuses, renferme la première nappe des sables du Complexe Terminal (CT1).
- Mio-Pliocène inférieure : est la deuxième nappe des sables du Complexe Terminal (CT2).

##### I.3.2.2. Eocène inférieur carbonaté

Constitue la troisième nappe du Complexe Terminal (CT3) ou nappe des calcaires.

**I.3.3. Secondaire :****I.3.3.1. Sénonien**

Constitué de calcaires blanc et une alternance de calcaire, de marne et des couches de gypse.

**I.3.3.2. Turonien**

Représenté par un dépôt marin, calcaire-marneux, l'épaisseur du turonien reste à peu près constante.

**I.3.3.3. Cénomaniens :**

Il est composé essentiellement de dépôts lagunaires marneux où prédominance des couches d'anhydrite et parfois même du sel.

**I.3.3.4. Albien :**

Se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

Tableau (I, 1): Types des réservoirs hydrogéologiques du Sahara Algérien [06]

Ere	Etage		Lithologie	Nature Hydrogéologique
	Quaternaire		Sable	Nappe superficielle (La nappe phréatique)
			Argiles, évaporites	Substratum (imperméable)
Tertiaire	Mio-Pliocène		Sable	1ère nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses	(semi-perméable)
	Eocène	Pontien	Sables graviers et grès	2ème nappe des sables (Complexe terminal).
		Moyen inférieur	Argiles lagunaires	Substratum Nappe des calcaires
Secondaire	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	(Complexe Terminal).
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum
		Albien Barrémien	Sables et grès	Nappe albienne (Continental Intercalaire).

## I.4 Hydrogéologie de la région

### I.4.1. Présentation des nappes :

Les seules ressources hydriques disponibles au Sahara septentrional sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de la région d'étude contiennent deux grandes ensembles de formations aquifères séparées par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses: de la base du crétacé supérieur l'ensemble inférieur appelé le Continental Intercalaire (CI) ou "Albien", et l'ensemble supérieur appelée le Complexe Terminal (CT). Une troisième formation, d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes: la nappe phréatique [7].



Figure (I, 7): Carte des ressources en eau souterraines (CI et CT) [8].

### I.4.2. Nappe du Continental Intercalaire (CI)

Le Continental Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du trias et du sommet de l'Albien. C'est un réservoir considérable dû à l'extension (600 000 Km<sup>2</sup>) et son épaisseur qui peut atteindre les 1000 m au Nord Ouest du Sahara. Le Continental Intercalaire est un réservoir à eau plus au moins douce rempli dans sa majorité pendant les périodes pluvieuses du quaternaire. Ces eaux sont caractérisées par [9]:

- Une température qui dépasse les 50°C sauf les hauts endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol.
- La minéralisation de l'eau oscille entre 1 et 2 g/l de résidu sec.
- L'alimentation se fait par ruissellement à la périphérie du réservoir tout en long et à l'extrémité des oueds qui descendent des montagnes de l'Atlas saharien, de Dahra tunisien, du plateau de Tadmait et Tinhert, et les pluies exceptionnelles.
- L'écoulement des eaux de cette nappe, se fait dans la partie occidentale du Nord vers les Sud et dans la partie orientale de l'Ouest vers l'Est et du sud vers le Nord.

### **I.4.3. Nappe du Complexe Terminal (CT)**

La nappe du Complexe Terminal (CT) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350000 Km<sup>2</sup> [10] avec une profondeur qui varie entre 100 et 500 m, leurs eaux se caractérisent par :

- Une température peu élevée.
- Moins chargées en sel sur les bordures et relativement élevées au centre (plus de 3g/l).
- L'écoulement généralement se fait vers les Chotts.
- Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères appelés nappe des sables et nappe de calcaire.

**I.4.3.1. La nappe de sable (Mio-Pliocène) :** Représentée par un ensemble important de sable et d'argile présents dans tout le bassin oriental. Cette nappe regroupe deux nappes :

**I.4.3.2. La première nappe de sable :** Cette nappe est la moins profonde de 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grés, d'âge Mio-Pliocène. Le faciès sableux varie largement et latéralement. Un niveau d'argiles constitue son substratum et son toit est formé par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive qui était jadis très exploitée, avec un débit faible à moyen, de l'ordre de 20 à 40 l/s, (le débit global d'exploitation proche de 6 m<sup>3</sup>/s). Cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

**I.4.3.3. La deuxième nappe de sable :** Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement des grés, de gravier et de sables avec la présence de quelques lentilles argileuses. L'épaisseur de la couche aquifère est de 20 à 36 m. Cette nappe captive est très exploitée par des forages moyennement profonds (100 et 165 m), avec un débit variant entre 25 et 45 l/s. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes, forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

**I.4.3.4. La nappe de calcaire (sénonien carbonaté) :** Essentiellement carbonaté, elle est formée de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse. Il n'est pas très exploité à Touggourt, donnant un débit de 25 à 40 l/s et parfois présentant un artésianisme à faible débit (0,3 à 0,6l/s). Leur toit est supérieur à 180 m, dont le débit global peut atteindre 2,8 m<sup>3</sup>/s. A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de

cette nappe et au sommet, le toit est sur tout argileux. La porosité moyenne de cette nappe est de 20%.

**I.4.4. Nappe phréatique :** Cette nappe est essentiellement alimentée, par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux résiduaires urbaines. Son substratum est formé d'argile formant en même temps le toit de la première nappe du (CT). Son épaisseur moyenne est de 7 à 60 m. Cette nappe n'est plus exploitée en raison de la forte salinité des eaux.

Le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara est du Sud vers le Nord [11].

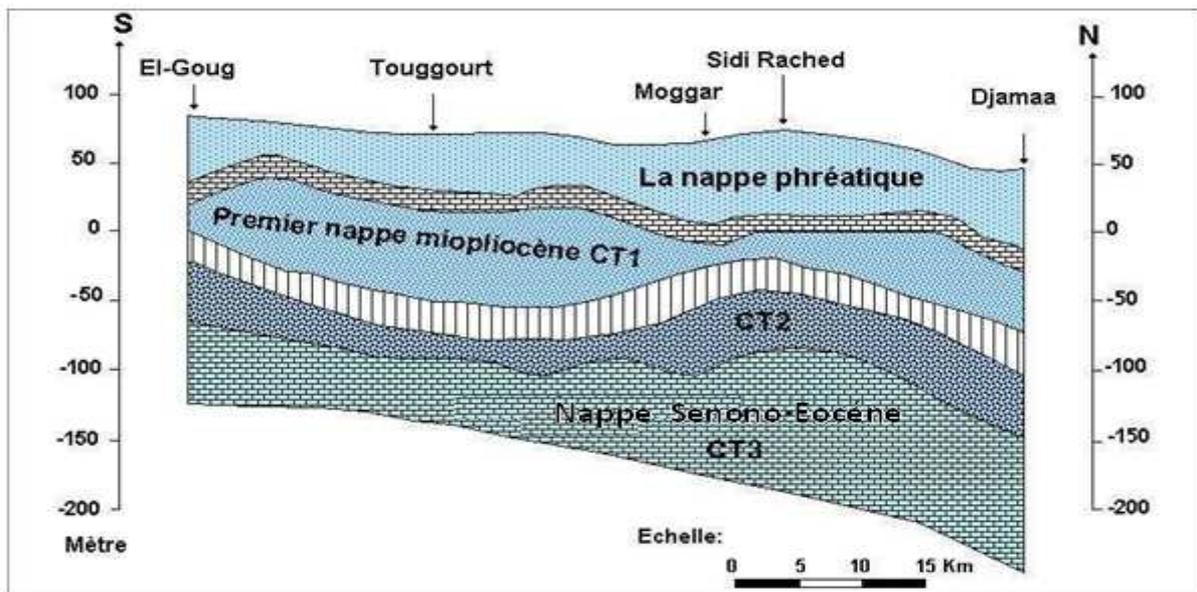


Figure (I, 8): Coupe hydrogéologique du Complexe T. de la région d'Oued-Righ sud [8].

## I.6 Conclusion :

La région d'étude est caractérisée par un climat continental aride, froid en hiver et chaud en été dont les températures annuelles moyennes minimales et maximales sont respectivement de 11,51 °C et 31,04 °C. Les vents dominants ayant la direction Nord-Ouest.

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, les valeurs des pluies moyennes mensuelles varient de 0,08 à 25,61 mm, elles se produisent essentiellement en hiver et en automne après une période généralement sèche.

Pour les ressources en eaux souterraines dans la région d'étude, on rencontre les trois nappes à savoir du bas en haut: La nappe du Continental Intercalaire (CI), la nappe du Complexe Terminal (CT) et la nappe phréatique

## **Chapitre II : DURABILITE DU BETON DESTINE AUX OUVRAGES D'EVACUATION DES EAUX USEES**

### **Partie 1:NOTIONS SUR LA DURABILITE DU BETON**

#### **II.1.1Généralités**

La durabilité d'un ouvrage est caractérisée par sa capacité de conserver ces fonctions d'usage, pour les quelles il a été conçu, et à maintenir son niveau de fiabilité, avec des frais de maintenance et d'entretien les plus réduits que possible.

Des ouvrages ont été réalisés ces dernières années satisfaisant à un cahier des charges exigeant une durée de service de 120 ans où les clauses qui indique la durabilité défini par la perméabilité à l'oxygène, la diffusion des chlorures, la vitesse et profondeur de carbonatation font l'objet d'une surveillance régulière lors de la réalisation et le long de sa mise en service.

Une structure durable suppose aussi le respect de l'enrobage des armatures et des performances mécaniques répondant aux sollicitations qu'elle va subir pendant sa durée de service [12].

La notion de durabilité est le temps durant lequel l'ouvrage rempli ses fonctions, ses exigences. A ce propos, tous les ouvrages sont soumis à un processus de détérioration comprenant deux phases : une phase d'initiation et une phase de propagation. Les altérations du béton observées en présence d'agents agressifs, qu'ils soient minéraux, organiques ou biologiques, sont d'ordre chimique ou physique. Les altérations physiques peuvent être surfaciques ou interne sous forme de fissures [13].

Les altérations chimiques sont dues essentiellement aux acides, aux bases et aux solutions salines, elles entraînent presque toujours la dissolution de la chaux et le plus souvent, en association avec cette dissolution, la formation de composés nouveaux dont les conséquences sont d'ordre macroscopique :

- Les altérations mécaniques : chute de résistances et de rigidité, fissuration et déformation du matériau.
- Les altérations physico-chimiques : baisse du pH, augmentation de la porosité et des propriétés de transfert des gaz et des liquides [14].

Avant d'aborder les mécanismes de détérioration du béton armé, il est important de cibler les différents processus qui déclenchent ce mécanisme, on trouve trois principaux types de dégradations dans le béton [15] :

- Il y a ceux d'ordre chimique qui surviennent généralement à la suite d'un déséquilibre dans le liquide interstitiel.
- Ensuite viennent les désordres dits physiques. Ces désordres sont attribuables à des pressions mécaniques souvent générées par des mouvements d'eau.
- Finalement, la détérioration du béton par corrosion des barres d'armature en acier.

### **II.1.2.Désordres chimiques**

En général, les désordres chimiques surviennent en raison de l'infiltration d'un contaminant dans le réseau poreux [16]. La présence de ces contaminants déséquilibre le liquide interstitiel, ce qui affecte l'équilibre de certains hydrates et provoque leur dissolution. Il y a donc un changement au niveau de la structure de la pâte et une précipitation de certains éléments nouvellement formés.

#### **II.1.2.1.La Carbonatation :**

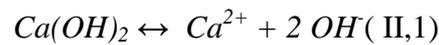
Le point faible du béton armé en environnement agressif est son armature, dont la corrosion constitue un danger potentiel quant à la conservation et la stabilité des ouvrages. L'armature enrobée de béton bénéficie naturellement d'une haute protection contre la corrosion. En effet, le caractère fortement basique de ce milieu ( $\text{pH} \approx 12$  à  $13$ ) est à l'origine de la formation d'un film protecteur enveloppant l'armature : la couche passive.

Cependant, certains agents agressifs peuvent traverser le béton d'enrobage et dépassive l'armature. La carbonatation du béton par le dioxyde de carbone atmosphérique ( $\text{CO}_2$ ) est l'une des principales causes de ce phénomène. [17]

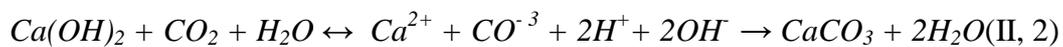
La profondeur de carbonatation, c'est-à-dire la pénétration du  $\text{CO}_2$ , dans le béton peut être mesurée grâce à la pulvérisation de la phénolphthaléine (indicateur coloré) sur un prélèvement d'échantillon.

### II.1.2.1.1. Processus de carbonatation des bétons :

Les armatures du béton armé sont passivées, c'est-à-dire recouvertes d'une couche protectrice d'oxydes, dans un milieu basique ayant un pH d'environ 13, comme dans la solution interstitielle du béton. La portlandite constitue une réserve importante d'ions  $\text{OH}^-$  [18] comme le montre la réaction chimique (II, 1):



La carbonatation des bétons est la réaction de neutralisation des bases présentes dans le ciment hydraté, essentiellement la portlandite et les CSH, par le dioxyde de carbone naturellement présent dans l'air à raison d'environ 0,035 % en volume. Le processus de carbonatation peut être succinctement décrit selon la réaction chimique (II,2) :



Le dioxyde de carbone atmosphérique diffusé dans le béton sous forme gazeuse, se dissout dans la solution interstitielle et réagit avec les hydrates de la pâte de ciment, notamment la portlandite, pour former des carbonates de calcium  $\text{CaCO}_3$  qui existent à l'état solide sous trois formes cristallines différentes [19] :

La Calcite : Minéral de formule  $\text{CaCO}_3$ .

L'Aragonite : Minéral de même formule chimique que la calcite  $\text{CaCO}_3$ .

La Vatérite : Très instable et recristallise généralement sous forme de calcite de formule  $\mu\text{-CaCO}_3$ .

Cette réaction s'accompagne d'une diminution du pH de la solution interstitielle à une valeur inférieure à 9, dépassant ainsi les aciers dans le cas du béton armé et favorisant, par conséquent, leur corrosion.

Les réactions chimiques de la carbonatation sont illustrées par la figure (II,1)

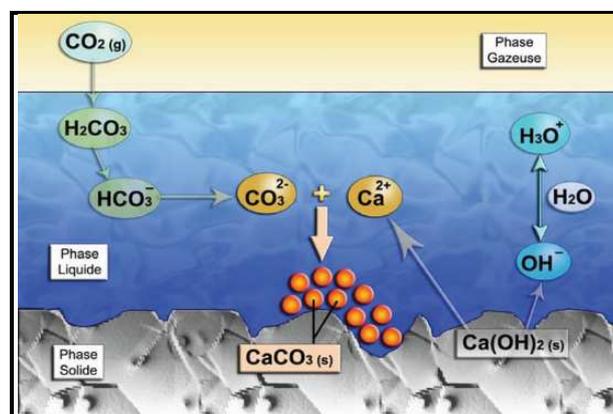


Figure (II, 1): Mécanisme de carbonatation de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  . [20]

Etant donné que la portlandite peut se dissocier et apporter des ions  $\text{OH}^-$  un fort pH est maintenu. Mais quand la majeure partie de la portlandite est consommée, le pH de la solution interstitielle diminue fortement, les armatures sont alors dépassivées.

Le front (ou la profondeur) de carbonatation est théoriquement défini comme étant la limite entre la zone carbonatée où le pH n'est plus assez élevé pour protéger les armatures et la zone non carbonatée (ou très faiblement) où le pH est encore égal à 13[20].

Pour suivre l'évolution du phénomène, il est essentiel de pouvoir déterminer la profondeur de carbonatation. La méthode consiste à rompre un échantillon de béton et à répandre sur la face de rupture une solution alcoolique de phénophtaléine qui sert d'indicateur coloré.

Pour un pH de l'ordre de 9, on observe le virage de l'indicateur: la partie superficielle carbonatée reste incolore, alors que la partie interne non transformée prend une coloration rose, Photo (II, 1).



Photo (II, 1): Détermination de la profondeur de carbonatation.

La progression de la carbonatation se fait de l'extérieur de l'ouvrage, en contact avec l'air ambiant, vers l'intérieur, mais se trouve freinée par la formation des carbonates.

La vitesse de progression de la carbonatation diminue donc avec la profondeur atteinte. Cette progression est en fait modifiée par des facteurs liés au béton lui-même tels que la nature et le dosage du ciment, le dosage en eau, la porosité du béton et le milieu environnant. La figure (II, 2) montre l'évolution de la carbonatation du béton en fonction du dosage en ciment.

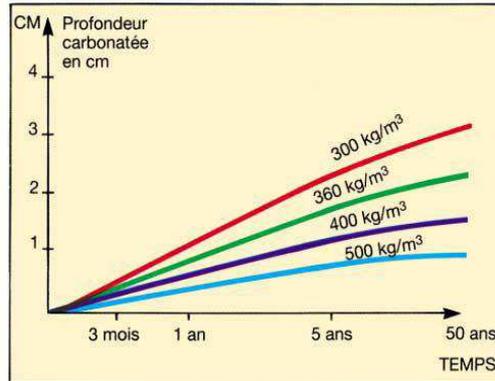


Figure (II, 2): Evolution de la carbonatation du béton en fonction du dosage en ciment [21]

L'humidité relative de l'air joue, en particulier, un rôle important : la vitesse de carbonatation est maximum pour une humidité relative de l'ordre de 60% à 65%, pratiquement nulle en atmosphère sèche ou saturée, [21].

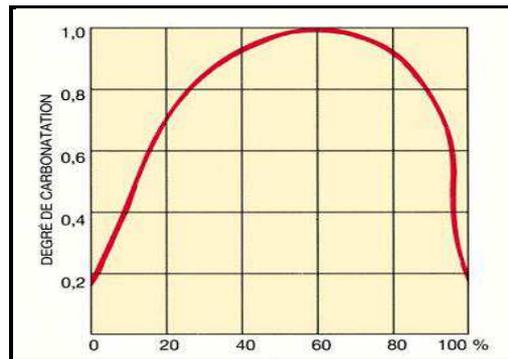


Figure (II, 3): Incidence de l'humidité relative de l'air sur la vitesse de carbonatation, [21].

#### II.1.2.1.2. Diffusion du CO<sub>2</sub> dans le béton et sa dissolution.

Sous l'effet d'un gradient de concentration, le dioxyde de carbone atmosphérique diffusé dans le réseau poral du béton se dissout dans la solution interstitielle. Selon le pH de la solution interstitielle, le CO<sub>2</sub> en solution peut prendre différentes formes. [22]

- Il est sous forme d'acide carbonique si  $\text{pH} < 4$
- Il est sous forme d'ion bicarbonate si  $6 < \text{pH} < 10,5$
- Il est sous forme d'ion carbonate si  $\text{pH} > 10,5$

Cette dernière configuration prédomine dans le cas des bétons sains, avant toute attaque chimique.

### II.1.2.1.3. Principaux paramètres influençant la carbonatation des bétons :

La cinétique de carbonatation des bétons est influencée par une multitude de paramètres liés aux caractéristiques des bétons et à leur milieu environnant.

#### a. Paramètres intrinsèques aux bétons

- Rapport eau/ciment (E/C)

Toutes les études réalisées pour déterminer l'influence du rapport E/C sur la cinétique de carbonatation s'accordent à conclure que plus ce rapport est bas, plus la vitesse de carbonatation est faible. [23]

En effet, la porosité d'un béton dépend en grande partie du rapport E/C. Plus il est élevé, plus la quantité d'eau libre évaporable est grande. En s'évaporant, cette eau laisse des vides qui favorisent la diffusion du CO<sub>2</sub>.

- Dosage en ciment

Un dosage en ciment élevé diminue la profondeur de carbonatation [24], car il réduit la porosité du béton, améliore sa compacité.

- Résistance à la compression

La profondeur de carbonatation diminue lorsque la résistance en compression à 28 jours s'accroît [25]. Cependant, deux bétons de même résistance mécanique peuvent avoir deux rapports E/C distincts et donc deux comportements différents vis-à-vis de la carbonatation.

- Degré de saturation des pores en eau liquide

Si le béton est totalement saturé en eau liquide, la diffusion du CO<sub>2</sub> n'est possible qu'à travers la solution interstitielle, ceci freine considérablement la progression de la carbonatation dans la mesure où les coefficients de diffusion du CO<sub>2</sub> dans l'air et dans l'eau sont respectivement de l'ordre de 10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s et 10<sup>-9</sup> m<sup>2</sup>/s. En revanche, si le degré de saturation est trop faible, la dissolution du CO<sub>2</sub> est fortement limitée et la cinétique de carbonatation des hydrates est alors ralentie [26].

**b. Paramètres extrinsèques aux bétons****▪ Cure**

Une bonne cure, qui consiste à maintenir le béton dans des conditions de température et d'humidité relative propices conduit à une meilleure hydratation [27], et diminue la vitesse de carbonatation [28].

Contrairement à une conservation à l'air libre, une cure dans l'eau favorise l'hydratation du ciment et réduit ainsi la porosité du béton ce qui conduit à un béton plus résistant à la carbonatation. Cette résistance à la carbonatation est d'autant plus importante que la durée de la cure est prolongée.

**▪ Humidité relative**

La vitesse de carbonatation est considérablement influencée par l'humidité relative du milieu environnant [29]. Pour que la carbonatation soit maximale, l'humidité relative doit être suffisamment faible pour qu'une phase gazeuse connectée permette la diffusion du CO<sub>2</sub> gazeux et suffisamment élevée pour que la réaction de carbonatation proprement dite puisse avoir lieu en phase aqueuse [30].

**▪ Concentration en CO<sub>2</sub>**

L'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> accroît la vitesse de carbonatation. En fournissant du CO<sub>2</sub> en quantités continuellement suffisantes, les produits carbonatés à une profondeur donnée se carbonatent rapidement et se consomment donc d'autant. Ainsi, le front de carbonatation avance plus vite [31].

**▪ Température**

L'augmentation de température a deux effets opposés sur la vitesse de carbonatation :

D'une part, elle accélère les réactions chimiques [32], favorise le séchage des pores et ainsi l'accès du CO<sub>2</sub> dans le réseau poral. D'autre part, elle diminue la solubilité du CO<sub>2</sub> et réduit sa concentration dans la phase gazeuse [33].

**II.1.2.2. Attaques aux sulfates :**

L'attaque aux sulfates est causée par une séquence complexe de réactions chimiques. Ces réactions provoquent une modification chimique et physique de la matrice cimentaire. La restructuration de la matrice conduit à une perte des propriétés mécaniques et physiques. Il

n'y a pas de réactions chimiques clairement identifiées qui causeraient ce trouble. Toutefois, on note deux formes principales sous lesquelles les attaques se manifestent :

Les attaques aux sulfates dites internes qui surviennent en raison d'une mauvaise formulation ou encore d'une cure inadéquate. Une cure inadéquate sera considérée comme une cure dont la température dépasse 70 °C. Une température de cure trop élevée provoquera une instabilité de certains éléments tels que les mono-sulfo-aluminates ce qui favorisera la formation d'ettringite expansive.

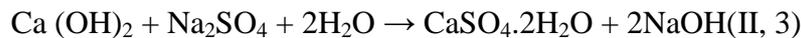
Les attaques aux sulfates de type externe qui surviennent lorsqu'un agent agressif intrusif parvient à s'infiltrer dans le liquide interstitiel et à bouleverser l'équilibre. Leurs actions sont multiples, mais on observe en général la dissolution de plusieurs éléments de la matrice cimentaire. [34]

#### II.1.2.2.1.Processus d'attaque par les sulfates :

La dégradation des bétons par les sulfates est due principalement à des phénomènes d'expansion en relation avec la cristallisation d'ettringite, les expansions peuvent résulter de la formation d'ettringite secondaire (l'ettringite primaire n'est pas expansive). [35]

Schématiquement, la formation de l'ettringite se fait en deux étapes qui peuvent être résumées en ce qui suit :

- 1) Formation de gypse secondaire (substitution ionique entre la portlandite et les sulfates). Dans le cas du sulfate de sodium:

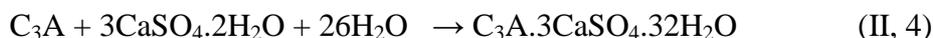


NaOH : Alcalinité élevée ----> stabilisation des C-S-H

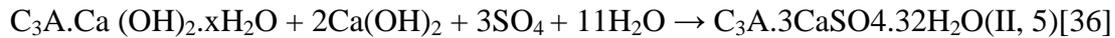
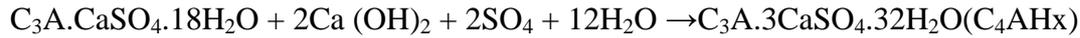
CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O : Produit expansif mais qui se forme uniquement dans les espaces internes de la pâte de ciment hydraté, Dans la majorité des cas, pas ou peu expansif.

- 2) Formation d'ettringite secondaire

- à partir du C<sub>3</sub>A anhydre résiduel:



- à partir des aluminates hydratés:(mono-sulfo-aluminates)



### II.1.2.2.2. Facteurs contrôlant la résistance du béton aux sulfates

#### ▪ Dosage En Ciment et teneur en $C_3A$ :

Les bétons avec un dosage en ciment plus élevé sont généralement plus compacts et ont une perméabilité plus faible qui ralentie la pénétration des sulfates et de l'ion qui leur est associé. La figure (II, 4) montre l'influence du dosage en ciment et de la teneur en  $C_3A$  sur la vitesse de dégradation du béton (16 ans dans  $Na_2SO_4$  à 10%) [37].

- La résistance aux sulfates augmente avec la teneur en ciment.
- Le taux de dégradation est proportionnel à la quantité de  $C_3A$  du ciment.

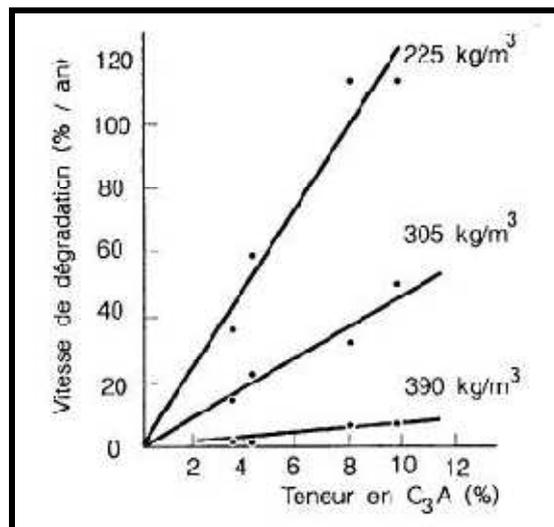


Figure (II,4):Influence du dosage en ciment et de la teneur en  $C_3A$  sur la vitesse de dégradation du béton (16 ans dans  $Na_2SO_4$  à 10%)[37].

#### ▪ Ajouts Minéraux :

Les ajouts minéraux (particulièrement les laitiers) permettent généralement d'augmenter la résistance aux sulfates.

- Les ciments contenant 40% ou plus de laitier ont généralement une bonne résistance aux sulfates comme montrer sur la figure (II, 4).

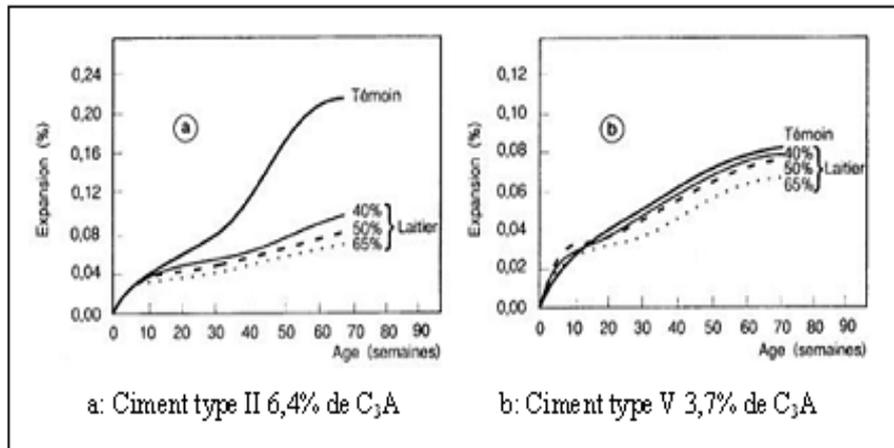


Figure (II, 5) : Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier.  
Pour deux types de ciment.

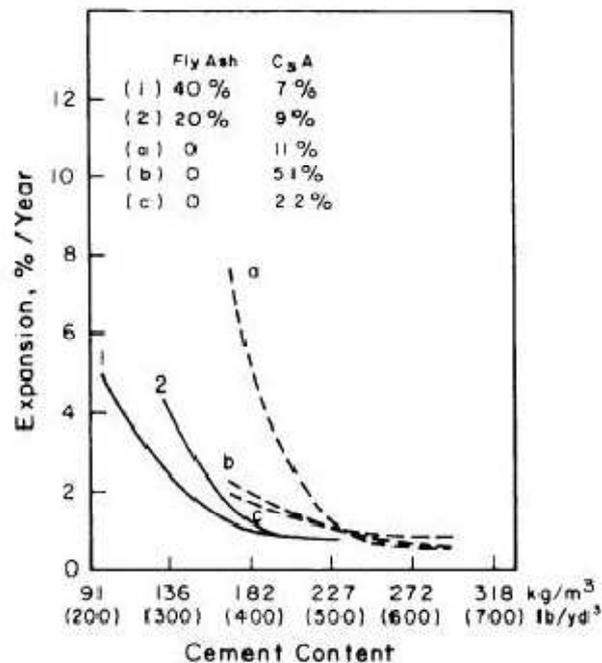


Figure (II, 6): Résistance aux sulfates d'échantillons de mortier avec ajouts de laitier [37].

- Les ciments avec plus de 20% à 30% de cendres volantes ont une meilleure résistance aux sulfates figure (II, 5). L'effet des cendres est variable en fonction de leur composition chimique. Les cendres ayant un contenu en chaux  $> 20\%$  ne devraient pas être utilisées.
- La fumée de silice (7%-10%) améliore très significativement la résistance aux sulfates.

### **II.1.2.3. Attaque par les chlorures**

La diffusion d'ions de chlorure dans le béton est le résultat de complexes mécanismes où l'échange d'ions entre la solution agressive et la solution poreuse (interstitielle) dans le béton joue un rôle important [38].

La capacité de fixation des ions  $Cl^-$  par le ciment dépend de la nature du ciment, utilisé principalement, et de la quantité d'aluminate  $C_3A$  présente dans le clinker.

#### **II.1.2.3.1. Source de l'attaque par les ions chlorures**

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils sont présents au moment du gâchage : utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de déverglaçage, produits chimiques) et sont diffusés dans le béton. Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

- Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle.
- Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores [39].

#### **II.1.2.3.2. Pénétration des ions chlore**

Le problème de l'attaque du béton par les chlorures survient habituellement lorsque des ions chlorures pénètrent de l'extérieur.

La pénétration des ions chlore est probablement le phénomène le plus dévastateur pour les structures en béton armé. Lorsque les ions chlore pénètrent dans la solution interstitielle, ils réagissent dans un premier temps avec le  $C_3A$  non hydraté pour former des monochloroaluminates ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ ), ce qui représente une modification positive de la microstructure du béton. Toutefois, si la pénétration des ions chlore se poursuit, ils exercent surtout une action dévastatrice au sein du béton lorsqu'ils atteignent les armatures d'acier en les corrodant très rapidement et en exerçant une pression sur le béton adjacent à travers le dépôt de rouille, ce qui fait gonfler le béton jusqu'à le faire éclater.

#### **II.1.2.3.3. La tenue du béton dans les milieux de chlorures :**

La vitesse de pénétration des chlorures dépend de la porosité de la pâte de ciment, la figure (II, 7) montre l'évolution de la concentration en chlorures pour différents rapports E/C (a) et

milieux environnants. La concentration en chlorure décroît avec le rapport E/C de façon exponentielle et dépend de la concentration de la solution environnante en sels[40].

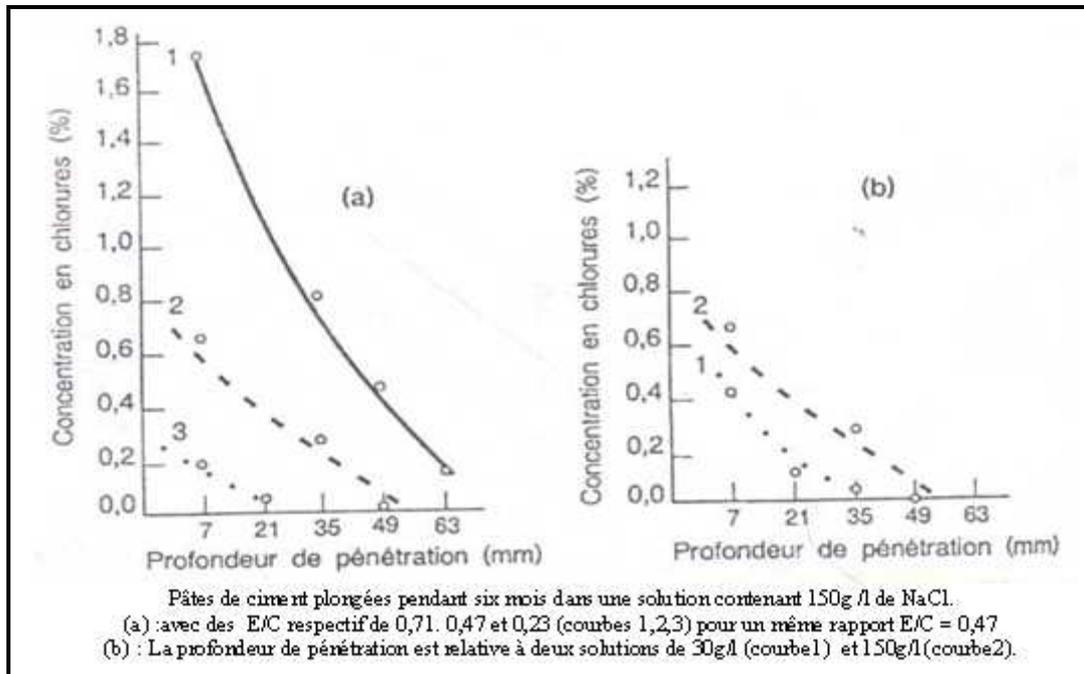


Figure (II, 7) : Evolution de la concentration en chlorures pour différents rapports E/C (a) et milieux environnants (b) [40].

#### II.1.2.3.4. Seuil critique de la contamination par chlorures

Le seuil critique est la teneur en chlorure au-delà de laquelle la corrosion des armatures est importante. Selon la synthèse proposée par Glass [41], les seuils critiques des chlorures peuvent être établis par la teneur totale en ions chlorures, la concentration en chlorures libres contenue dans la solution interstitielle du béton et le rapport des ions chlorure libre et des ions hydroxyde  $[Cl^-] / [OH^-]$ .

Une valeur recommandée est de 0,4% par rapport au poids de ciment. Cette valeur a été établie comme une limite de dépassivation des armatures [42].

### II.1.3. Désordres physico-Chimique :

#### II.1.3.1. Corrosion des Armatures

##### II.1.3.1.1. Introduction

Parmi tous les modes de dégradation des structures en béton, la corrosion des barres d'armature est sans doute le plus répandu et celui qui occasionne le plus de coûts de réparations.

Le béton est un milieu hautement alcalin qui provoque la formation d'un film protecteur très mince et adhérent, nommé film passif, à l'interface de l'acier, le protégeant ainsi contre la corrosion. En raison de ces caractéristiques, l'acier dans le béton sain ne se corrode généralement pas. Toutefois, un béton qui résiste mal à l'infiltration d'agents agressifs, tel que les chlorures, et à l'environnement auquel il est soumis, permettra une dépassection de ce film, ce qui engendrera une initiation à la corrosion [41].

Les armatures dans le béton sont protégées grâce à la forte alcalinité du béton ( $\text{pH} > 12$ ). Dans ces conditions, le film passif se forme à la surface de l'acier et protège les aciers contre la corrosion dans les conditions normales. En présence d'eau et d'oxygène, ce film passif peut être détruit par des agents agressifs comme les chlorures ou les sulfates.

La corrosion des armatures dans le béton a principalement lieu à la suite de la carbonatation du béton d'enrobage et de la pénétration des chlorures [42].

La corrosion ne se forme qu'en présence d'oxygène et d'humidité relative comprise entre 70% et 80%. Lorsque l'atmosphère est très sèche (humidité relative  $< 40\%$  et donc absence d'électrolyte), ou lorsque le béton est totalement immergé dans l'eau désaérée (manque d'oxygène), la corrosion ne se produit en principe pas [43].

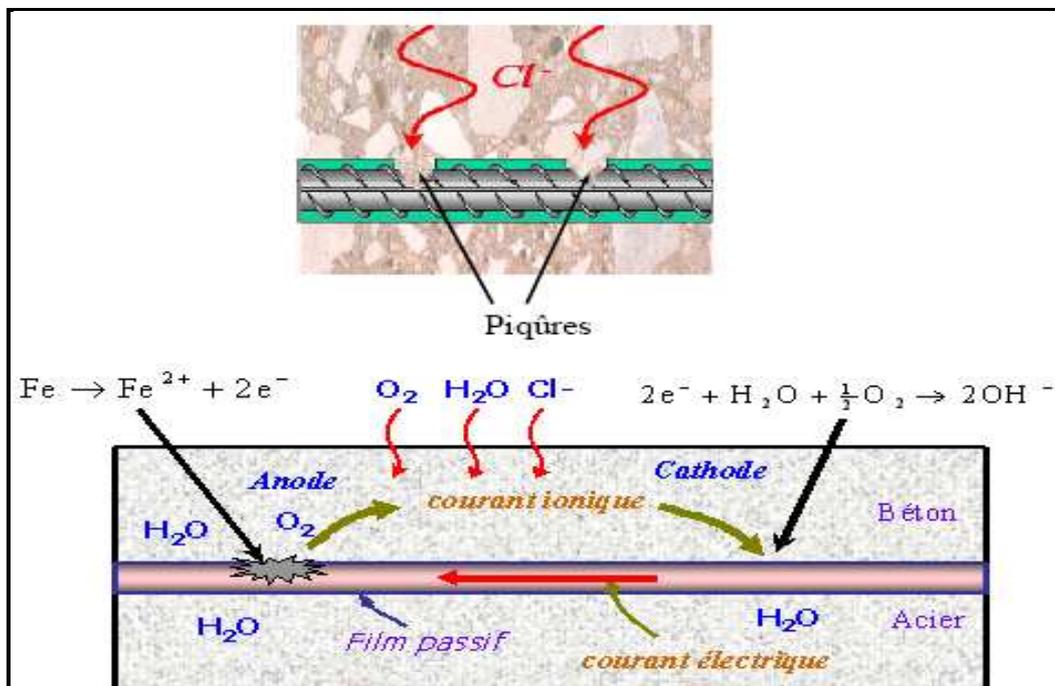


Figure (II, 8): Processus de la corrosion de l'acier dans le béton [44].

La Figure (II, 8) montre le mécanisme de la corrosion de l'acier dans le béton en présence d'ions chlore.

### II.1.3.1.2. Amorçage et propagation de la corrosion

Selon Tuutti [45] le processus de corrosion des aciers dans le cas d'un béton initialement sain s'effectue généralement en deux phases: une phase d'incubation et une phase de propagation comme le montre la figure (II, 9).

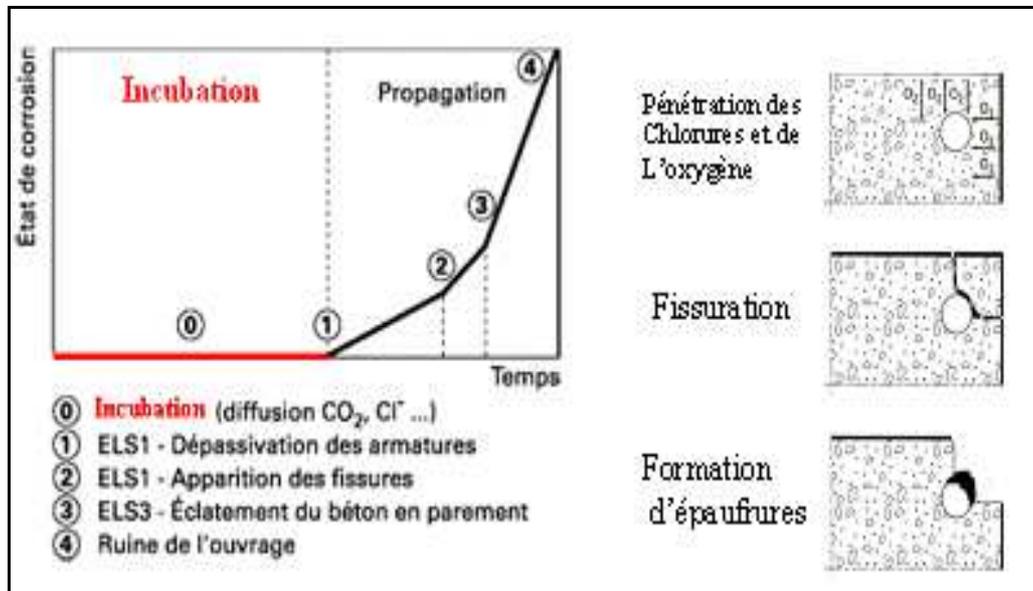


Figure (II, 9):Étapes de l'évolution de la corrosion des armatures [45].

Le temps  $t_0$  correspond au passage de la phase d'incubation à la phase de propagation. La phase d'incubation correspond à une période pendant laquelle les agents agressifs pénètrent dans le béton d'enrobage jusqu'à l'armature.

Quand les agents agressifs atteignent le niveau critique qui va provoquer la dépassivation de l'acier, la corrosion s'amorce puis se développe à une vitesse qui dépend de la température, de la présence d'oxygène et de la conductibilité électrique du béton [46].

### II.1.3.1.3. Différents types de corrosion

Il existe plusieurs types de corrosion des armatures du béton dépendant de l'environnement et du milieu agressif.

La corrosion des aciers dans les ouvrages en béton armé est de deux types : Corrosion généralisée par carbonatation du béton qui se caractérise par l'existence de plusieurs processus électrochimiques élémentaires, et corrosion localisée par piqûres se caractérise par l'attaque par les chlorures

### ▪ **Corrosion généralisée**

Dans le cas de la corrosion de l'armature par carbonatation du béton, on considère que l'amorçage de la corrosion commence à  $t_0$  dès que le front de carbonatation atteint les armatures qui correspondent au commencement du processus de dépassivation. Pour accélérer ou retarder l'amorçage, il faut intervenir sur l'épaisseur du béton d'enrobage. En comparant les profondeurs de pénétration des agents agressifs et l'épaisseur du béton d'enrobage, on peut estimer si la corrosion est amorcée. Dès que l'amorçage de la corrosion a eu lieu et si les conditions environnementales ne sont pas modifiées, la propagation ne peut pas être interrompue.

### ▪ **Corrosion localisée par piqûres**

Les ions chlorures  $Cl^-$  pénètrent dans le béton et provoquent, à partir d'une certaine concentration dans la solution des pores, au niveau des armatures, la destruction locale du film de passivation et l'initiation d'une corrosion localisée. Les ions chlorures s'introduisent dans la couche passive en remplaçant l'oxygène et en augmentant à la fois sa solubilité, sa perméabilité et sa conductivité ionique. Ils sont rarement distribués de manière homogène à la surface de l'acier laissant subsister quelques imperfections dans la couche passive qui facilite l'incorporation des ions chlore. La dégradation de la couche passive est un phénomène local conduisant à une corrosion par piqûre [47].

On considère que la quantité de chlorures libres nécessaires pour détruire la couche de passivation dépend de la quantité de portlandite présente. Toutefois, il s'avère que le dépassement des seuils critiques définis ne constitue pas toujours une condition suffisante pour amorcer la corrosion. La qualité de l'interface entre l'armature et le béton peut également être déterminante [48].

#### **II.1.3.1.4. Vitesse de corrosion**

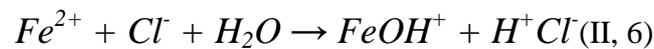
La vitesse de corrosion des barres d'armature est plus grande en présence de chlorures. Les chlorures ont deux effets dans les mécanismes de corrosion :

- ils diminuent la résistivité de l'électrolyte, ce qui facilite le transport des ions d'un site à l'autre.
- ils dépassent les aciers par destruction locale de la couche superficielle (piqûres). Aux endroits où la couche a été détruite, l'acier se dissout (zone anodique), alors que le reste de la

surface encore passivée correspond à la zone cathodique. Les chlorures agissent aux zones anodiques en augmentant la vitesse de corrosion. La surface des zones anodiques est plus petite que celle des zones cathodiques ce qui accélère encore la vitesse de corrosion [49].

Le rapport cathode/anode élevé favorise la progression localisée et en profondeur de la corrosion, formant des piqûres ou une corrosion caverneuse [50]. Les réactions de corrosion au niveau de la cellule caverneuse sont encore mal comprises. Le mécanisme de ce type de corrosion est complexe car la composition de la solution à l'intérieur de la piqûre est modifiée par rapport à celle de la solution interstitielle qui l'entoure [51].

Au fond de la piqûre, les ions chlore s'associent avec l'ion hydrogène de l'eau pour former de l'acide chlorhydrique et sont constamment recyclés :



Ces réactions engendrent une importante baisse du pH, entre 3.8 et 5 [52]. La dissolution du fer est alors accélérée. Les ions ferreux  $Fe^{2+}$  diffusés hors de la piqûre se combinent avec les ions hydroxydes de la solution interstitielle tandis que la réaction cathodique est la même que dans le cas de corrosion en absence de chlorure. La Figure (II, 10) montre le schéma de la corrosion par les ions chlorure [53].

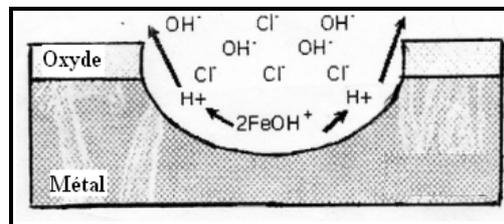


Figure (II, 10): Modèle de PAGE d'attaque de l'acier par les ions chlore [53]

Plus la concentration en chlorure au niveau des armatures est grande, plus la vitesse de corrosion est élevée. Une fois la corrosion amorcée, il est plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation.

#### II.1.3.1.5. Facteurs influents sur la corrosion des armatures :

Parmi les facteurs qui influencent la pénétration des chlorures ou du dioxyde de carbone et par conséquent la corrosion des armatures :

- **La température** : Une augmentation de la température accroît la vitesse de corrosion. Ce phénomène peut s'expliquer d'une part par le fait que les processus anodiques et cathodiques sont activés thermiquement. Il en résulte un courant d'échange c'est-à-dire une vitesse de corrosion augmentant avec la température. Une élévation de 10 à 20°C multiplie par deux la vitesse de corrosion en situation de corrosion active [54].
  
- **Résistivité du béton (Porosité)** : La résistivité du béton a une influence sur le taux de corrosion à une même température. Elle est proportionnelle à la vitesse de corrosion lorsque l'armature est à l'état actif sauf dans le cas de béton saturé, très sec ou dégradé. Plus elle sera élevée, moins le béton sera conducteur, et donc le passage du courant sera limité. La résistivité du béton est fortement conditionnée par sa phase liquide. Plus la porosité du béton est forte, plus la phase liquide peut être importante et par conséquent plus la résistivité est faible. Plus le béton a une résistivité élevée, plus la diffusion des ions agressifs sera limitée et le courant de corrosion sera faible [55].
  
- **La concentration en chlorures**  
Les ions chlorures conditionnent la solubilité des produits de corrosion et l'existence de dépôts [56]. Leur présence dans le béton armé a une influence sur la corrosion puisque leur présence induit un risque de localisation de la corrosion, notamment par piqûre [57], augmentant le courant de corrosion.  
D'une part, une concentration critique est nécessaire pour que la dépassivation des aciers débute, ce taux limite est fonction du ratio entre les ions chlorures et les ions hydroxydes présents dans la solution interstitielle. D'autre part, lorsque la concentration en ions chlorure augmente, la conductivité du béton augmente, favorisant le passage des ions chlorures vers l'armature.

### **II.1.3.2. Attaque du béton par Le sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S :**

#### **II.1.3.2.1. Définition**

Le sulfure d'hydrogène, ou hydrogène sulfuré, est un composé chimique de formule H<sub>2</sub>S, constitué de soufre et d'hydrogène. C'est un gaz inflammable, incolore, à l'odeur d'œuf pourri, très toxique, faiblement soluble dans l'eau en donnant un acide faible, l'acide sulfhydrique.

Le sulfure d'hydrogène est plus lourd que l'air et stagne donc juste au-dessus de la surface des matières organiques en cours de décomposition [58].

Le sulfure d'hydrogène joue un rôle important en biologie. Il est produit par la dégradation des protéines contenant du soufre et est responsable d'une grande partie de l'odeur fétide des excréments et des gaz. Il peut résulter de décomposition bactérienne de la matière organique dans des environnements pauvres en oxygène.

#### **II.1.3.2.2.Processus d'attaque :**

L'acide sulfurique est l'espèce chimique d'origine biologique la plus régulièrement étudiée qui pouvant conduire à la biodégradation des bétons. Les réactions chimiques entre cet acide et le béton engendrent la formation de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et d'ettringite qui altèrent les propriétés mécaniques et les caractéristiques de la structure. Un exemple de biodégradation des bétons est celui des bétons en contact avec des eaux usées (réseaux d'assainissement, canalisations,...etc. [59].

Ces eaux charrient de grandes quantités de composés soufrés offrant la matière première nécessaire à la métabolisation d'acide sulfurique par les microorganismes au contact du béton. Lorsque l'écoulement est lent ou qu'une absence d'oxygène (anaérobiose) se maintient pendant une longue durée, les bactéries sulfato-réductrices réduisent les composés soufrés (sulfates) contenus dans les eaux usées en hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) [60].

Le pH des eaux usées étant généralement légèrement acide ( $\text{pH} \approx 5-6$ )  $\text{H}_2\text{S}$  devient alors l'espèce soufrée prédominante. Lorsque des turbulences apparaissent,  $\text{H}_2\text{S}$  se dégage dans l'atmosphère de la canalisation du fait de sa faible solubilité dans l'eau. L'hydrogène sulfuré est attiré par l'alcalinité de la surface du béton et s'y condense [61].

La réaction de ce condensât avec l'oxygène de l'atmosphère conduit à la formation d'espèces oxydées comme le thiosulfate, le soufre élémentaire et les poly-sulfates. Ce dépôt constitue alors un excellent substrat pour le développement de certaines bactéries comme celle du genre *Thiobacilli*. Le mécanisme d'attaque biochimique est représenté sur la figure (II, 11).

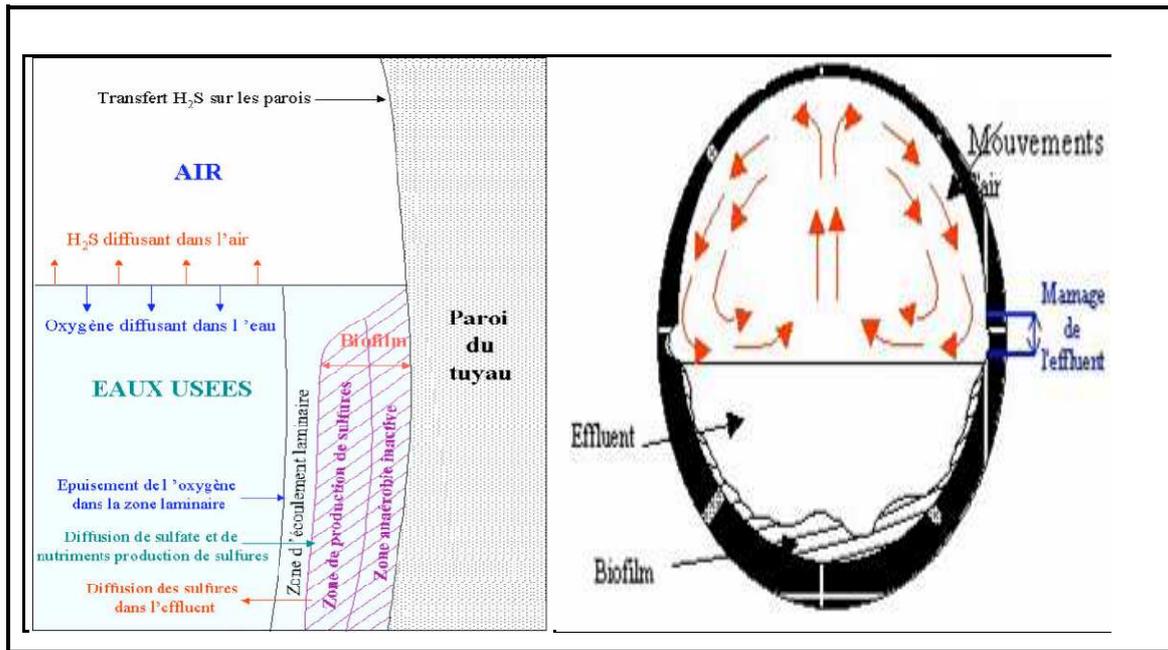
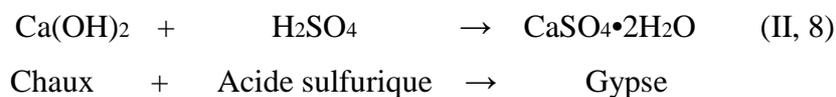


Figure (II, 11): Mécanisme d'attaque biochimique [61].

Cependant, la forte alcalinité initiale du béton ( $\text{pH} \approx 12-13$ ) inhibe la colonisation bactérienne de sa surface. La présence de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère conduit à la carbonatation du béton qui s'accompagne d'une baisse du pH de sa surface (jusqu'à  $\text{pH} \approx 9,5$ ) permettant sa colonisation par des bactéries sulfo-oxydantes neutrophiles principalement chimiolithotrophes et par des champignons [62]. Ces microorganismes métabolisent de l'acide sulfurique à partir du soufre déposé à la surface du béton. Cette production d'acide accentue la baisse du pH de la surface du béton jusqu'à un niveau permettant le développement d'espèces acidophiles sulfo-oxydantes, elles aussi productrices d'acide sulfurique. Ces bactéries acidophiles abaissent le pH de la surface de la canalisation jusqu'à un niveau d'environ 0,5-1 [63].

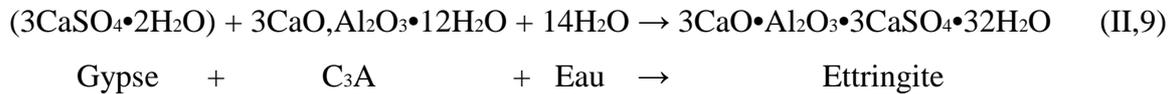
L'acide sulfurique produit par les microorganismes se concentre dans les pores de la matrice cimentaire et dégrade le béton [61].

L'acide sulfurique produit par les bactéries réagit avec l'hydroxyde de calcium (chaux) du béton pour former du gypse suivant l'équation :



Cette réaction chimique conduisant à la formation de gypse s'accompagne d'une augmentation de volume de rapport 2,2 [64].

Une partie du gypse ainsi formée réagit avec l'aluminate tricalcique (C<sub>3</sub>A) pour former de l'ettringite suivant l'équation:



Le gypse et l'ettringite ont des propriétés mécaniques nettement inférieures à celles des composés initialement présents dans les matériaux cimentaires sains. Leur formation entraîne donc une altération des propriétés mécaniques du matériau dans son ensemble. De plus, la formation de ces produits de corrosion est expansive et cette augmentation de volume peut engendrer un éclatement du matériau [65].

#### II.1.4. Conclusion

Les différents mécanismes qui peuvent être responsables de la dégradation de béton sont nombreux:

Dans le cas des attaques chimiques, la plus répandue est l'attaque par les sulfates (interne ou externe), qui a fait l'objet de nombreux dégâts, les mesures de préventions contre ce type d'attaque sont :

- Utiliser un ciment CRS.
- Augmenter le dosage en ciment pour obtenir un béton très compact (La résistance aux sulfates augmente avec la teneur en ciment).

Les attaques acides entraînent une dissolution des phases solides du béton, indépendamment des moyens supplémentaires de protection qu'il peut être nécessaire de mettre en œuvre (résines, bitumes et autres revêtements), les mesures à prendre pour réduire les risques d'attaque par les acides, sont les suivantes :

- La mise en œuvre de béton de haute compacité, susceptible de ralentir de manière importante le transport des acides au sein du béton.
- utiliser des ciments à faible teneur en chaux, en particulier des ciments avec ajouts minéraux consommateurs de chaux (laitiers, cendres volantes..).

Enfin, les attaques par le bactériologiques ou le sulfure d'hydrogène  $H_2S$  est particulièrement menaçante dans les ouvrages d'assainissement, les mesures préventives à prendre au moins pour ralentir leur impactes sont :

- L'augmentation du dosage du ciment utiliser qui a une teneur en  $C_3A$  réduite et avec utilisation des ajouts en peuvent ralentir la vitesse de dégradation du béton.
- La formation d'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ) se produit lors un lent écoulement ou manque d'oxygène, et puisque le ( $H_2S$ ) est plus lourd que l'air, il est nécessaire d'éviter la stagnation, par nettoyage périodique suivi de ventilation.

## **PARTIE 2 : GENERALITES SUR LES GALERIES ET LES RESEAUX D'EVACUATION DES EAUX USEES**

### **II.2.1.Introduction**

Au réseau d'égouts parisiens et à compter du XVIII<sup>e</sup> siècle apparaissent les galeries d'évacuation des eaux usées qui sont construites selon l'idée, développée par le préfet Haussmann d'avoir la double fonction d'évacuation des eaux de lavage des chaussées, pluviales et ménagères et d'accueil des réseaux divers de distribution d'eau et de gaz [66].

Cela pour débarrasser les chaussées de toutes sortes de saletés et pour les libérer des embarras causés par les travaux de terrassement, d'installation et de réparation des conduites, afin de réaliser « la belle ville bourgeoise ».



Photo (II, 2): Galerie du musée des égouts [67].

### **II.2.2. Définition d'un réseau d'assainissement :**

Les réseaux d'égout sont constitués d'un ensemble de composantes hydrauliques comprenant des conduites, des regards, des puisards, des stations de pompage, des bassins de rétention et de différents ouvrages de contrôle. Leur mission est la collecte et l'évacuation adéquate des eaux usées vers une station de traitement ou vers un lieu de déversement approprié [68].

Un réseau d'égout doit répondre, dans son fonctionnement, à deux objectifs :

- Éliminer les eaux usées domestiques et industrielles pour assurer l'hygiène publique.
- Évacuer de façon adéquate les eaux pluviales pour éviter l'inondation, surtout en temps de pluie, et assurer par conséquent la sécurité des citoyens.

En premier lieu, ces eaux sont captées et évacuées par le réseau. Puis, elles sont acheminées vers une station de traitement.

### **II.2.3. Les différents Types de réseaux d'égout :**

Les différents types de réseaux d'égout sont énumérés et regroupés comme suit [69] :

**II.2.3.1. Le réseau d'égout sanitaire :** appelé souvent réseau d'égouts domestique ou séparatif, un réseau d'égouts sanitaire transporte les eaux usées d'origine domestique, les eaux provenant des ICI (institutions, commerces et industries) et certaines eaux dites parasites.

**II.2.3.2. Le réseau d'égout pluvial :** destiné à canaliser les eaux de ruissellement, lesquelles résultent essentiellement des pluies et de la fonte des neiges. Ces eaux sont déversées dans le cours d'eau récepteur sans traitement.

**II.2.3.3. Le réseau d'égout unitaire :** c'est un réseau qui canalise toutes les eaux usées du territoire qu'il dessert, d'origine domestique, pluviale, industrielle ou commerciale. Vu que les débits pluviaux maximaux sont beaucoup plus importants que les débits maximaux domestiques, on ne tient pas compte de ces derniers quand on calcule les dimensions d'un réseau unitaire.

### **II.2.4. Nature des eaux à évacuer**

**II.2.4.1 Eaux pluviales :** Les eaux pluviales susceptibles d'être reçues dans un réseau d'égouts comprennent, outre les eaux météoriques recueillies directement sur la surface concernée, les eaux qui, du fait de la topographie ou de la main de l'homme, transitent par cette surface, soit qu'elles ruissellent sur le terrain, soit qu'elles y soient amenées par d'autres canalisations souterraines (eaux de pluie, de drainage ou de source).

**II.2.4.2 Eaux usées :** Les eaux usées comprennent :

- les effluents urbains ;
- les effluents industriels.

Par effluents urbains, il faut comprendre les eaux d'entraînement des déchets domestiques, évier, salles d'eau, ainsi que les eaux des services publics, lavage des rues et des caniveaux.

Les effluents industriels comprennent toutes les eaux susceptibles d'être rejetées par les industries, c'est-à-dire, outre les eaux à caractère domestique (personnel), les eaux de fabrication et les eaux de refroidissement [70].

### **II.1.2. Caractéristiques des réseaux d'eaux usées**

Parmi les caractéristiques des réseaux d'eaux usées, on note :

- **Réseaux gravitaires**

Les réseaux d'eaux usées seront constitués de canalisations de diamètre minimum 200 mm, posés avec une pente minimale de 5 mm/m. En cas de contrainte technique spécifique, la pente pourra être abaissée à 3 mm/m par dérogation et après accord du domaine Assainissement (sous réserve de l'emploi d'un matériau compatible). Lorsque le réseau se trouve sous voirie, la couverture minimale sur les canalisations devra être conforme au règlement en vigueur.

De plus, le revêtement intérieur des tuyaux devra être adapté au transport d'eaux usées, dans certains cas particuliers (risque d'H<sub>2</sub>S connu, proximité poste de refoulement, ...), un revêtement plus résistant pourra être exigé. Aucun arbre ne doit être implanté à moins de 3 m d'un réseau d'assainissement.

- **Branchements**

Pour des raisons d'exploitation, les boîtes de branchement devront être directement accessibles depuis le domaine public.

Elles seront donc réalisées préférentiellement en limite du domaine public où en domaine privé avec recul de clôture.

Les dispositifs de fermeture des regards de façade seront de type regard hydraulique non articulés, en fontes ductiles de classe minimum C250 et réglables en hauteur pour mise à la cote.

Les branchements gravitaires d'eaux usées seront de diamètre 150 mm et de pente 1,5% pour les maisons individuelles, de diamètre minimum 200 mm pour les habitats collectifs.

En règle générale, les coudes sont à éviter sur les branchements. Les coudes à 90° sont proscrits, il sera préféré à la place deux coudes à 45°.

La liaison branchement sur collecteur sera réalisée par culotte de branchement ou par raccord de piquage. L'angle de raccordement sera compris entre  $45^\circ$  et  $90^\circ$  dans le sens de l'écoulement. Les branchements pénétrants sont interdits. Pour des profondeurs de réseaux supérieures à 3 m, les branchements se feront sur regard [71].

## **II.2.5. Construction des ouvrages d'évacuation :**

**II.2.5.1 Forme des ouvrages :** Les canalisations d'écoulement de petit diamètre sont généralement circulaires. La forme ovoïde qui permet, à pente et débit égaux, une vitesse plus grande n'est utilisée que pour les ouvrages plus importants.

Dans les têtes de réseau, le diamètre ne peut être adapté au débit (la pente étant à peu près fixée par la topographie). Les diamètres minimaux sont déterminés pour limiter les risques d'obstruction :

- 0,30 m pour les écoulements pluviaux.
- 0,20 m pour les eaux usées.

Le diamètre de 0,15 m qui a été souvent utilisé est abandonné, sauf pour les branchements particuliers. La limite supérieure du diamètre est élevée (théoriquement 0,60 m), la forme circulaire convenant bien à la préfabrication en usine, garantie d'une bonne qualité du tuyau.

Cette forme peut être conservée même pour des ouvrages importants, en réseaux d'eaux usées où les dépôts sont remis en suspension chaque jour par les pointes de débit, lors qu'un flot permanent permet l'autocurage ou bien lorsque l'on ne peut pas assurer l'autocurage pour les petits écoulements (égouts pluviaux).

En système unitaire, au contraire, la grande variation de débit entre le temps sec et le temps de pluie, ainsi que la possibilité de dépôts de sables, malgré des bouches sélectives, au-delà de 0,60 m de diamètre, de sections ovoïdes où le flot de temps sec est mieux concentré.

Pour permettre au personnel d'exploitation de circuler par temps sec dans les collecteurs unitaires de grand diamètre, il peut être préférable de construire des collecteurs à banquette (figure II, 12), la cunette étant calculée pour l'écoulement du débit de temps sec et de petite pluie [72].

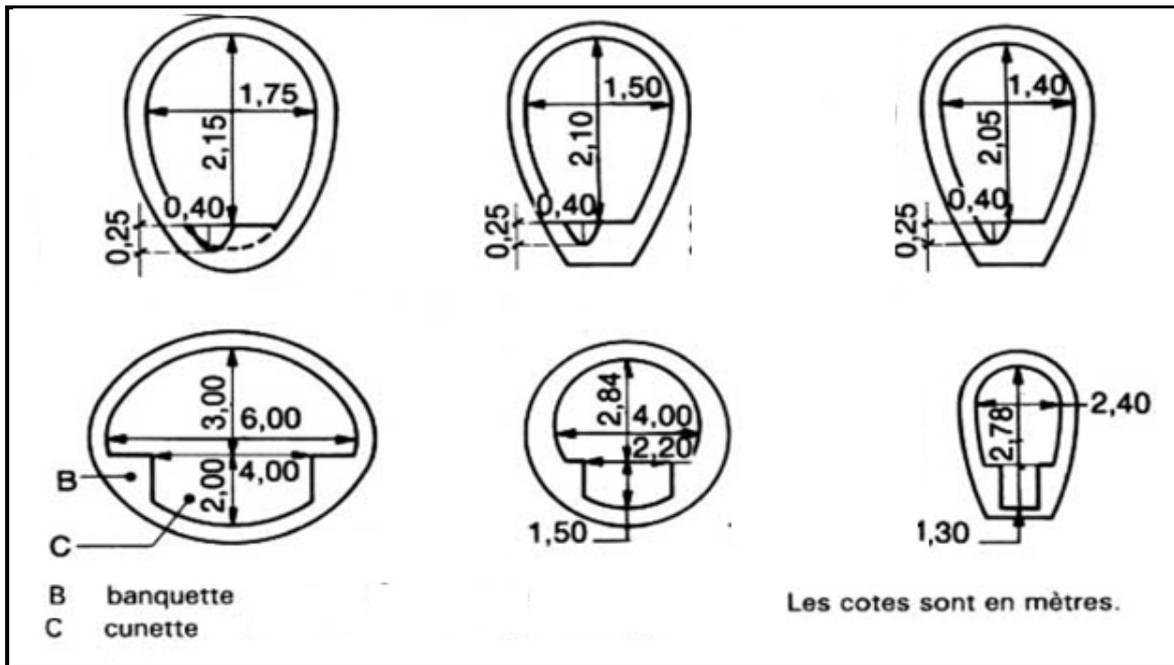


Figure (II,12): Égouts et collecteurs à banquette

Pour l'évacuation des eaux de trop-pleins d'orage en système unitaire, on peut adopter la forme des émissaires, fréquemment circulaires. On trouve aussi des ouvrages à embase élargie, qui permettent l'évacuation des flots importants sous une faible hauteur.

Signalons enfin la solution, adoptée par mesure d'économie, de déversoirs d'orage à ciel ouvert, acceptable seulement si l'ouvrage se développe loin de toute zone urbanisée.

### II.2.5.2. Implantation

Le radier des ouvrages d'évacuation doit être situé à une cote telle que le raccordement des immeubles voisins soit possible sans débordement chez les particuliers. On tiendra compte à cet effet :

- de la pente des branchements particuliers.
- de la cote du débouché du branchement particulier dans l'ouvrage public qui doit se trouver au-dessus du niveau moyen des eaux usées dans les ouvrages unitaires.
- de la cote piézométrique calculée au point de raccordement pour les égouts unitaires.

Une profondeur de 1,50 m à 2 m pour les ouvrages unitaires et les canalisations d'eaux usées permet, en général, d'assurer une desserte satisfaisante des immeubles riverains, ainsi que le croisement des autres conduites publiques souterraines (eau potable, gaz, télécommunications) [72].

### **II.2.5.3. Galeries ovoïdes**

Les galeries ovoïdes sont souvent coulées in situ, mais elles peuvent également être construites en éléments préfabriqués, avec toutes les réserves faites précédemment pour l'étanchéité, aggravées par la difficulté d'adaptation d'un joint, inhérente à la forme de la section.

En grande profondeur, ou en milieu urbain afin d'éviter les sujétions de construction, les galeries sont parfois construites en souterrain. Dans ce cas, elles peuvent être remplacées par des canalisations circulaires de grand diamètre, qui se prêtent bien à des modes de construction particuliers, forages horizontaux ou galeries (type mini-tunnel).

### **II.2.5.4. Bassins de retenue**

On distingue deux types de bassins de retenue suivant leur aspect hors service : les bassins secs et les bassins en eau. C'est souvent leur emplacement qui détermine le choix. Généralement, le bassin est destiné à limiter le débit pluvial en aval de l'agglomération. Il pourra donc se trouver très près des habitations. Dans ce cas, son intégration dans un site urbain sera meilleure avec un bassin en eau. La même solution sera retenue lorsque le bassin est creusé jusqu'à une nappe phréatique de niveau sensiblement fixe.

### **II.2.5.5.Regards de visite**

La distance maximale entre deux regards visitables consécutifs ne devra pas dépasser 80 m.

Les changements de direction, de pente ou de diamètre devront être réalisés à l'intérieur même d'un regard de visite.

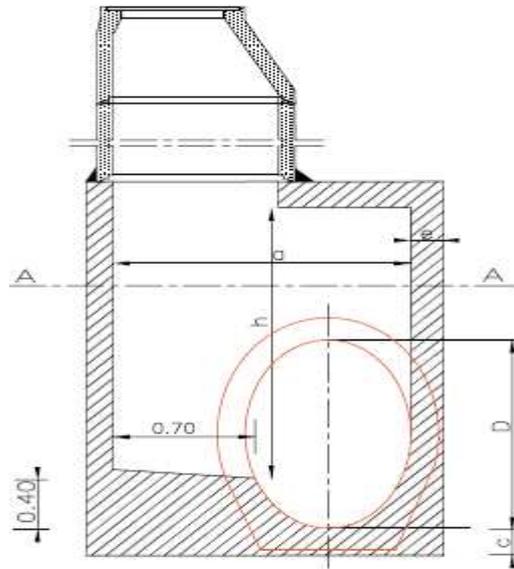
Les regards visitables seront de diamètre minimum 1000 mm et sans échelons. Tous les regards seront avec cunette intégrée à mi section du réseau et pente de 8%. Les regards de chute seront aménagés avec une banquette à 45°.

La qualité intérieure des regards devra être adaptée au transport d'eaux usées. Les fonds de regards en béton devront être à démoulage différé afin d'avoir un aspect intérieur lisse et sans bullage. Les joints entre éléments seront laissés apparents (pas de ragréage). Dans certains cas particuliers (risque d'H<sub>2</sub>S connu, proximité poste de refoulement, ...), un revêtement plus résistant pourra être exigé.

Les dispositifs de fermeture des regards seront en fonte ductile de classe minimum D400 trafic intense, de diamètre d'ouverture 600 mm et articulés série exploitation (ouverture 120° sans blocage à la fermeture). Ils seront conformes à la norme EN124. Les tampons à

remplissage ne sont pas admis, sauf contrainte architecturale importante. Tous les regards devront pouvoir être manipulés par une seule personne, le système d'ouverture devra donc être assisté si nécessaire (notamment tampons à remplissage).

Sur les zones sensibles au vol, des tampons verrouillés pourront être utilisés. Le système de verrouillage devra être pérenne dans le temps (choix matériel de visserie adapté). En aucun cas, les tampons ne seront soudés. [71]



Figure(II,13): Regard de visite de chute sur réseau d'eau usée.

## II.2.6. Curage et entretien des réseaux d'évacuation

### II.2.6.1. Curage

Le plus souvent, lors de la pose des conduites les pentes à prendre en considération ont pour but d'assurer l'autocurage du réseau. Le curage des égouts est toujours nécessaire, à des fréquences plus ou moins grandes. Une visite annuelle de toutes les parties visitables semble un minimum. Elle permet de se rendre compte également des nécessités éventuelles de curage des canalisations non visitables.

Le nettoyage manuel est de moins en moins employé. Il ne concerne plus que les regards de visite et les égouts visitables, où les sables peuvent être poussés avec un rabot et récupérés jusqu'à un des sableurs ou un regard. La sécurité du personnel d'entretien nécessite une bonne ventilation.

Enfin, il y a lieu de contrôler périodiquement la qualité des rejets des effluents à évacuer, certains pouvant détériorer les canalisations, en particulier dans les zones industrielles où, souvent, les fabrications évoluent.

### **II.2.6.2. Entretien et réparation**

L'entretien et la réparation des réseaux d'égouts, à part les parties visibles, regards, chasses, postes de relèvement, posent des problèmes délicats à résoudre pour les canalisations inaccessibles. Les points défectueux sur un tronçon donné, tuyau de branchement pénétrant dans l'égout, joint cassé, racines, obstacles divers, peuvent être décelés par une visite à la caméra. Ensuite la réparation peut être entreprise, soit à fouille ouverte, soit parfois de l'intérieur, par exemple par injection de gels à base de résines polyuréthanes ou acryliques. Il peut y être incorporé un peu de sulfate de cuivre quia un effet antiracines. Cette injection se fait autour d'un point d'infiltration.

Pour interrompre la circulation de l'eau sur le tronçon concerné, des ballons ou tampons obturateurs gonflables peuvent être utilisés. Une réhabilitation complète des tronçons de conduite peut être entreprise sans l'ouverture d'une tranchée en introduisant par un regard :

- soit un tubage en éléments de chlorure de polyvinyle, mais ils réduisent la section de la canalisation.
- soit un chemisage avec polymérisation et thermodurcissement d'une résine imprégnant une gaine en feutre (épaisseur de 3 à 20 mm suivant le diamètre).

### **II.2.6.3. Recherche des fuites**

Les recherches de fuites sont généralement entreprises après la constatation de désordres dans les propriétés riveraines, soit par inondation ou humidification des sous-sols, soit plus rarement par attaque des fondations. Elles peuvent également être nécessaires pour constater l'étanchéité des conduites, en vue d'une réception de travaux ou de protection d'une nappe alluviale, par exemple à proximité d'un captage.

La détection de l'existence éventuelle de fuites peut se faire simplement par la mesure des débits amont et aval sur un tronçon suspect, après interruption des déversements intermédiaires. Elle peut aussi se faire par des méthodes volumétriques (fluorescéine) ou par la détection de radioisotopes. Mais la très courte demi-vie des produits employés dans ce dernier cas limite à 0,50 à 1 m l'épaisseur de sol à traverser par l'eau de la fuite.

La localisation exacte de la fuite peut se faire ensuite avec une visite de la canalisation à la caméra, et la réparation peut parfois être effectuée de l'intérieur [73].

## **Partie 3: Procédés du diagnostic**

### **II.3.1.Introduction**

Le diagnostic d'un ouvrage est une étape importante dans le processus de sa réhabilitation. Il permet avant tout de se prononcer sur son état de fonctionnement et de voir quelles sont les éventuelles pathologies ainsi que leur ampleur [74]. Une telle inspection permet de déceler d'éventuels désordres. Quand un désordre est constaté, des investigations permettent de recueillir des informations de nature à l'expliquer. L'interprétation de ces informations constitue le diagnostic.

La pose d'un diagnostic est une affaire de spécialiste qui nécessite le recours à des techniques d'investigation in situ et également à des essais de laboratoire. L'objectif ultime du diagnostic est d'émettre un avis technique quant à la méthode de protection et de réparation des structures en béton [75]

### **II.3.2. Critères de Choix des investigations**

La formulation d'un diagnostic nécessite donc la mise en place d'un programme d'investigations permettant d'accéder à des informations latentes. Le choix des investigations est réalisé par le biais de cinq critères :

#### **II.3.2.1 Les besoins du gestionnaire**

Le gestionnaire de l'ouvrage peut rencontrer trois situations :

- Il souhaite connaître l'état de son ouvrage à un instant donné. Il s'agit donc de réaliser un « bilan de santé » à titre préventif.
- Dans le cadre de la surveillance, des désordres qui affectent le niveau de service ont été détectés sur un ouvrage. Avant d'engager des travaux, le gestionnaire souhaite donc connaître l'origine de ces désordres pour définir des solutions de traitement adaptées.
- Dans le cadre de la surveillance, des désordres ont été détectés sur un ouvrage. Ils n'affectent pas le niveau de service mais leur origine n'est pas connue, ni leur ampleur, et le gestionnaire souhaiterait connaître leur niveau de gravité et éventuellement leur potentiel d'évolution.

### **II.3.2.2 La fiabilité du dossier d'ouvrage**

Il est indispensable de disposer d'un dossier d'ouvrage afin d'avoir :

- Les éléments de dimensionnement (notes de calculs, charges d'exploitation, ...etc.).
- Les plans de récolement ou à défaut les plans d'exécution,
- L'historique des changements des conditions d'exploitation (évolution du niveau de service de l'ouvrage, dragage, surcharges, rehaussement du quai, ...etc.).
- Les opérations d'entretien avec leurs périodicités,
- Les réparations, ...etc.

Le dossier d'ouvrage est un document vivant qui doit être mis à jour régulièrement.

### **II.3.2.3 Le type d'ouvrage**

La typologie de l'ouvrage s'appuie en premier lieu sur l'identification de la structure.

L'objectif est de déterminer :

- Le fonctionnement mécanique et hydraulique de l'ouvrage.
- Le matériau constitutif de la structure, béton armé, béton précontraint, de métal [76].

### **II.3.2.4 L'environnement de l'ouvrage**

L'étude porte également sur l'environnement dans lequel se trouve l'ouvrage car certains désordres y sont parfois directement liés. C'est ainsi fréquemment le cas pour les structures soumises à des attaques chimiques [77].

### **II.3.2.5 La nature et l'ampleur des dégradations**

La connaissance de l'évolution et l'ampleur des dégradations (par exemple corrosion, éclatement, déplacements, déformations, ...etc.) permet d'affiner l'expertise et de relier certains désordres à des événements précis. Cette connaissance permet, aussi de nous orienter vers les moyens d'investigations adéquates [76].

## **II.3.3. Type d'Investigations**

### **II.3.3.1. Investigations non destructives**

#### **▪ Inspection visuelle du site**

L'étape essentielle d'un bon diagnostic est une bonne reconnaissance générale de l'ouvrage.

Lors de l'inspection visuelle du site, l'expert de diagnostic-béton est en mesure de distinguer les parties saines et dégradées, de comprendre la structure et d'identifier les points forts et les

points faibles, de repérer les zones significatives pour la mise en œuvre de techniques d'inspection et la localisation des prélèvements.

La reconnaissance permet d'orienter les phases suivantes d'investigation. A ce stade, les zones les plus significatives et les plus représentatives sont circonscrites : inutile de se concentrer là où sont les dégâts les plus évidents. L'objectif du diagnostic est d'amener à une réparation des endroits endommagés, mais aussi de protéger ceux qui ne le sont pas.

L'inspecteur doit également suggérer toutes les mesures de sécurité en cas de risque d'affaissement structurel en vue de protéger les usagers et tiers [78].

▪ **Mesure d'auscultation sonique du béton :**

Ces mesures visent à caractériser l'état d'altération et l'homogénéité physique du béton composant les structures d'un ouvrage [79].

En effet, cette méthode de diagnostic permet entre autres de localiser des défauts, des vides ou autres malfaçons dans le béton. Le principe est que les lames d'air emprisonnées dans le matériau transmettent très peu l'énergie des ultrasons, ainsi, la vitesse mesurée sur l'ensemble de l'élément sera plus faible que pour un béton homogène.

La méthode consiste à mesurer la vitesse de propagation d'ultrasons traversant le matériau à l'aide d'un générateur d'ondes et d'un récepteur.

Globalement, plus la vitesse de propagation est élevée et les incertitudes faibles, plus le matériau est de bonne qualité, à savoir homogène

Tableau (II, 1) : Classification du béton en fonction des vitesses de propagation des ultrasons [80].

Vitesse de propagation du son (m/s)	Classification
$V > 4500$	Excellent
$3650 < V < 4500$	Bon à Très bon
$3050 < V < 3650$	Douteux
$2000 < V < 3050$	Pauvre
$0 < V < 2000$	Très pauvre

▪ **Essai sclérométrique [81]:**

L'essai au scléromètre est destiné à mesurer la dureté superficielle du béton pour évaluer l'homogénéité surfacique de sa qualité sur un ouvrage.

Il consiste à projeter une masse donnée contre un parement par l'intermédiaire d'un ressort. La réaction résultant du choc donne l'indice sclérométrique qui est corrélé en fonction de l'inclinaison de la surface

Cet essai est peu coûteux, simple et rapide mais ne peut être utilisé que de manière qualitative sur des bétons anciens, de nombreux paramètres influençant le résultat (carbonatation par exemple). La corrélation empirique entre l'essai sclérométrique et la résistance à la compression du béton n'est alors en effet pas significative.



Photo (II,3): Scléromètre

▪ **Mesures pachométriques [77]:**

La méthode est basée sur la mesure des perturbations créées par la présence d'un objet métallique placé dans un champ électromagnétique (courant alternatif sinusoïdal ou courant pulsé). Lorsque l'appareil (pachomètre) est situé à l'aplomb d'une armature, il analyse le signal reçu et calcule, selon le type de matériel utilisé, l'enrobage et/ou le diamètre de l'acier.

Deux types de mesures peuvent être réalisés:

• Les fenêtres de détection :

Elles consistent à faire une série de mesures verticales et horizontales dans des carreaux dimensions reconnues par l'appareil. Celui-ci est alors capable de synthétiser l'ensemble des données ainsi récoltées pour fournir une cartographie des aciers présents dans la zone du carré comme la montre la figure (II, 14)

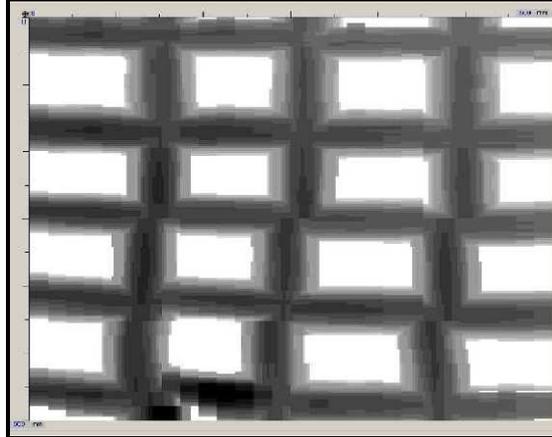


Figure (II, 14) : Exemple de fenêtre de détection des armatures dans une dalle.

- Les lignes de détection:

Elles sont réalisées en déplaçant l'appareil de manière continue le long d'un élément de structure. A chaque passage au droit d'une armature perpendiculaire à la direction de déplacement, le capteur détecte la présence d'un acier. Par exemple, lors de l'investigation d'une poutre en béton armé, cette technique permet de déterminer l'espacement des cadres ainsi que leur enrobage la figure (II, 15).

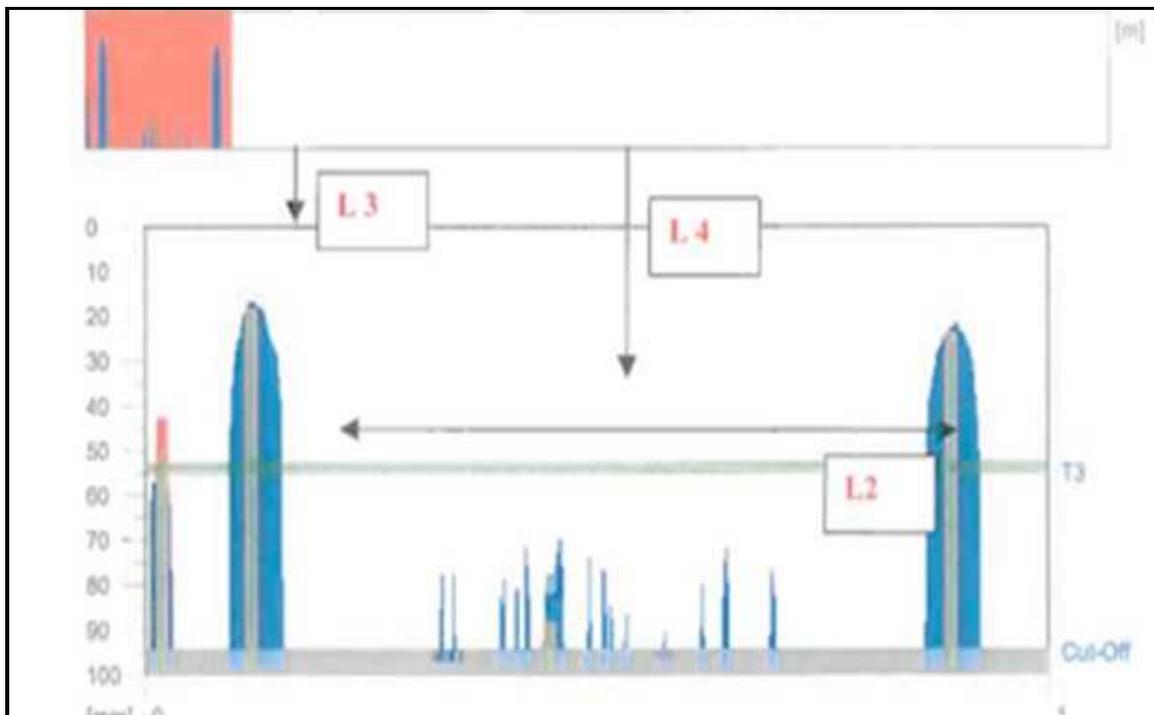


Figure (II, 15): Exemple d'une ligne de détection des cadres dans une poutre en béton armé

Les mesures pachométriques sont utilisées pour déterminer ou vérifier le ferrailage d'un élément en béton armé et ce, de manière non destructive. Dans la pratique, ces mesures sont toujours couplées à un sondage destructif pour étalonnage (validation du diamètre, de l'enrobage) et déterminer la nature de l'acier.

- **Pose de capteurs (fissuromètres):** ils permettent de suivre l'évolution de la fissuration. Parfois le béton présente des fissures ou des gonflements dont on souhaite connaître l'évolution.



Photo (II, 4): Fissuromètre.

La pose de capteurs permet de suivre l'évolution de ces fissures dans le temps.

### II.3.3.2. Investigations destructives

Le prélèvement constitue une phase délicate du diagnostic du béton. Le nombre et le type d'échantillons sont choisis en fonction des données fournies par l'inspection du site et par le type d'analyse à effectuer en laboratoire.

Les échantillons ne sont pas strictement représentatifs des zones les plus saines, ni des zones les plus dégradées. Les échantillons sont choisis, par un inspecteur expérimenté, pour la représentativité des phénomènes de dégradation [82].

**▪ Carottages :**

La réalisation de carottages dans les structures en béton armé a pour objectif de faire des prélèvements d'échantillons de béton en vue d'analyses pour déterminer ensuite :

- ses propriétés mécaniques (résistance à la compression) ;
- ses caractéristiques physicochimiques (masse volumique apparente, porosité, analyse chimique avec dosage en ciment, pourcentage en chlorures, etc.).
- ses altérations (analyses microstructurelles pour la détermination de pathologies et/ou de composés délétères (carbonatation, pollution en chlorures, microscope électronique à balayage MEB...)

Ces carottages sont réalisés dans des zones exemptes d'armatures où le béton ne travaille pas en compression, pour ne pas porter atteinte à l'intégrité de la structure.

**II.3.4. Analyse en laboratoire**

Les échantillons prélevés sont soumis à des analyses de laboratoire qui viennent en complément des essais réalisés in situ. Les techniques les plus fréquemment mises en œuvre sont :

- la mesure de la profondeur de carbonatation : elle est mesurée à l'aide d'un indicateur de pH : phénolphtaléine ou alizarine qui virent respectivement de l'incolore au rouge et du rouge au pourpre.
- l'analyse microscopique : elle permet l'identification des composants et de leurs proportions initiales, une estimation du rapport E/C, la mise en évidence de réactions secondaires (carbonatation, sulfates, alcali-granulats) et de rendre compte de certaines agressions chimiques.
- des essais mécaniques : des facteurs tels que la porosité de surface ou à cœur et l'absorption d'eau sont des renseignements utiles pour cerner les mécanismes mis en jeu dans la détérioration des bétons.
- des essais chimiques : le dosage des chlorures permet souvent d'expliquer la dégradation des armatures pour des ouvrages soumis aux sels de déverglaçage ou dans un environnement marin.

Le dosage du ciment permet a posteriori de reconstituer la composition du béton [78].

### II.3.5. CONCLUSION

L'objectif final du diagnostic est de proposer en connaissance un avis sur les principes qui doivent guider les chercheurs, les bureaux d'études dans leurs choix de méthode de protection et de réparation des structures en béton pour obtenir des ouvrages durable. Les solutions de réhabilitation proposées peuvent avoir trait à :

- protection contre toute pénétration
- contrôle du taux d'humidité
- restauration du béton
- renforcement structural
- augmentation de la résistance physique
- résistance aux produits chimiques

Dans tous les cas, la réalisation d'un bon diagnostic est un investissement permettant une meilleure durabilité des bétons.

## **Chapitre III : DIAGNOSTIC DE LA GALERIE D'ÉVAUATION DE TOUGGOURT**

### **III.1.OBJECTIF**

L'objectif du diagnostic de la galerie d'évacuation de Touggourt étant de fournir des informations sur son état et sa pérennité, les investigations effectuées ont pour but de réaliser, à partir d'une série de mesures sur site et d'analyses en laboratoire, un diagnostic qui comporte :

- ✓ l'état du béton.
- ✓ Recensement de tous signes d'altération d'origine physico-chimique.
- ✓ Méthodes à suivre pour la réparation et la réhabilitation de l'ouvrage en fonction des résultats obtenus.

### **III.2. Historique de la galerie d'évacuation de la ville de Touggourt :**

La galerie d'évacuation de la ville de Touggourt est un ouvrage souterrain destiné à l'évacuation des eaux usées. Son caractère souterrain est dû à la combinaison de trois conditions:

- Son mode de fonctionnement (évacuation des effluents par voie gravitaire).
- Son emplacement sous voirie pour des raisons légales (éviter l'expropriation).
- Un souci d'hygiène (cacher l'insalubrité).



Photo (III, 1): Position géographique de la galerie visitable [83]

La photo (III, 1) présente l'ampleur de la galerie. En 1997, le premier avis d'appel d'offre pour la réalisation de la partie N°1 de la galerie a été lancé, et vu la difficulté des travaux en présence des eaux souterraines avec la fragilité du sol et la nouveauté de ce type des travaux, cette première partie d'une longueur de 650 ml et d'un coût total de : 63.426.807,14 DA a été réceptionnée qu'en décembre 2002 et mise en service en 2003 [84].

La deuxième partie sur une longueur de 1000 ml et d'un coût total de : 99.227.038,72 DA, réceptionnée en novembre 2006.

Alors que la troisième partie qui a une longueur de 1448 ml à consommer une somme de 169.420.878,90 DA, réceptionnée et mise en service en Avril 2012.

La longueur totale de la galerie et de 3098 ml avec un coût global de réalisation qui s'élève à 332.074.724,76 DA [80].

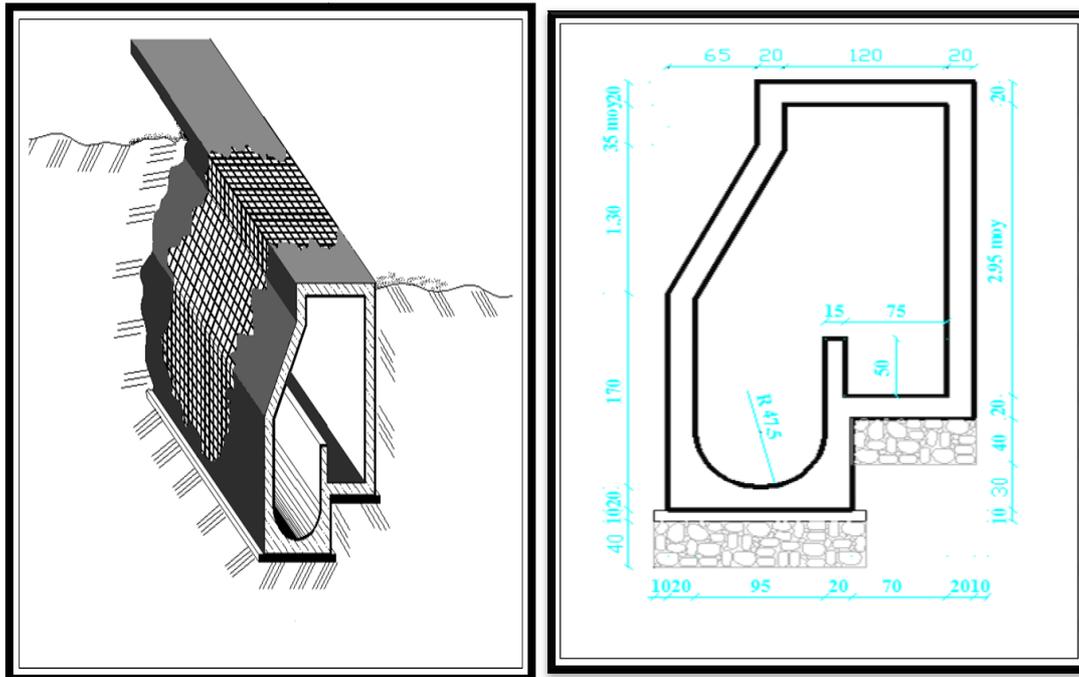


Figure (III, 1): Schéma en 3D et la section transversale de la galerie

Figure (III, 2): Coupe transversale de la galerie

Pour Les matériaux de construction utilisés lors de la réalisation de la galerie selon la subdivision de l'hydraulique de Touggourt le béton utilisé été à base de ciment CRS Ciment choisi pour offrir de meilleures performances en présence d'agents agressifs et en fonction du type d'attaque.

Les résultats des analyses chimiques du ciment CRS utilisé est donné sur le tableau (III, 1): ci-après :

Tableau (III, 1): Résultats des analyses chimiques du ciment CRS [85].

Désignation	Pourcentage
Perte au feu en (%)	0,50 à 3,0
Résidus insolubles en (%)	≤ 70
Teneur en sulfate $SO_3$ en (%)	1,80 à 2,20
Teneur en oxyde de magnésium $MgO$ en (%)	2,40 à 3,56
Teneur en chlorures (%)	0,01 à 0,05
$Na_2O$ équivalent	0,57 à 0,70

Le dosage du ciment est de 250 kg /m<sup>3</sup> pour le béton de propriété et de 350kg /m<sup>3</sup> pour le béton armé destiné pour les ouvrages hydraulique.

L'adjuvant utilisé est de type hydrofuge PLASTIENT BV40, dont l'incorporation se fait à faible dose (inférieure à 5 % de la masse de ciment) aux bétons et aux mortiers lors du malaxage ou avant la mise en œuvre [80].

Le sable de construction utilisé provient du sablier de Sidi-Slimaine situé à 25 Km au nord de la ville de Touggourt, dont les caractéristiques sont données au tableau (III, 2) :

Tableau (III, 2): Résultats des analyses de sable [80].

E.S (%)	E. M F(%)	Densité app.(g/cm <sup>3</sup> )	Densité abs (g/cm <sup>3</sup> )
89,00	2,11	1,67	2,66

-Le gravier utilisé en trois classe granulaire : (3÷ 8), (8÷ 15) et (15÷25) provenir de la station de concassage BEN BRAHIM se trouve à 130 km au sud de Touggourt vers Hassi Messaoud (RN3), leur caractéristiques sont données au tableau (III, 3) :

Tableau (III, 3): Résultats des analyses du gravier [80].

Los Anglos (%)	E. Micro Deval (%)	Densité app (g/cm <sup>3</sup> )	Densité abs (g/cm <sup>3</sup> )
30,00	22,00	1,32	2,30

Armatures : les aciers utilisés sont de haute adhérence ayant les diamètres qui varient entre ø6 jusqu'au Ø 40 dont les caractéristiques sont données au tableau (III, 4) :

Tableau (III, 4): Caractéristiques des aciers utilisés au ferrailage de la galerie [80].

Caractéristique	A haute adhérence (HA)
Dénomination	FeE400
Module d'élasticité longitudinal en (MPa)	Es = 200 000 MPa
Limite d'élasticité en (MPa)	Fe = 400
Carbone en (%)	0,15 - 0,19
Diamètres courant en (mm)	6-8-10-12-14-16-20-25-32-40

### III.3.INVESTIGATION SUR SITE

Les différentes observations présentées ont été réalisées lors des investigations sur site

#### III.3.1. Relevé général des désordres

La majorité des désordres relevés affecte principalement la partie non immergée située à l'intérieur de la galerie, dans ce qui suit, nous présentons en premier lieu par des photos l'état actuel de la galerie organisé par type de désordre à savoir l'épaufrure, fissuration, infiltration d'eau, détérioration par effet mécanique et intervention illicite des citoyens sur la galerie.

##### a- Epaufrures

Le béton de la galerie présente certain nombre de cas d'épaufrure illustrée par les photos ci-après :



Photo (III, 2): Détail d'épaufrure et d'éclatement de béton.



Photo (III, 3): Illustration des éclatements sur mur.



Photo (III, 4): Détail d'une forte corrosion des aciers corrodé et du tampon.



Photo (III, 5): Détail d'une forte réduction de section des aciers corrodé.

Les photos (III, 2) et (III, 3), montre l'état d'épaufrure ayant des longueurs variables, avec mise à nu des armatures, qui, selon les cas, apparaissent très corrodées tel que montré par la Photo (III, 4) et la photo (III, 5).

### **b- Fissuration**

La fissuration enregistrée sur le béton est illustrée par les (Photo III, 6) et (Photo III, 7) :



Photo (III, 6): Illustrations de fissuration horizontale -voile –



Photo (III, 7): Illustrations de fissuration verticale - l'entrée du couloir-  
Des fissurations, d'ouvertures plus ou moins importantes, verticales et horizontales.

### **c-Infiltration**

Les infiltrations qui ont été enregistré dans la galerie sont illustrées par la photo (III, 7) ci-après :



Photo (III, 8): Infiltration des eaux de la nappe et aspect de corrosion



Photo (III, 9): Illustration de l'infiltration d'eau de la nappe phréatique à la galerie.

Selon les photos précédentes on note la présence d'infiltrations d'eau de la nappe phréatique au niveau de la partie inférieure latérale de la galerie avec l'apparition de taches de rouille.

#### **d- Détérioration par effet mécanique**

La détérioration par effet mécanique est due à la circulation des véhicules sur les traversés de la galerie ou sur les parties qui sont directement sous chaussées, ce genre de détérioration est illustré par la photo (III, 10).

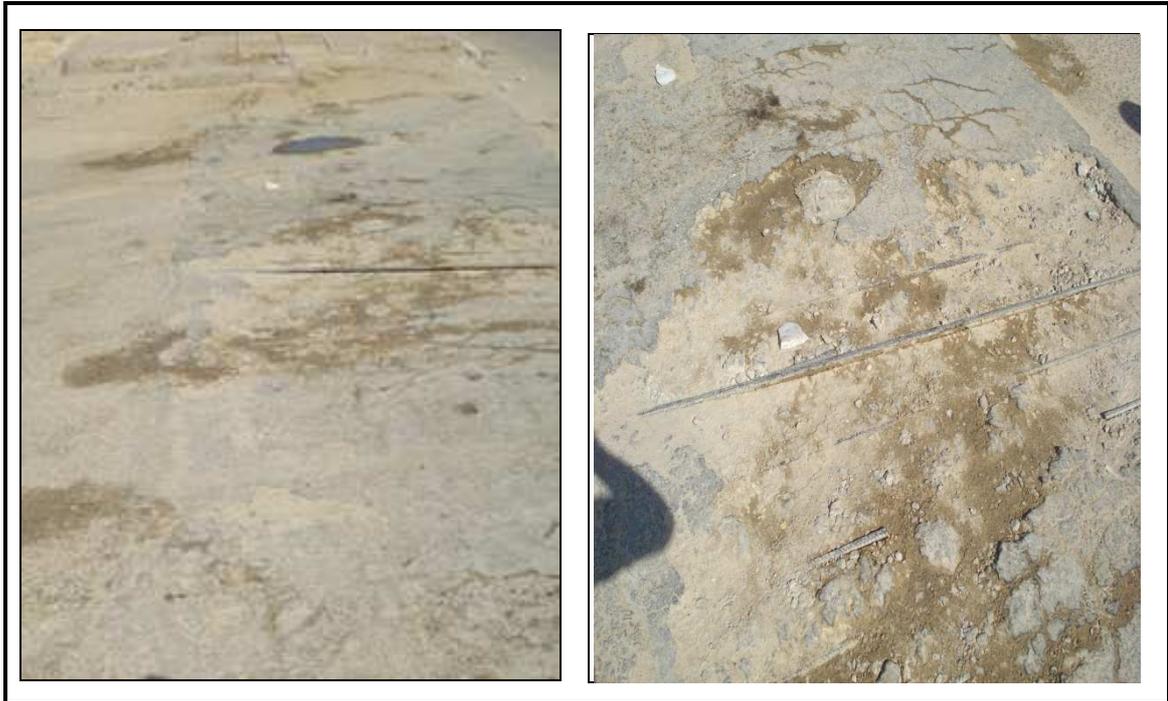


Photo (III, 10): Détérioration apparente de la partie supérieure de la dalle de la galerie au niveau de la traversée de route par apparition de fissures.

Sur la dite photo (Photo III, 10), nous notons la détérioration assez claire de la dalle au niveau de la partie en contact direct avec le trafic routier dû aux passages des véhicules sur ce tronçon de la galerie.

#### **e-Intervention illicite des citoyens sur la galerie**

L'intervention illicite des citoyens sur la galerie influe défavorablement sur celle-ci ce genre d'actions est illustré par la photo (III, 11).

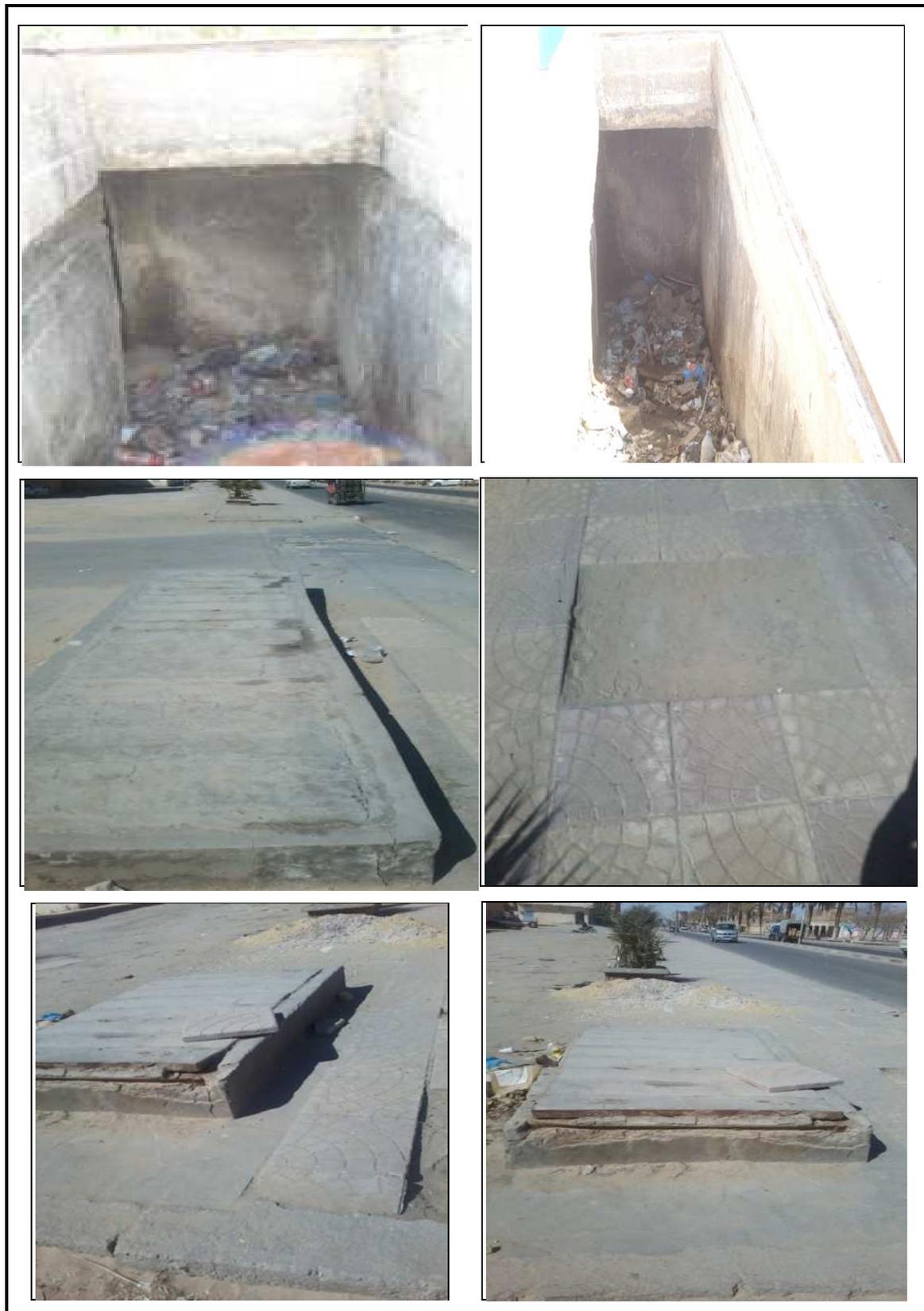


Photo (III, 11): Fermeture de tous les passages des entrées de visite.

D'après la photo (III, 11), nous remarquons que les réservations de la galerie sont obstruées par les citoyens ennuyés par les odeurs qui proviennent des ouvertures liées au canal. Ainsi, la ventilation de la galerie est stoppée ce qui fait augmenter la pression des gaz engendrés par la fermentation des déchets ménagères organiques.

### III.3.2. Essai de dureté de surface au scléromètre

Cet essai a été effectué sur site, ayant pour objet de déterminer la dureté de la surface des éléments de galerie, elle repose sur la norme NF EN 12504-2 [85] qui spécifie une méthode permettant de déterminer l'indice de rebondissement d'une surface de béton durci, à l'aide d'un marteau en acier projeté par ressort.

#### III.3.2.1. Mode opératoire :

Le mode opératoire de l'essai est le suivant :

- ✓ Placer la sonde à l'endroit de la mesure,
- ✓ Presser l'appareil contre l'élément à ausculter jusqu'au déclenchement de la projection de la bille,
- ✓ Presser le bouton poussoir, tout en maintenant le bouton poussoir enfoncé, relâcher la pression exercée sur la sonde,
- ✓ La sonde reste bloquée, relâcher le bouton poussoir,
- ✓ Noter l'indice sclérométrique,
- ✓ Effectuer cette mesure 12 fois sur la zone d'ouvrage testé.

Chaque zone testée prend au moins une douzaine de lectures de l'indice sclérométrique ( $I_S$ ) de la même façon d'application de la masselotte chargée, puis éliminer les lectures extrêmes supérieures et inférieures et calculer l'indice sclérométrique comme étant la moyenne selon la relation:

$$I_{Smoy} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{Si}}{n} \quad \text{(III-1)}$$

Avec :

$I_{Smoy}$  : Indice sclérométrique moyen.

$I_{Si}$  : Indice sclérométrique de chaque lecture sans unité.

$n$  : Nombre des lectures des indices sclérométrique.

La figure (III, 3) suivante présente la courbe de la résistance à la compression ( $\sigma$ ) en fonction de l'indice sclérométrique moyen ( $I_{S moy}$ ) relative à la marque utilisé.

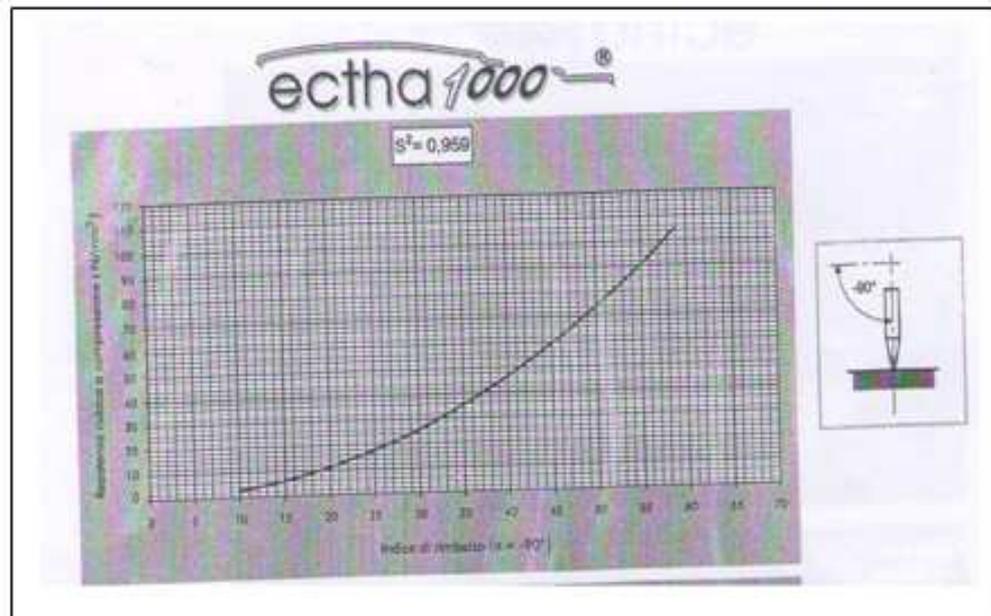


Figure (III, 3): Résistance de compression ( $\sigma$ ) en fonction de l'indice sclérométrique moyen ( $I_{S moy}$ ) pour un angle d'application de  $-90^\circ$ .

Les résultats de l'auscultation dynamique à l'aide du scléromètre effectués au niveau de la galerie sont présentés sur l'histogramme de la figure (III, 4).

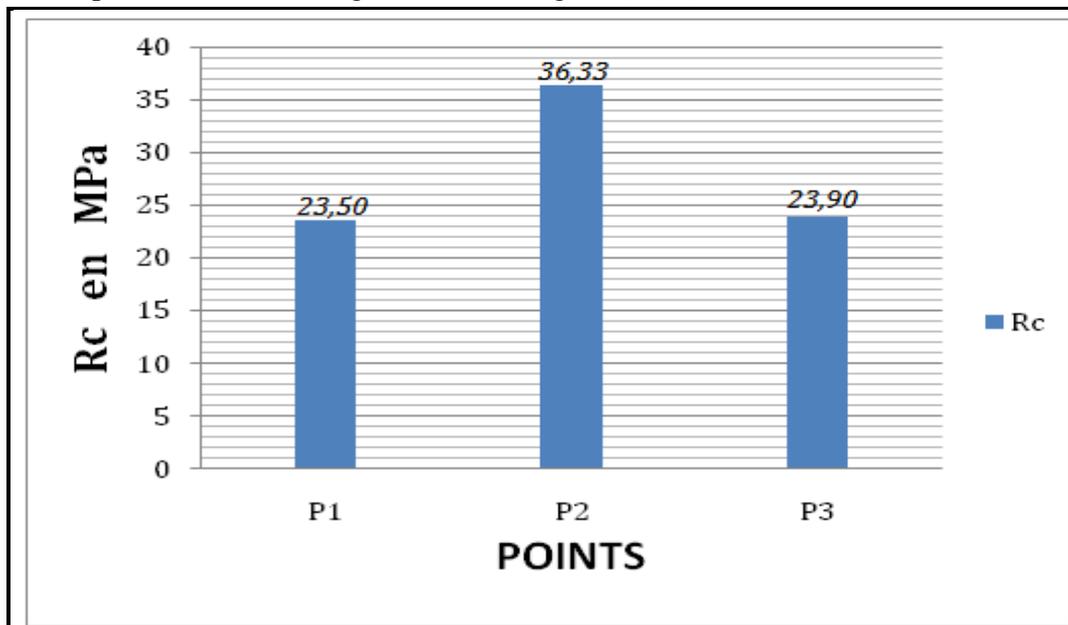


Figure (III, 4) : Histogramme de la résistance à la compression de la galerie.

D'après la figure (III, 4), nous constatons que les résistances mécaniques diminuent sensiblement avec l'intensité des dégradations, (Point 01 et Point 03). Ceci s'explique par le

fait que les mesures sclérométriques caractérisent l'état de surface du béton.

### III.4.ESSAIS PRATIQUES ENVISAGES

#### III.4.1.Prélèvements de carottes in-situ

##### III.4.1.1. Objet et domaine d'application

Certains essais destinés à analyser les modifications des propriétés du béton ainsi que l'ampleur de dégradation ne peuvent être réalisés in situ. Pour cela, nous avons prélevé des échantillons sur le lieu (des carottes) et nous les avons rapportés au Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTP Sud Unité de Ouargla) pour effectuer les essais de laboratoire.

La photo (III, 12) montre les outils relatifs aux moyens utilisés dans l'opération de carottage.



Photo (III, 12):Prélèvement des échantillons de la galerie.

### III.4.1.2. Choix de la zone de prélèvement :

Le choix des zones de prélèvement ainsi que du nombre de prélèvements est fonction des caractéristiques que l'on veut mettre en évidence. Une zone saine sera choisie pour servir de référence. Une zone dégradée permettra de quantifier les propriétés résiduelles du béton ainsi que la profondeur atteinte par les dégradations.

La figure (III, 5) montre les différentes positions des carottages sur un schéma en 3D, cependant La figure (III, 6) montre la localisation des points de carottages sur les trois tranches de la galerie

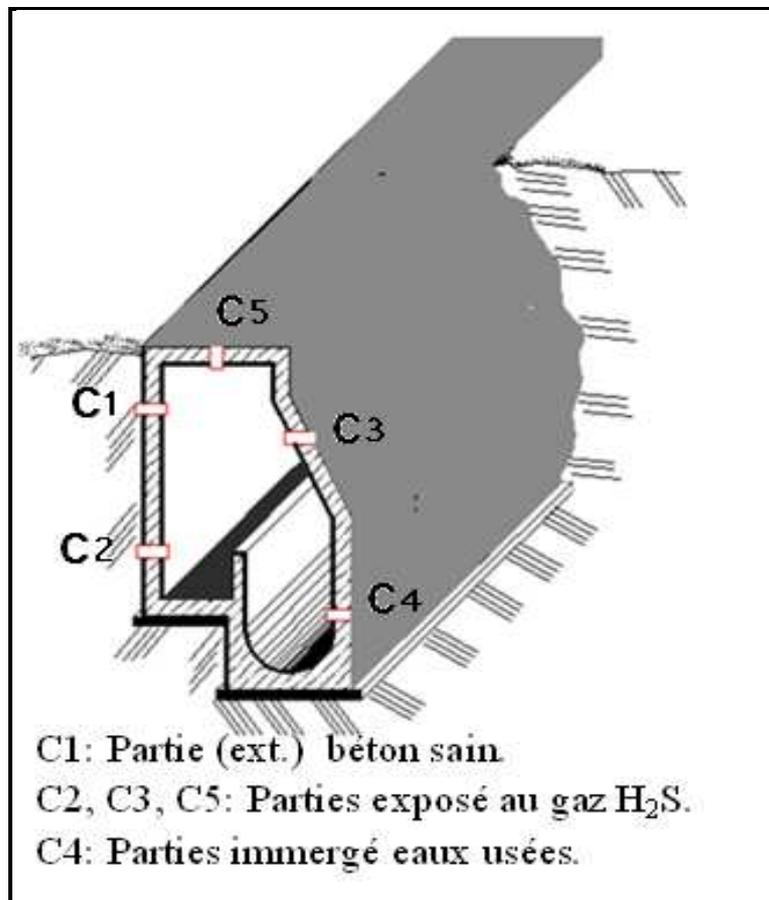


Figure (III, 5):Schéma des différentes positions des carottages dans le couloir de la galerie.

Notons que le carottage ne doit pas porter atteinte à la stabilité ou à la résistance structurelle de l'ouvrage.



Figure (III, 6) : Localisation des carottages sur l'ensemble de la galerie.

Car A : Carottage A (Partie N° 1 de la galerie) en face de l'APC de Tebesbest, nombre des carottes 4 ( $2C_1 + 2C_2$ ).

Car B: Carottage B (Partie N° 1 de la galerie) Station Naftal route El-oued, nombre des carottes 4 ( $3C_4$ ).

Car C: Carottage C (Partie N° 1 de la galerie) en face stade Tebesbest, nombre des carottes 4 ( $2C_1 + 2C_2$ ).

Car D: Carottage D (Partie N° 2 de la galerie) Prés du la maternité de Touggourt, nombre des carottes 4 ( $4C_3$ ).

### III.4.1.3. Dimensions des carottes :

Les dimensions minimales des carottes sont fonction des essais auxquels elles sont destinées. Pour les essais mécaniques le diamètre doit être au moins égal à 3 D (D = dimension du plus gros granulat). Un élanement de 2 est souhaitable.

### III.4.1.4. Stockage des éprouvettes

Le stockage des carottes est conforme à la norme NF EN 12504-1 [86]. Les carottes doivent être protégées contre la dessiccation et pour ce faire, elles sont mises dans un sac en plastique fermé à chacune de ses extrémités.

## III.4.2. Caractérisation du béton

### III.4.2.1. Mesure de la profondeur de carbonatation

La profondeur de carbonatation a été mesurée par aspersion d'une solution de phénolphthaléine sur des fractures fraîches des échantillons de béton. Cette solution, qui est un indicateur de pH dont le virage se situe environ à 9, permet de différencier la zone non carbonatée colorée en rose (pH  $\approx$  13) et la zone carbonatée qui reste incolore (pH < 9). Cet essai a été effectué au laboratoire LTPS, et permet une mesure fiable et rapide de la profondeur de carbonatation des carottes de béton.



Photo (III, 13): Front de carbonatation révélé par le test à la phénolphthaléine.

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau (III, 5) ci-dessous, et illustrés par La photo (III, 13).

Tableau (III, 5): Profondeurs de carbonatation des bétons

N° Echant.	Localisation	Côté	Profondeur de carbonatation (mm)
C1 <sub>1</sub>	Partie haute (voile)	Intérieur	41
C1 <sub>2</sub>	Partie haute (voile)	Extérieur	12
C3 <sub>1</sub>	Partie haute voûte	Intérieur	36
C3 <sub>2</sub>	Partie haute voûte	Extérieur	18
C4 <sub>2</sub>	Partie immergée (E.U)	Intérieur	6
C4 <sub>3</sub>	Partie immergée	Extérieur	1

Ces résultats montrent que la profondeur de carbonatation est variable, et elle est en relation avec les conditions d'exposition du béton :

- Béton de la partie haute:
  - La profondeur de carbonatation est comprise entre 36 et 41 mm pour les échantillons C1 et C35 (exposés au gaz).
  - La profondeur de carbonatation est comprise entre 12 et 18 mm pour les échantillons du côté extérieur, probablement en raison d'une exposition à l'humidité différente.
- Béton de la partie immergée:
  - La profondeur de carbonatation est très limitée du côté intérieur en contact avec les eaux usées et au côté extérieur, où en remarque la moindre exposition au CO<sub>2</sub>.

De ce qui précède, on constate que le front de carbonatation à l'intérieur de la galerie au niveau des parties exposées au gaz est supérieur aux épaisseurs d'enrobage des armatures (enrobage de 3 cm). et que la pénétration du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) à l'intérieure des pores du béton de la partie haute ou la partie exposé au gaz H<sub>2</sub>S est plus élevé par rapport à la partie immergée, vu l'importance de la concentration de gaz H<sub>2</sub>S évaluée à 12 ppm, favorisée par le fait que la galerie est fermée et de faible aération, et aussi d'humidité relative plus élevée, ce qui explique la diffusion de gaz carbonique sous forme d'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) à l'intérieure des pores du béton de la galerie et la formation des carbonates de calcium (CaCO<sub>3</sub>), puis la diminution de pH du béton.

#### III.4.2.2. Mesure de la résistance à la compression :

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme NF EN 12390-3[87], au laboratoire étude et contrôle (LEC) Ouargla, sur des éprouvettes confectionnées à partir des

carottes prélevées sur l'ouvrage. Les faces latérales ont été surfacées au soufre. Les mesures ont été effectués par le positionnement des éprouvettes cylindriques au centre du plateau inférieur avec une précision de + 1 % du diamètre, puis appliquer une charge qui s'accroît de façon continue et sans choc avec une vitesse constante, dans le sens perpendiculaire de son axe longitudinal, jusqu'à la rupture de l'éprouvettes.

Cet essai a été effectué par l'utilisation d'une presse (CONTROLS 1500 KN), comme la montre la photo (III, 14).



Photo (III, 14): Presse CONTROLS pour l'essai de compression.

La résistance de compression du béton est donnée par la formule suivante :

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (\text{III-2})$$

Où :

$f_c$  : Résistance en compression, exprimée en MPa soit (N / mm<sup>2</sup>).

F : Charge maximale, exprimée en Newtons.

$A_c$  : Aire de la section (mm<sup>2</sup>) de l'éprouvette sur laquelle la force (f) est appliquée.

L'histogramme de la figure (III, 07) présente les résultats de la résistance à la compression des carottes du béton exposé au gaz H<sub>2</sub>S et celle du béton immergé dans les eaux usées.

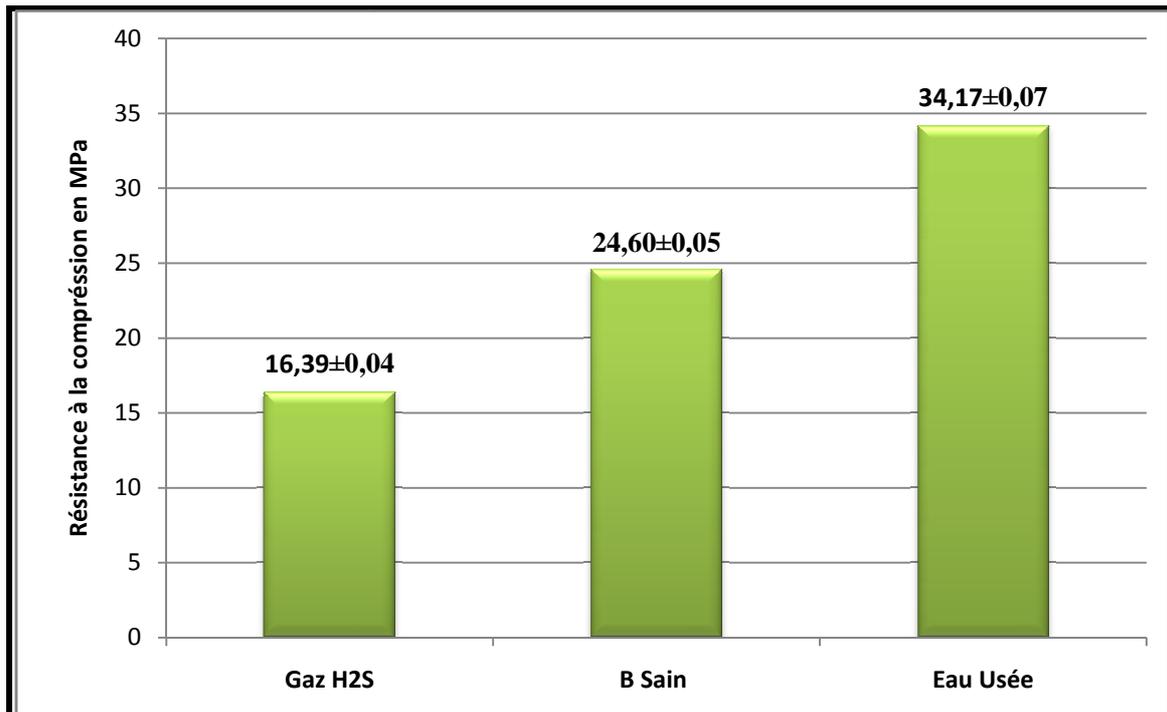


Figure (III, 07) : Histogramme des résultats de la résistance à la compression.

D'après la figure (III, 07), nous remarquons que la résistance à la compression des carottes prélevées de la partie immergée dans les eaux usées est plus élevée que celle des carottes prélevées de la partie exposée au gaz H<sub>2</sub>S ou celle de la partie saine.

Comparativement aux données initiales du béton fournis par le maître de l'ouvrage qui indique une résistance à la compression à 28 jours d'âge du béton de la galerie lors de sa réalisation de l'ordre 28 MPa, on peut constater que la résistance réelle au chantier est pratiquement inférieure à celle fournie par le maître de l'ouvrage ceci et peut-être dû aux conditions de réalisation courante de nos chantiers qui ne peuvent respecter les indications et prescriptions de contrôle et du suivi stricte stipulés par les normes et exigences en vigueur.

D'autre part l'immersion du béton dans les eaux usées montre une augmentation de résistance qui dépasse même celle donnée par le maître de l'ouvrage, ce qui indique que les eaux usées constituent un milieu favorable à l'évolution de la résistance à la compression.

En contre partie, le gaz H<sub>2</sub>S lui montre une agression et menace assez élevée pour la résistance du béton à l'intérieur de la galerie.

Ces résultats montrent la dégradation accélérée du béton sous l'effet de gaz H<sub>2</sub>S à cause de la diffusion de ce dernier sous forme d'acide sulfurique puis la formation d'ettringite expansive et la formation des fissures superficielles. Ces fissures provoquent la diminution de la

résistance à la compression. Par contre la partie immergée présente une bonne résistance mécanique à cause d'hydratation continue du béton sous l'effet d'humidité, et la formation des couches protectrice qui empêcher la pénétration des agents agressifs conformément aux interprétations données par ROUX [65].

#### III.4.2.3. Mesure de la traction par fendage (ou essai Brésilien) :

Les essais de traction par fendage sur les carottes ont été effectués au laboratoire étude et contrôle (LEC), par le positionnement horizontal de l'axe de l'éprouvette cylindrique au centre des deux plateaux de la presse sur le bâti prévu à cet effet, éventuellement au moyen d'un gabarit de centrage le long des parties supérieures et inférieures du plan de chargement de l'éprouvette. Puis appliquer une charge de compression sur la zone étroite sans choc et de façon croissante continue avec une vitesse constante, jusqu'à la rupture de l'éprouvette selon la norme européenne NF EN12390-6 [88], comme la montre la photo (III, 15).



Photo (III, 15): Presse CONTROLS utilisé à l'essai de traction par fendage.

Cet essai a été effectué par l'utilisation d'une presse (CONTROLS 1500 KN). La résistance à la traction par fendage du béton est donnée par la formule suivante :

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi \times L \times d} \quad (\text{III-3})$$

Où :

$f_{ct}$  : Résistance à la traction par fendage en  $N/mm^2$

F : Charge maximale en Newton

L : Longueur de la ligne de contact de l'éprouvette en mm

d : Diamètre de l'échantillon en mm.

L'histogramme de la figure (III, 08) présente les résultats de la résistance de la traction par fendage des carottes en béton exposé au gaz  $H_2S$  et celle du béton immergé dans les eaux usées.

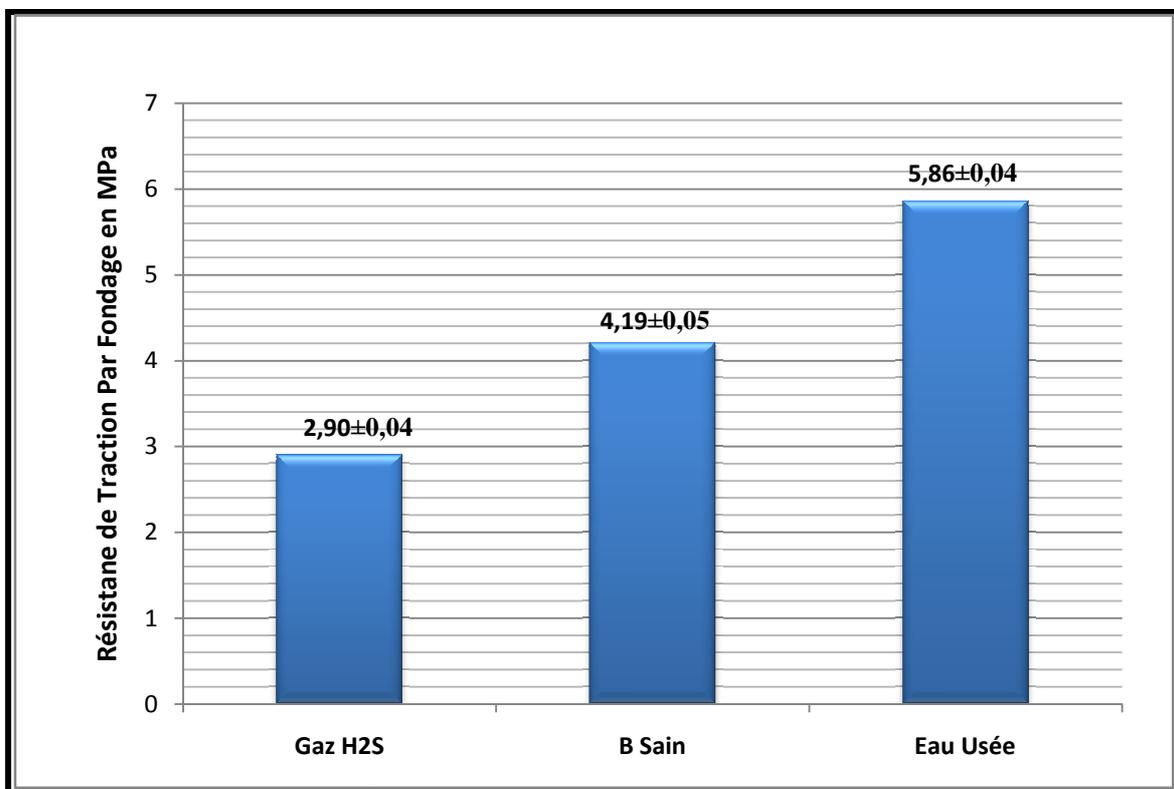


Figure (III, 08) : Histogramme des résultats de la résistance de traction par fendage

D'après la figure (III, 08), nous constatons que la résistance à la traction par fendage des carottes prélevées de la partie immergée dans les eaux usées est plus élevée que celle des carottes prélevées dans la partie exposée au gaz  $H_2S$  ou celle de la partie saine exposée aux conditions extérieures atmosphériques. Ces résultats confirment ceux relatifs à la résistance à la compression.

Ces résultats montrent l'effet positif des eaux usées sur le béton pour assurer l'hydratation continue en présence de l'humidité, puis la formation de couches protectrices sous formes de cristaux dans les pores superficielles du béton, qui donne une résistance à la compression plus élevée. Par contre les carottes de béton exposé au gaz H<sub>2</sub>S sont caractérisées par une résistance de traction assez faible à cause de la formation des fissures superficielle sous l'effet de pénétration d'acide sulfurique, conformément aux interprétations données par [65].

#### III.4.2.4. Mesure de la masse volumique:

La masse volumique du béton durci a été déterminée, selon la norme NF EN 12390 -7 [89]. On mesure le poids de l'éprouvette à l'air, puis dans l'eau, la différence des deux pesées en gramme correspond au volume de l'éprouvette en cm<sup>3</sup>.

La masse volumique du béton durci mesurée en moyenne des trois éprouvettes est donnée par la formule suivante :

$$D = \frac{m}{v} (\text{kg/m}^3) \quad (\text{III-4})$$

D : Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>).

m : Masse en (kg).

v: Volume en (m<sup>3</sup>).

Tableau (III, 6): Résultats de mesures de la masse volumique

Echantillons		P <sub>air</sub> (g)	P <sub>imm</sub> (g)	V(cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>b</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>b</sub> moy (g/cm <sup>3</sup> )
B immergé Eaux Usées	C4 <sub>2</sub>	546,62	308,55	238,07	2,296	2,284±0,05
	C4 <sub>3</sub>	553,85	309,9	243,95	2,270	
	C4 <sub>4</sub>	465,63	262,16	203,47	2,288	
Béton Exposé Gaz H <sub>2</sub> S	C2 <sub>2</sub>	593,25	327,58	265,67	2,233	2,223±0,04
	C3 <sub>2</sub>	592,2	324,1	268,1	2,209	
	C3 <sub>3</sub>	428,09	235,91	192,18	2,228	
Béton Sain	C1 <sub>3</sub>	666,86	369,26	297,6	2,241	2,230±0,05
	C1 <sub>4</sub>	369,41	202,9	166,51	2,219	

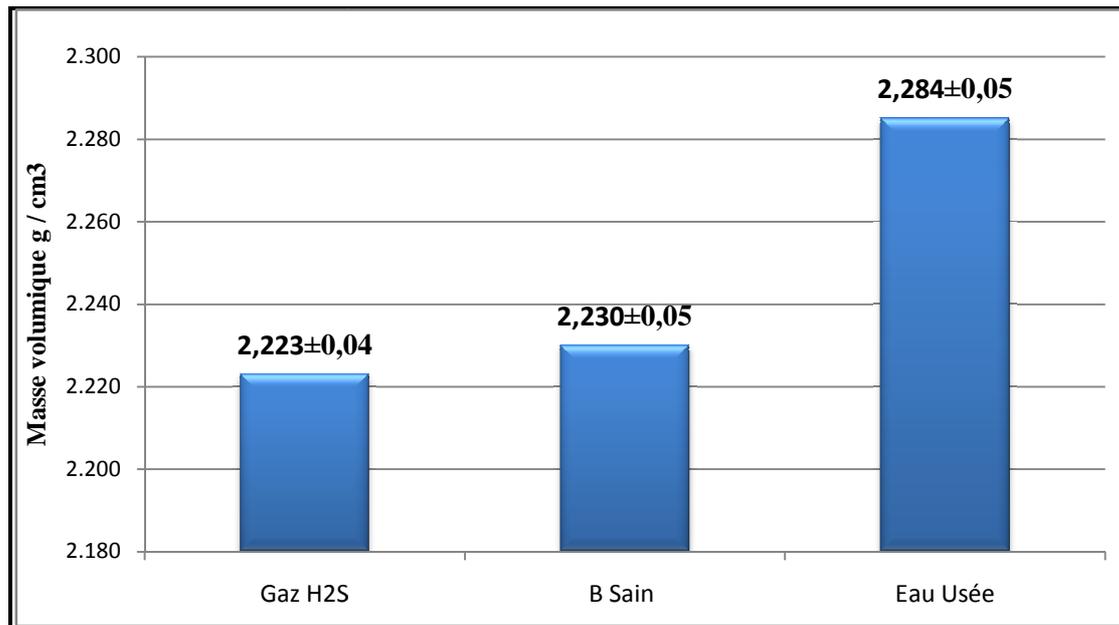


Figure (III, 09) : Histogramme des résultats de la masse volumique

Les résultats obtenus indiquent que les bétons ont des masses volumiques apparentes assez proches, la valeur de la masse volumique du béton de la partie immergée indique une compacité plus élevée comparativement à celle du béton sain ou celle du béton exposé au gaz H<sub>2</sub>S. D'autre part, le béton de la partie saine n'a pas pu développer sa compacité comparativement au béton immergé dans les eaux usées. Alors que le béton exposé au gaz H<sub>2</sub>S présente la compacité la plus faible.

A défaut d'humidité, le béton sain n'a pas pu développer sa compacité alors que le béton immergé a pu développer la sienne. Par contre cette humidité a favorisé le gaz H<sub>2</sub>S à dégrader davantage le béton notamment dans la partie non immergée.

#### III.4.2.5. Mesure d'auscultation sonore :

L'objectif de cet essai est d'obtenir le maximum d'informations sur la qualité des bétons par les méthodes d'auscultation sonore telles que décrite dans la norme EN 12504-4 de 2005 [90]. Cet essai est complété par des essais mécaniques classiques. Les paramètres mesurés sont la vitesse et l'atténuation sonore des ondes de compression (ondes longitudinales) se propageant dans le béton. La photo (III, 16) montre l'appareil de mesure d'auscultation sonore utilisé pour la réalisation de nos essais.



Photo (III, 16): Appareil de mesure d'auscultation sonore

Ces méthodes sont applicables aux contrôles non destructifs par ultrasons. Elles permettent de déterminer les caractéristiques mécaniques du milieu ausculté et d'apprécier l'homogénéité (en détectant des vides, délaminages et microfissurations), de caractériser un béton dont le rapport E/C est incorrect, ou ayant subi une modification structurelle.

Cet essai a été effectué au laboratoire étude et contrôle de Ouargla (LEC) sur des carottes en béton, la vitesse de propagation du son est calculée par la formule suivante :

$$v = \frac{d}{t} \text{ (m/s)} \quad \text{(III-5)}$$

Avec :

v: Vitesse de propagation d'onde sonore, exprimé en m/s.

t : Temps de propagation d'onde sonore, exprimé en  $\mu$  secondes.

d: Distance entre les transducteurs, exprimé en mètre.

L'histogramme de la figure (III, 10) présente les résultats de la vitesse de propagation des ondes sonique dans les carottes en béton exposé au gaz  $H_2S$  et celle des carottes en béton immergé dans les eaux usées ainsi que la partie saine du béton de la galerie.

Tableau (III, 7): Résultats de mesures de la vitesse du son

Echant.	Partie haute (voile)		Partie haute voûte		Partie immerger (E.U)	
	C11	C13	C1	C2	C42	C43
T (Temps $\mu$ s)	39,3	41,5	33,4	33,4	20,4	26,6
$\varnothing$ (cm)	7,4	7,4	7,4	7,4	9,7	9,7
L (cm)	15	15,3	14,3	13,8	9,52	12,7
Poid (g)	1490	1428	1372,69	1313,83	1614	2172
v	3817 $\pm$ 0,4	3687 $\pm$ 0,6	4281 $\pm$ 0,5	4131 $\pm$ 0,7	4667 $\pm$ 0,5	4774 $\pm$ 0,5

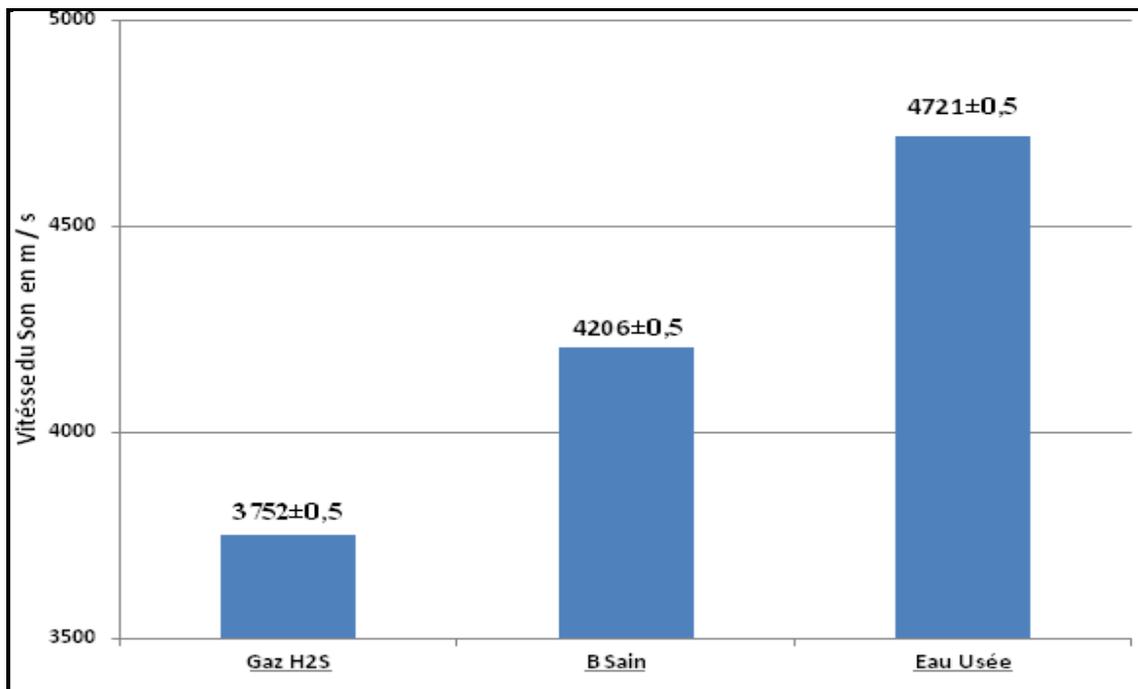


Figure (III, 10) : Histogramme des résultats de la vitesse du son des carottes

D'après la figure (III, 10), nous remarquons que la vitesse du son des carottes prélevées de la partie immergée dans les eaux usées est plus élevée que celle des carottes prélevées dans la partie exposée au gaz H<sub>2</sub>S ou celle du béton sain.

Ces résultats expliquent la masse volumique plus élevée du béton des carottes immergées dans les eaux usées par rapport aux carottes exposées au gaz H<sub>2</sub>S et par rapport aux carottes de la zone saine.

La porosité élevée des carottes exposées au gaz H<sub>2</sub>S revient à la pénétration des agents agressifs, puis la formation de fissures superficielles et l'augmentation de la porosité intérieure précédemment relatée comme expliqué dans la littérature.

Ces résultats expliquent l'état du béton suivant le milieu d'exposition où nous notons que le béton immergé aux eaux usées est d'un excellent état, et que le béton sain est classé en bon état, tandis que le béton exposé au gaz  $H_2S$  est d'un état douteux conformément aux classifications données par Lacroix [80].

#### III.4.2.6. Analyse chimique

Pour l'analyse chimique, nous allons aborder les essais chimiques nécessaires afin de caractériser les eaux usées, détermination des corps insolubles, détermination des sulfates, détermination des carbonates et la détermination des chlorures. Les outils utilisés et les étapes suivies sont résumés à la photo (III, 17).

##### a. Caractéristiques des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable et elle est reliée à leur origine (industrielle, domestique, ou autres...etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques.

Afin de déterminer la concentration des éléments agressifs, des prélèvements d'eaux usées brutes ont été effectués au niveau du rejet de la galerie vers le canal Oued Righ juste au passage busé traversant la RN 16, et où les analyses ont été faites au laboratoire ADE de la Wilaya de Ghardaïa. Les résultats des analyses chimiques des eaux usées sont présentés au tableau (III, 08).

Tableau (III, 08): Résultats d'analyse des paramètres de minéralisation globale.

Par.	Unit.	V.
T.H	mg/l	6400
$Ca^{+2}$	mg/l	472,94
T.A.C	mg/l	84
$K^+$	mg/l	30
$Na^+$	mg/l	625
$Cl^-$	mg/l	1418,12
$SO_4^-$	mg/l	1380
Conduct.	( $\mu s/cm$ )	5170
T	$^{\circ}C$	17,7
SAL	mg/l	31

Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Leur influence sur les dégradations du béton dépend de leur teneur (concentration).

Les analyses des eaux usées montrent que la teneur en chlorures et en sulfates est agressive pour le béton.

D'après les prescriptions édictées par le CTC quant à l'agressivité des bétons d'infrastructure par les agents chimiques résumées au tableau (III, 09) qui stipule que le milieu dont l'ouvrage est implanté doit être pris en considération pour le protéger des agressions extérieures ainsi que le choix du type de ciment adéquat.

Tableau (III, 09): Degré d'agressivité des bétons d'infrastructure par les agents chimiques.

Degré d'agressivité	Nulle	Faible	Modérée	Forte	Très forte
Valeur du pH	>6.5	6-6.5	5.5-6	5-5.5	<5
$\text{CO}_2$ agressif mg/l	<10	10-25	25-50	50-80	>80
Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) mg/l	<10	10-25	15-50	50-80	>80
Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) mg/l	<200	200-500	500-2000	2000-5000	>5000
Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ) mg/l	<80	80-200	200-1000	1000-2000	>2000

De la comparaison des valeurs issues de l'analyse chimique des eaux usées transitant dans la galerie à celles figurant sur le tableau (III, 08) notamment celle du sulfate, on note que les eaux usées transitant dans la galerie de Touggourt sont d'un degré d'agressivité modéré.

#### **b. Essai de détermination des corps insolubles :**

Cet essai a pour objet de déterminer les corps insolubles dans l'acide chlorhydrique conformément à la norme française NF P 15 - 461.

Etapas de l'essai:

- Tamiser l'échantillon au tamis de 0,2 mm, puis peser une masse ( $M_0$ ) de 1g.
- Introduire la masse dans un bécher de 250 ml, puis ajouter 100 ml d'acide chlorhydrique dilué.
- Chauffer rapidement pendant quelques minutes jusqu'à ce que le liquide soit juste jaune et clair.
- Refroidissement du mélange pour une durée de 15 minutes.

- Filtrer immédiatement le mélange sur un papier filtre.
- Laver le bécher par l'eau distillée jusqu'à disparition des ions  $Cl^-$ .
- Mettre le papier filtre contenant des insolubles dans un creuset vide de masse ( $M_1$ ), puis l'étuver dans un four à  $900^\circ C$  pendant une durée de 15 minutes.
- Peser le creuset, soit de masse ( $M_2$ ), et la teneur des corps insolubles est calculée par la relation suivante :

$$INS \% = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (III-6)$$

### c. Essai de détermination des sulfates :

Cet essai a pour objet de déterminer la teneur en sulfates dans la matière, soient : des sulfates de sodium  $Na_2SO_4$ , les sulfates de magnésium  $MgSO_4$  ou les sulfates de calcium  $CaSO_4$ . Conformément à la norme BS 1377 / V 1975.

- Etapes de l'essai:

- Prendre le filtrat des insolubles et ajuster jusqu'à 250 ml avec l'eau distillée.
- Prendre 100 ml de filtrat dans un bêcher, puis ajouter 10 ml de chlorure de baryum de concentration dilué.
- Chauffer rapidement pendant quelques minutes jusqu'à ce que le liquide soit juste jaune clair, en laisse la solution pour refroidissement.
- Filtrer immédiatement le mélange sur un papier filtre, puis laver le bécher par l'eau distillée.
- Mettre le papier filtre contenue des insolubles dans un creuset vide de masse ( $M_1$ ), puis étuver dans un four de  $900^\circ C$  pendant une durée de 15 minutes.
- La teneur des sulfates ( $SO_4^{-2}$ ) est déterminée selon la relation :

$$SO_3^{-2} \% = 34,3 \frac{M_2 - M_1}{M_0} \quad (III-7)$$

- La teneur de gypse ( $Ca SO_4$ ) est déterminée selon la relation :

$$CaSO_4 \% = 184,23 \frac{M_2 - M_1}{M_0} \quad (III-8)$$

**d. Essai de détermination des carbonates:**

Cet essai a pour but de déterminer le taux des carbonates dans la matière sous formes des carbonates de calcium. Conformément à la norme NFP15-461.

- Etapes de l'essai:

- Prendre un échantillon de masse ( $M_0$ ) de 0,5 g par tamisage au tamis 0,2 mm.
- Ajouter un volume ( $V_a$ ) de 10 ml de l'acide chlorhydrique (HCl) de concentration diluée.
- Ajouter 03 gouttes d'indicateur de phénolphtaléine 0,1%.
- Chauffer le mélange quelques instants pour activer la réaction.
- Ajouter la solution d'hydroxyde de sodium jusqu'à l'obtention d'une couleur violet.
- lire le volume de titrage de NaOH ( $V_b$ ).
- La teneur des carbonates de calcium est déterminée selon la relation :

$$CaCO_3 \% = \frac{5(V_a - V_b)}{M_0} \quad (III-9)$$

**e. Essai de détermination des chlorures:**

Cet essai a pour objet de déterminer la teneur en chlorures dans la matière, ces chlorures sont sous formes des ions chlorures ( $Cl^-$ ) et des chlorures de sodium (NaCl). Conformément à la norme BS BOWLY / V1979.

- Etapes de l'essai:

- Prendre un échantillon de masse ( $M_0$ ) de 50 g par tamisage au tamis 0,2 mm.
- Ajouter à l'échantillon dans un bécher contenue de 100 ml d'eau distillée.
- Agiter pendant 24 heures, attention ne pas appliquer la chaleur.
- Filtrer la solution sur le papier filtre, puis prendre de 25 ml de filtrat.
- Ajouter 02 ou 03 gouttes de l'acide nitrique  $HNO_3$ .
- Ajouter 03 gouttes de chromate de potassium de concentration de 10%.
- Titrer goutte à goutte par le nitrate d'argent  $AgNO_3$  jusqu'à l'obtention d'une couleur rouge brique.
- Lire le volume ( $V$ ) d' $AgNO_3$ .
- La teneur des ions chlorures ( $Cl^-$ ) est déterminée selon la relation :

$$Cl \% = 0.005672 (V - 0,2) \quad (III-10)$$

- La teneur des chlorures de sodium (NaCl) est déterminée selon la relation :

$$\text{NaCl}\% = 1,64 \text{ Cl}^- \% \quad (\text{III-11})$$

La photo ci-dessous montre les étapes des essais de détermination des corps insolubles, les sulfates, les carbonates, et les chlorures.



Photo (III, 15): Etapes et outils des essais chimiques.

### III.4.2.7. Résultats des analyses chimiques :

Le tableau (III, 10) présente les résultats des analyses chimiques effectuées sur la peau des carottes exposées au gaz H<sub>2</sub>S et ceux des carottes immergées dans les eaux usées ainsi que ceux du béton sain.

Tableau (III, 10): Résultats d'analyse chimique

Les éléments Chimique	Partie exposée au gaz H <sub>2</sub> S	Partie Saine	Partie Immergée E.U
Insoluble en %	37,44	32,18	24,59
Gypse Ca SO <sub>4</sub> ,2H <sub>2</sub> O en %	10,04	7,00	6,13
Sulfates SO <sub>3</sub>	1,86	1,30	1,14
Chlorures Cl <sup>-</sup> en %	0,025	0,054	0,055
Chlorure de sodium NaCl en%	0,042	0,090	0,092

D'après le tableau (III, 10) nous constatons que :

- La teneur des chlorures et des chlorures de sodium sur la peau de la partie immergée dans les eaux usées et celle du béton sain est plus élevée que celle de la partie exposée au gaz H<sub>2</sub>S et qui compte pratiquement le double.
- La teneur en sulfates, de gypse et des insolubles sur la peau de la partie exposée au gaz H<sub>2</sub>S est plus élevée par rapport à la partie immergée ou celle du béton sain.

Ces résultats d'analyse chimique montrent que le comportement du béton exposé au gaz H<sub>2</sub>S est généralement différent au comportement des autres milieux et que le béton sain et celui immergée dans l'eau usée sont pratiquement similaire.

### III.4.2.8. Conclusion

En conclusion nous pouvons dire que les performances mécaniques des bétons exposés au gaz H<sub>2</sub>S ont donné les plus faibles résultats. Tandis que les bétons immergés dans les eaux usées ont donné les résultats les plus élevés.

A la fin de ce chapitre nous tenons à préciser ce qui suit :

L'établissement d'un tel projet n'est pas une tâche simple comme il apparait au premier coup, le diagnostic comme nous l'avons vécu, est une mission très délicate notamment lors qu'il

s'agit de revoir l'archive, intervenir sur un ouvrages existant et en cours d'exploitation, plus encore la remonté des eaux que connue toute la région.

La mise à terme de cette étude de diagnostic a été influencé par différentes contraintes qui peuvent être classées comme ce suit :

a - Contraintes administratives :

Les contraintes administratives sont les premiers à rencontrer ; à ce titre, avant de procéder au carottage, plus de dix visites préparatoires à la ville de Touggourt (160 Km de Ouargla) ont été effectuées.

- Au début nous avons contacté les services de l'ONA Touggourt qui nous ont dirigé vers la Subdivision d'Hydraulique de Touggourt ayant pour motif le projet en question n'est pas encore réceptionné.
- Les services de la Subdivision ont exigé encore le respect de la procédure administrative et la présence des services de la protection civile, ainsi que la précision du nombre et des lieux de carottage.
- La rareté des informations fournies par le chargé de l'ouvrage sous prétexte de la mauvaise tenue de l'archive de cet ouvrage que ce soit chez la direction des ressources en eaux de la wilaya, la Subdivision d'Hydraulique, ou chez l'entreprise de réalisation.
- La Subdivision d'Hydraulique, exige pour chaque accès la présence de la protection civile, les services de l'ONA Touggourt et le port de la tenue spéciale qui nécessite elle encore une formation qui dure au moins un mois au niveau des services compétents de la protection civile.
- Les services habilités sont assez réservés quant à la donnée des informations ou document technique qui relève des projets existants, la crainte de déceler une anomalie sur ce dernier semble le point le plus sensible et plus inquiétant, étant donné que plusieurs questions nous ont été formulées quant à l'utilisation de ces données ainsi que l'objectif visé. Nul ne veut assumer les charges où les antécédents d'un ouvrage

existant ni les conséquences qui en résultent s'il fait défaillance dans une ou plusieurs de ces parties.

b - Contraintes Techniques:

Parmi les contraintes techniques on note :

- La brigade de carottage du LTPS et après fixation de la date de carottage, le jour de la sortie s'est orienté à d'autres missions !?, chose qui nous a obligé de changer la date et d'informer les autres services concernés (Subdivision d'Hydraulique, la protection civile, les services ONA Touggourt) du problème, geste qui s'est répété deux fois.
- La location d'un groupe électrogène pour alimenter la carotteuse, et une perceuse électrique. Et où à deux endroits et après creusement du sol avec un engin (rétro-chargeur loué) et en présence d'eau de la nappe phréatique, cette mission n'a pas pu être accomplie vue l'impossibilité de la mise en place de la carotteuse, ce qui nous a obligé de remblayer de nouveau le site creusé.
- La nature de l'ouvrage qui est immergé totalement en plus des interventions illicites des citoyens sur la galerie par la fermeture les lieux d'accès à la galerie, influe sur l'augmentation de la concentration du gaz H<sub>2</sub>S.
- Le carottage de la partie immergé demande un matériel spécifique qui a nécessité l'intervention d'un nouveau groupe de travail qualifié en la matière (LEC).
- Après prélèvement des échantillons d'eaux usées, aucun laboratoire parmi ceux que nous avons contacté n'a accepté d'analyser ses échantillons, ONA Touggourt, ONA Ouargla, ANRH Ouargla. Ce qui nous a amené à se déplacer à Ghardaïa pour les réaliser.
- Afin d'aboutir à des résultats d'analyse chimique plus profondes et plus fiables, l'indisponibilité d'un appareil DRX ou un appareil MEB ou un personnel qualifié qui peut les manipuler au niveau local, entrave un tel souci.

## **Chapitre IV : REHABILITATION A L'ISSU DU DIAGNOSTIC**

### **IV.1. Introduction**

La réhabilitation de la galerie visitable en béton armé pour l'évacuation des eaux usées de Touggourt doit être effectuée sur la base des résultats obtenus du dit diagnostic, le plan d'intervention en dépend après l'exposition des différentes variantes et scénarios qui peuvent avoir lieu, notamment en tenant compte des données internes et externes de l'ouvrage la maîtrise de la technicité à appliquer et la disponibilité des matériaux de rénovation ou de réhabilitation ou encore le type de renforcement.

### **IV.2. Résumé des résultats du diagnostic**

D'après les résultats du diagnostic effectué sur la galerie de Touggourt, dont on note ce qui suit :

#### Résultats de l'inspection visuelle

L'inspection visuelle à décelé les défauts ci-après :

- Epaufrures,
- Infiltration d'eau de la nappe phréatique,
- Fissurations longitudinales et transversales
- Corrosion des aciers
- Dégradations par effet mécanique,
- Intervention illicite des citoyens sur la galerie

#### Résultats des essais pratiques au laboratoire sur les carottes

Les essais pratiques sur les carottes prélevées de la galerie, ont décelé ce qui suit :

- Résistance à la compression assez faible au niveau de la partie exposée au gaz, (confirmée par l'essai ultra son)
- Résistance à la Traction par fendage assez faible au niveau de la partie exposée au gaz, (confirmée aussi par l'essai ultra son)

- La partie saine du béton de la galerie indique aussi une résistance à la compression inférieure à celle figurant sur les rapports d'essai à la compression effectués sur les échantillons du béton lors de la réalisation du dit canal (galerie).
- Les résultats de l'essai relatif à la profondeur de carbonatation ont montré que l'épaisseur carbonatée dépasse même l'épaisseur de l'enrobage au niveau de la partie exposée au gaz H<sub>2</sub>S ce qui indique que la carbonatation a atteint les aciers d'armature.

#### Analyses chimiques du béton et eau usée

D'après les analyses chimiques qui ont été réalisées sur les eaux usées et la peau du béton, et leur comparaison aux normes et fourchettes préconisées par les services de contrôle des constructions hydrauliques, on relève ce qui suit :

- les eaux usées transitant dans la galerie en béton de Touggourt sont d'une agressivité modérée.
- Le résultat du diagnostic ainsi exposé, nous impose de remédier d'une manière adéquate qui assure à la galerie une longue durée de vie par le rétablissement des défauts recensés en réparant les épaufrures, en empêchant les infiltrations d'eau de la nappe phréatique, en colmatant les fissurations longitudinales et transversales rencontrées, en agissant sur les aciers corrodés, en limitant les actions mécaniques au niveau des traversés de route, et en vulgarisant la culture quant à la préservation des biens collectifs afin d'empêcher les interventions illicites des citoyens sur la galerie.

### **IV.3. Etapes de la réhabilitation**

L'intervention sur la galerie dans le but de la réhabilitation, nécessite un plan d'intervention qui prend en considération les précautions adéquates et en premier lieu les résultats du diagnostic cité plus haut. L'intervention sur un tel ouvrage, doit en tenir compte de l'ensemble des contraintes d'ordre administratif, sécuritaire, techniques reconnues fiables, ainsi que les données naturelles et fonctionnelles du site...etc.

Vu l'importance du débit des eaux usées, les travaux de réhabilitation doivent être exécutés sur des tronçons de 50 à 100 m ou bien entre deux entrées de visite en assurant l'écoulement des eaux usées.

### **IV.3.1.Réparation des épaufrures**

Les épaufrures sont des dégradations physiques des bétons pouvant entraîner la mise à nu des aciers et par conséquent la corrosion des armatures passives.

Les épaufrures proviennent en général :

- de chocs sur les ouvrages (poteaux, poutres, sols d'ateliers, ...)
- de surcharges (ponts, portiques, ...)
- d'attaque chimique des ouvrages

Les épaufrures peuvent également provenir d'une mauvaise mise en œuvre des bétons :

- mauvais positionnement des aciers
- mauvaise qualité des bétons employés
- vibration trop importante du béton lors du coulage.

Pour réparer : on procède généralement de la manière suivante :

#### **IV.3.1.1. Reconstitution De L'enrobage**

L'objectif de la reconstitution du parement est non seulement de restaurer l'apparence du béton mais aussi d'arrêter le processus de corrosion tout en rendant à la structure son intégrité. Il s'agit de réparations à caractère discontinu, ponctuel et superficiel pour lesquelles si les zones dégradées sont visuellement identifiables (béton décollé, fissures, épaufrures, etc.), l'état des zones adjacentes n'est en général connu qu'après un diagnostic généralisé.

#### **IV.3.1.2.Procèdes d'élimination de béton dégradé**

Avant de réparer les zones dégradées (armatures apparentes, éclatements de béton, traces de rouille, etc.), les parties dégradées doivent être retirés, sur toute la surface, par un des procédés suivantes :

- Le piquage (marteau piqueur).
- Le bouchardage (outil comportant plusieurs dents ou pointes de diamant).
- Le rabotage mécanique (rabot électrique à molettes multiples).
- Le sablage (jet de sable sous pression).
- L'hydro-décapage (pressions très élevées possibles).

Les produits de démolition doivent être mis en décharge.

Pour traiter les armatures corrodées, il convient de les dégager par burinage, repiquage. Le dégarnissage doit être effectué jusqu'à ce qu'un acier sain apparaisse et la longueur de cet acier doit être dégagée sur toute sa périphérie, (un dégagement d'un minimum de 2 cm derrière l'armature, est conseillé). Lorsque les armatures qui ne sont pas parallèles au parement sont corrodées à leurs extrémités, le béton avoisinant doit être enlevé et ces extrémités doivent être amputées de 2 cm, pour rétablir un enrobage suffisant.

La phase d'élimination de la zone sous corrosion, constitue l'une des tâches les plus délicates à réaliser. La bonne tenue dans le temps des réfections de parement, dépend directement de la qualité d'exécution de ces travaux. Il est donc impératif d'éliminer l'intégralité de cette altération, qu'elle soit foisonnante ou de surface, et ceci sur toute la périphérie de l'acier, par décapage et brossage soigné ou par des moyens mécaniques (sablage, hydrosablage, etc.).

Les surfaces de bétons sont ensuite nettoyées, afin de faire disparaître toute poussière ou toute souillure, subsistant après l'élimination des bétons dégradés. Ce nettoyage peut être réalisé par voie humide ou sèche (brossage et soufflage), mais dans le cas du lavage à l'eau, celle-ci doit être éliminée par soufflage ou par aspiration.

#### **IV.3.1.3. Remplacement des armatures fortement corrodées**

Les réparations de surface comportant des barres d'armature sont plus critiques car il est généralement nécessaire de restaurer la capacité structurale en remplaçant les barres très corrodées ou en restaurant l'adhérence des barres corrodées avec la matrice de béton (nouveau matériau de réparation) :

- Il faut dégager toutes les barres présentant des signes de corrosion (Photo : IV, 1).
- Le périmètre de la réparation doit être scié sur une profondeur d'au moins 25 mm en évitant d'endommager les barres avec la scie.
- Il faut enlever la corrosion de surface sur les barres.

- Il faut dégager toutes les barres qui montrent des signes d'une mauvaise adhérence avec le béton (corrosion de surface, fissuration autour de la barre provoquée lors des travaux de démolition du vieux béton).
- Il faut prévoir un dégagement d'au moins 25 mm tout autour des barres qui ont été dégagées.
- Les barres dont la section est réduite de plus de 25% doivent généralement être remplacées (évaluation structurale souvent nécessaire).



Photo (IV, 1):Détail du recouvrement et Protection des armatures.

- On peut ajouter des barres supplémentaires (attention à l'épaisseur d'enrobage minimal et à la longueur d'ancrage minimale).
- On peut aussi relier mécaniquement les barres à l'aide de différentes techniques d'assemblage comme la montre la Photo (IV, 1).

#### **IV.3.1.4. Réfection des bétons par le béton projeté**

Le béton projeté résulte de la projection par air comprimé d'un mélange sur un support auquel il adhère. Le mélange est composé de ciment, de sable, de graviers ou de gravillons et éventuellement d'eau (ajout total dans le cas de la voie mouillée, partiellement dans le cas de la voie sèche avec préhumidification ou nulle pour la voie sèche sans préhumidification) et d'adjuvant (notamment de fluidifiant dans le cas de la voie mouillée).

Les deux principaux modes de projection - voie sèche et voie mouillée – se distinguent, entre autre, par le lieu d'introduction de l'air comprimé et de l'eau figure (IV, 2) qui conditionnent des comportements très différents à la projection.

L'opération de projection comporte trois grandes étapes :

- le passage du mélange sec, humide ou mouillé en machine,
- le transfert mécanique dans les tuyaux avec ajout, en fin de conduit, d'eau (voie sèche) ou d'air (voie mouillée) et éventuellement d'adjuvant (raidisseur lors de la projection par voie mouillée).
- La projection sur un support.

Lors de la projection par voie sèche, l'eau est ajoutée à la lance. Le mélange de consistance pulvérulente, introduit en machine est sec ou légèrement humide. Le transfert de la machine jusqu'à la lance est assuré par un flux d'air comprimé (transfert à grande vitesse).

Lors de la projection par voie mouillée, le mélange, de consistance plastique, contient déjà toute l'eau nécessaire à sa mise en œuvre et à son hydratation. Le transfert est alors mécanique : le béton est pompé. La projection est assurée par ajout d'air comprimé à la lance

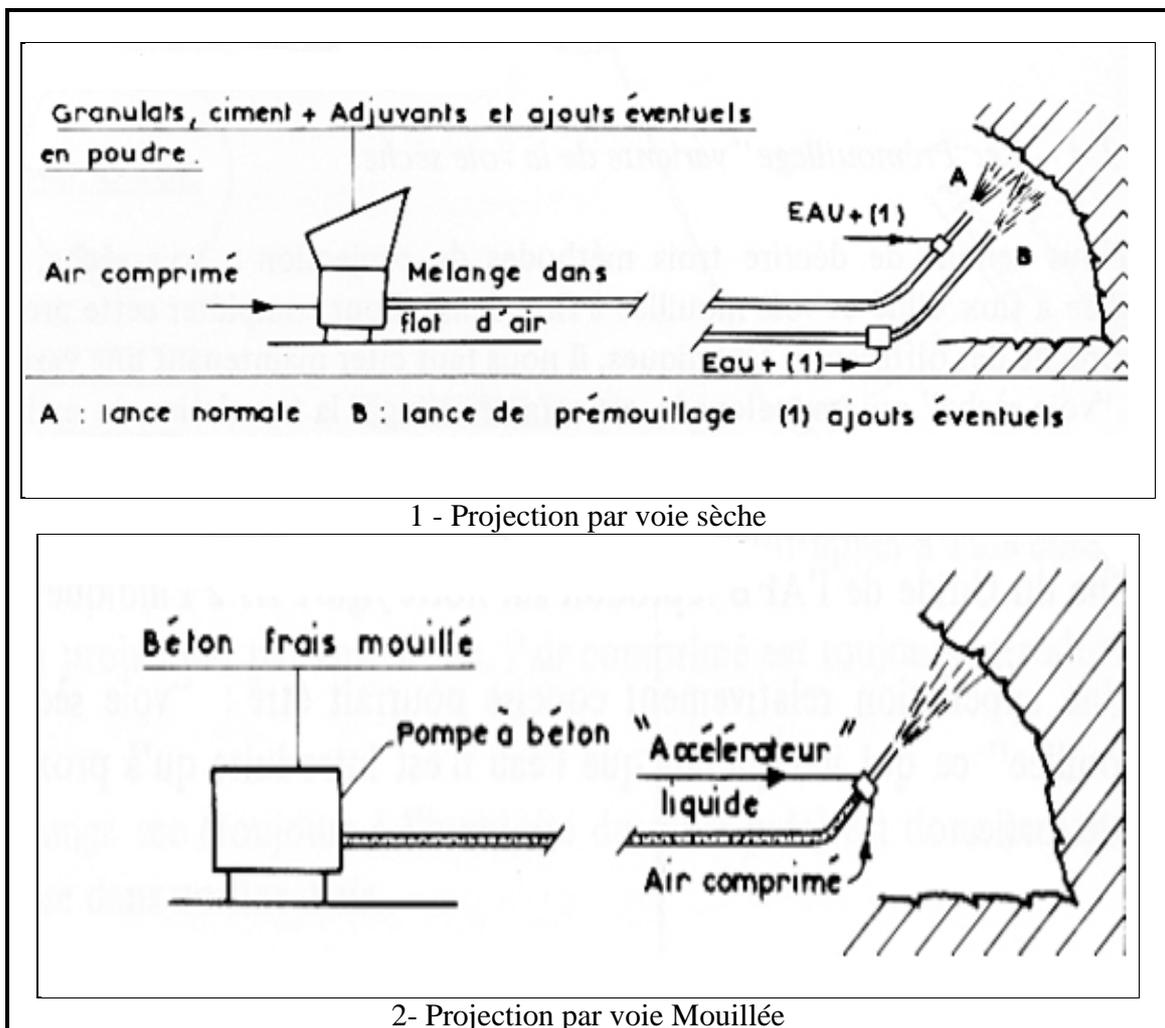


Figure (IV, 1): Mode de projection par voie sèche et par voie mouillée

La voie sèche avec pré mouillage génère peu de poussières à la lance alors que l'emploi d'un accélérateur en poudre en voie mouillée peut s'avérer être fortement générateur de poussières.

#### Domaines d'emploi (voie sèche)

- Réparation et renforcement de structure,
- Réalisation de voiles minces avec armatures,
- Projection immédiate de terrain avec activité discontinue et volume restreint,
- Projection en falaise,
- Rénovation d'ouvrages souterrains, etc.

**Domaines d'emploi (voie humide)**

- Travaux en espace confiné,
- Soutènement en tunnel nécessitant des cadences importantes de projection,
- Projection sur support fragile, etc.,

**IV.3.2.Réparation des fissures**

Les fissures sont des dégradations physiques du béton pouvant entraîner la corrosion des armatures passives. Parmi les solutions de traitement des fissures, on note la réparation par injection où on injecte dans les fissures un produit souple qui peut s'adapter à la forme des fissures sous les variations thermiques pour assurer la continuité de la matière.

L'injection consiste à faire pénétrer dans des fissures un produit susceptible de créer une liaison mécanique. Dans le cas d'une simple fonction d'étanchéité, elle concerne les fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure.

Les fissures peuvent également provenir d'une mauvaise mise en œuvre des bétons :

- mauvais positionnement des aciers ...
- mauvaise qualité des bétons employés ...
- vibration trop importante du béton lors du coulage...
- manque de cure du béton...
- fluage et retrait gênés....

**Pour réparer :**

- Positionner les injecteurs sur l'axe de la fissure : la distance entre injecteurs doit être de 0,20 m à 1,00 m suivant la configuration de la fissure.
- Cacheter la fissure entre les injecteurs avec un produit à prise rapide.
- Vérifier la bonne communication entre injecteurs et l'étanchéité du cachetage par l'injection d'eau propre.

### IV.3.3. Dégradations par effet mécanique

L'opération de réparation des dégradations consiste à remplacer la partie détériorée sous l'effet des véhicules par un revêtement en béton armé continu sur toute son épaisseur.

La réparation comprend la délimitation de la zone à remplacer, la démolition du revêtement sur toute son épaisseur, le remplacement de l'armature et le bétonnage, comme la montre la photo(IV, 2).



Photo (IV, 2): Détail d'une réparation et remplacement des armatures.

#### A .Délimitation et démolition de la zone à remplacer

La zone à remplacer est de forme rectangulaire. Sa longueur présente la largeur de la route, et sa largeur celui de la galerie et de 1,60 m.

#### B. Rétablissement de l'armature

Le ferrailage initial est reconstitué par des armatures d'un diamètre au moins identique aux armatures longitudinales existantes.

Dans le cas où les armatures existantes auraient été découpées sur 1 m de longueur, les nouvelles armatures sont ligaturées sur ces dernières en minimum 2 points et sur une longueur de 1m.

### **C. Mise en œuvre du béton**

Le béton est déversé dans le coffre et soigneusement vibré, à l'aide d'un vibreur, de manière à obtenir un bon uni de surface.

Enfin on le protège immédiatement contre l'évaporation par un produit de cure, afin de favoriser le développement des résistances mécaniques grâce à la chaleur dégagée par l'hydratation du ciment.

#### **IV.3.4.Prévenir la corrosion des aciers**

La corrosion de l'armature en acier du béton armé survient uniquement lorsque différentes conditions sont réunies :

- Une perte de passivité.
- La présence d'oxygène.
- La présence d'une quantité suffisante d'humidité dans le béton.

Si une de ces conditions n'est pas remplie, la corrosion ne peut démarrer. Dans les conditions normales, l'armature est protégée par l'alcalinité du béton. Cette alcalinité crée un film passivant d'oxyde qui protège l'acier de la corrosion.

Cependant, ce film passivant peut être endommagé lorsque le front de carbonatation, suite à la réduction d'alcalinité, a atteint l'armature. Une attaque par les chlorures peut également endommager ce film. Dans ces deux cas, la protection de l'acier par la couche de passivation disparaît.

Parmi les solutions pour prévenir la corrosion des aciers on note :

- la limitation de la pénétration de l'oxygène dans les zones potentiellement cathodiques par l'utilisation d'un revêtement sur l'acier. Ces revêtements fonctionnent en isolant totalement l'armature de l'oxygène ou de l'eau. De ce fait, il est nécessaire d'assurer un niveau supérieur de préparation de surface et de contrôle de l'application. Ceci peut être efficace uniquement si l'acier est complètement dépourvu de corrosion et entièrement revêtu, sans défaut, ce qui peut être très difficile à réaliser sur site. Toute diminution éventuelle de l'adhérence du mortier de réparation sur l'armature traitée doit également être prise en considération.

- Création des conditions dans lesquelles les zones potentiellement cathodiques de l'armature ne peuvent pas entraîner une réaction anodique. Les inhibiteurs (ajoutés au béton sous forme d'adjuvant ou appliqués en surface comme imprégnation) forment un film à la surface de l'armature et empêchent tout accès d'oxygène.

- Si l'armature ne dispose pas d'un enrobage suffisant, l'ajout de mortier ou de béton permettra de réduire l'attaque chimique de l'armature. En éliminant le béton dégradé et en reconstituant l'enrobage de l'armature, l'acier est de nouveau protégé par l'alcalinité du milieu.

### **IV.3.5. Protection contre l'infiltration**

L'infiltration est l'introduction d'eau provenant de la nappe phréatique dans l'ouvrage par suite d'un défaut d'étanchéité. L'objectif est de stopper les infiltrations d'eau à travers les parois périphériques de la galerie.

#### **IV.3.5.1. Stratégies de réparation possibles**

Préparation de la surface

- Délimitation des zones d'infiltration.
- Élimination du béton endommagé et/ou contaminé par un nettoyage hydraulique puissant ou procédé similaire.
- Nettoyage de l'acier dans les zones exposées à l'infiltration.
- Remplacez tout acier présentant une perte de profil > 30 % .
- Restaurez la passivation de l'acier à l'aide d'un enduit actif ou d'un mortier de réparation imperméable à pH élevé
- Réparation structurale des parois par des produits cimentaires étanches tel que le CK.
- Appliquez à la main ou par projection un mortier à base de ciment expansif à haute performance et résistant aux sulfates selon l'épaisseur requise.
- Rétablissez l'étanchéité à l'eau de la structure à l'aide de mortiers d'imperméabilisation de résines d'injections et de systèmes d'étanchéité des joints.

**IV.3.5.2. La protection est assurée par:**

- Une limitation de la présence d'eau (en quantité et en pression) par un drainage extérieur.
- Une limitation des infiltrations par un écran d'imperméabilisation extérieur de la paroi.
- Imperméabilisation des parois enterrées : Les techniques actuelles d'imperméabilisation des parois consistent en l'application de revêtement ou émulsion élaborées à partir de bitume.
- Le Cuvelage : Lorsque les parois enterrées se trouvent dans une nappe phréatique, les procédés précédemment décrits sont insuffisants. La pression exercée par l'eau nécessite une étanchéité des parois (et non pas une imperméabilisation) afin de stopper ou limiter les infiltrations d'eau. La technique de cuvelage dépend du type d'ouvrage, des débits de fuites tolérés, du phasage des travaux d'infrastructure permettant sa réalisation.

Le cuvelage externe permet de protéger directement l'ouvrage. Il s'agit généralement d'une membrane, d'un revêtement plastique, élasto plastique ou élastique résistant à la poussée des eaux.

**IV.3.6. Limitation de l'effet du gaz H<sub>2</sub>S**

Parmi les problèmes dus au gaz H<sub>2</sub>S la corrosion d'armatures et la dégradation du béton de la galerie d'une part, et la menace de la vie du opérateurs qui agissent sur la galerie de l'intérieur d'autre part, où on note de nombreux décès qui se sont produits parmi des travailleurs qui ont pénétré dans des lieux où la concentration de ce type de gaz est élevée, entre autres, les regards de visite, les galeries d'évacuations et les lieux d'entreposage de fumier...etc.

Pour limiter l'effet de ce problème, que ce soit pour la durabilité de la galerie ou pour la sécurité des êtres humains, les précautions suivantes sont à considérer à savoir :

Pour la durabilité de la galerie :

**IV.3.6.1. Ventilation**

Une ventilation très large de la galerie est une nécessité pour éviter autant que possible les résultats de la fermentation putride anaérobie. L'aération se fera par les tuyaux d'évent et de

ventilation secondaire, par les bouches d'égout, et par les trous des tampons de regard. Ces communications permettront les échanges entre l'air extérieur et l'air antérieur, échanges qui sont dus aux différences de température, aux variations de pression, et encore à l'action du vent. L'air des égouts est pauvre en bactéries; il contient des gaz et des vapeurs pouvant provenir soit de l'extérieur (vapeur d'essence, etc.), soit des fermentations même qui se produisent en égout (méthane, oxyde de carbone, acide carbonique, sulfure d'hydrogène qui est le produit type de la fermentation anaérobie).

Des précautions doivent être prises contre les vapeurs et les gaz nocifs qui peuvent se rencontrer, particulièrement en provenance des effluents industriels.

#### **IV.3.6.2. Entretien**

- L'entretien de la galerie est essentiel à son bon fonctionnement. Tous les 4 ans (au moins) il est nécessaire de la vider pour contrôler son état.
- Il sera nécessaire de vider les boues lorsque que celles-ci dépassent la moitié de la hauteur de la cuvette.

Pour les travailleurs de la galerie :

Avant toute descente:

- Porter un détecteur du gaz tri-fonctions (oxygène, risque d'explosion, H<sub>2</sub>S), correctement étalonné et doté d'une alarme. Certains détecteurs doivent subir un essai fonctionnel tous les jours avant l'utilisation. Régler l'alarme sur 10 parties par million (ppm). Quitter immédiatement les lieux si l'alarme se déclenche et évaluer le risque avec d'autres travailleurs formés avant de prendre d'autres mesures.
- Assurer une ventilation par l'ouverture des tampons et des trappes amont et aval.
- Avoir toujours au minimum un homme en surface.
- Interdiction de descendre et de circuler seul.
- Utiliser les vêtements et les lunettes de protection, les gants (PVC), protection respiratoire selon le niveau de risque du type ventilation assistée avec cartouches filtrantes B-P3 (cas les moins sévères) ou du type isolant à adduction d'air (cas les plus sévères).

**IV.3.7. Intervention illicite des citoyens sur la galerie**

Pour interdire l'intervention illicite des citoyens sur la galerie, il y a lieu de voir en premier les causes pour lesquelles les gens agissent sur la galerie en question.

Parmi les causes on note les odeurs générées des orifices de la galerie où les riverains viennent les obstruées.

A ce propos, il y a lieu de limité l'émission de ces odeurs ainsi que lancer une réflexion quant à l'acheminement de ces odeurs vers des cheminés qui atténuent leur effet nuisible.

Comme les jardins publics, les parcs d'attractions, les différents réseaux d'eau potable, eaux usées, électricité, la galerie de l'évacuation des eaux usées, constitue un bien public commun dont la préservation incombe tout le monde. Et à cet effet, il y a lieu de vulgariser la culture de la préservation des biens publics et ceci par la collaboration des différents acteurs à savoir : les associations, maisons et centres de culture ; journaux ; émissions télévisées, concours et prix qui encourage les citoyens à respecter les biens collectifs en tant que éléments qui servent tous.

## ***CONCLUSION GENERALE***

Parmi les différents problèmes dont souffre toute la zone de Oued-Righ, on note le phénomène de la remontée des eaux, la dégradation rapide des réseaux s'assainissement notamment les conduites en ciment a poussé l'autorité locale de trouver d'autres solutions pour y remédier.

Parmi les solutions proposées et réalisées sur terrain, le changement du type de conduite comme l'utilisation des conduites en PVC (**P**oly **V**inyle de **C**hlorure), en PRV (**P**olyester **R**enforcé de fibre de **V**erre), ou la réalisation d'une galerie visitable d'évacuation des eaux usées en béton armé...etc.

La solution la plus rependue où on n'enregistre aucun problème relié à ce phénomène, c'est bien sûr la réalisation d'une galerie. Mais l'apparition de quelque dégradations au niveau de celle-ci nécessite d'effectuer des travaux de réhabilitation pour pouvoir améliorer sa durabilité, le but de notre étude et de le diagnostiquer et où des visites sur site, des prélèvements d'échantillons, des missions ont été effectuées afin de déterminer les causes des pathologies qui affectent et menacent sa durabilité.

Le diagnostic de la galerie a fait ressortir les conclusions suivantes :

- Présence de certain nombre de cas d'épaufrure ayant des longueurs variables, avec mise à nu des armatures, qui, selon les cas, apparaissent très corrodées.
- Enregistrement des fissurations et d'ouvertures plus ou moins importantes, verticales et horizontales.
- Présence d'infiltrations d'eau de la nappe phréatique au niveau de la partie inférieure latérale de la galerie avec l'apparition de taches de rouille.
- Détérioration mécanique assez claire de la dalle au niveau de l'intersection avec la traversée de routes dû aux passages des véhicules sur ce tronçon de la galerie.

- Obstruction des réservations de la galerie par les citoyens ennuyés par les odeurs qui proviennent des ouvertures liées au canal.
- Carbonatation du béton provenant de l'intérieur de la galerie au niveau de la partie exposée au gaz  $H_2S$  dépassant même l'épaisseur de l'enrobage des armatures (enrobage de 3 cm), Où dans une durée de dix ans ( de 2003 à 2013), l'effet du gaz  $H_2S$  est avéré d'une agressivité très rapide surtout en présence d'humidité.
- Les eaux usées constituent un milieu favorable à l'évolution de la résistance à la compression, comparativement au béton prélevé de la partie saine, par contre, le gaz  $H_2S$  représente une agression et menace assez élevée vis-à-vis de la résistance du béton à l'intérieur de la galerie.
- Les résultats des analyses chimiques des eaux usées transitant dans la galerie montrent que celles-ci sont d'une agressivité modérée.
- Le diagnostic des ouvrages existant est une tache assez délicate en raison de la mentalité assez réservée (bureaucratie quant à la délivrance des documents d'archive) d'une part et le manque des moyens adéquats d'autre part.
- La réhabilitation de la galerie destinée à l'évacuation des eaux usées de la ville de Touggourt selon ce diagnostic est d'une nécessité cruciale et d'une urgence prompte, notamment lors qu'il s'agit d'un ouvrage occupant une telle importance pour la ville de Touggourt.

En perspective, nous recommandons ce qui suit :

- Ce type d'ouvrage dans le réseau d'assainissement peut être généralisé pour toute la région notamment si on compare la durée de son existence (11ans) bien que petite, avec le type de réseau d'assainissement classique (égout – conduites) qui sont renouvelés dès fois moins de 5ans.
- Prévoir un système d'aération dans la galerie qui diminue la concentration du gaz  $H_2S$ .
- Prévoir un système mécanique propre de curage périodique de la galerie.

- Investir dans d'autres matériaux qui résistent mieux au gaz  $H_2S$ , par le lancement d'études de recherche sur le béton avec ajouts minéraux ou sur les matériaux composites qui peuvent répondre à ce souci.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] : **Buil M. et J.P.Ollivier** « Conception des bétons : la structure poreuse », La durabilité des bétons, Presses de l'école NPC., ISBN 2-85978-184-6, 1992, pp: 57-106.
- [2]:**AKONGO N. & T. Samuel** « réhabilitation des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures» Mémoire pour l'obtention du LET 2<sup>ème</sup> grade Génie Civil, 2007, ENSET - Université de Douala.
- [3]:**Duval R. et H. Hornain** «La durabilité des bétons vis-à vis des eaux agressives » - La durabilité des bétons, P.de l'école NPC., ISBN 2-85978-184-6, 1992, pp:351-391.
- [4] :**O.N.M**« données météorologies de la station pluviométrique de Touggourt » Période (2001-2009).
- [5] : **Grinev E.I** « Irrigation, drainage et la productivité des palmeraies de l'Oued-Righ. » Thème N°1, Mission Soviétique à la station expérimentale de Sidi-Mehdi, Touggourt, 1969
- [6]:**Ben Hamida et Talbie** «Bilan hydrique et chimique de la vallée de Oued Righ» Mémoire Ingéniorat en Hydraulique, université de Ouargla, 2004.
- [7] : **Cornet. A**« Initiation à l'hydrogéologie saharienne » Cours destiner aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes, S.E.S, Birmandreis, 108p, Alger 1961.
- [8] : **UNESCO, 1972** « Etude de ressources en eau du sahara septentrional rapport sur les résultats du projet », projet Reg 100, Paris 1972
- [9] : **Cornet .A** . « Les eaux de Crétacé inférieur continental dans la Sahara algérien (nappe dite "Albien"). In: "La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie », 19ème Congrès géologique international, T II, 30p.1952
- [10] : **Castany. G** « Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie).Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal ». Bull. BRGM 2 III, Vol.2, pp127-167,1982.
- [11] : **Lelièvre. R.F** « Assainissement de la cuvette de Ouargla », Ministère des TP et de la construction, rapports Géohydraulique n° 2, 18p: n° 3, 84p, 1969.
- [12] : **CIMBETON**, « Les ouvrages en béton : durabilité, dimensionnement et esthétique3», Fiches Techniques, Tome 3,ref G12, CIMBETON: Paris, France,2008.
- [13]: **L'ATTAQUE SULFATIQUE** « Durabilité et réparation du béton », Université de Sherbrooke, article d'Internet, GCI 714, pp : 1-27.
- [14]: **Houti F.B. et Belhachemi B.** « Etude expérimentale de l'agressivité de l'eau de mer sur les mortiers en ciment », XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 2012

- [15] : **GUILLAUME A** « Etude diagnostique d'une structure en béton, précontrainte par post-tension », Mémoire obtention diplôme maitre en science, université Laval Québec, 2011.
- [16]:**Crausse P.** «Etude fondamentale des transferts couplés chaleur-masse en milieu poreux», International journal of heat and mass transfert, 1981.
- [17] : **Akli y.** « Carbonatation de bétons à forts taux de substitution du ciment par des additions minérales », Thèse de Doctorat Université de la rochelle, 2011.
- [18] : **CHAUSSADENT T.** « Etat des lieux et réflexions sur la carbonatation du béton armé. Etudes et recherches des LPC, série O. d'Art OA29, Edité par LCPC Paris, 80p.
- [19] : **Houst Y.F** « Diffusion de gaz, carbonatation et retrait de la pâte de ciment durcie » Thèse de Doctorat de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1992.
- [20] : **THIERY M.** « Modélisation de la carbonatation atmosphérique des bétons – Prise en Compte des effets cinétiques et de l'état hydrique », Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées 2005.
- [21] : **CIMBETON**, « Le ciment et ses applications », Fiches Techniques, ref G10, CIMBETON: Paris, France,2001.
- [22] : **Pascal P.** « Nouveau traité de chimie minérale. Propriétés physiques de l'analyse Carbonique », 8, Masson, 1968.
- [23] : **Vénuat M.**« De la carbonatation du béton » –partie II, Revue des matériaux de construction, 639, 1968, 469-481.
- [24]: **Parrott L.J.** « A review of carbonation in reinforced concrete», British Cement Association, 1987, 126 p.
- [25]: **Smolczyk H.**«Physical and chemical phenomena of carbonation», RILEM International Symposium on Carbonation of Concrete, C&CA, Fulmer grange,1976.
- [26]:**Thiery M.** « Modélisation de la carbonatation atmosphérique des matériaux cimentaires – Prise en compte des effets cinétiques et des modifications microstructurales et hydriques »Thèse de Doctorat de E.N. des Ponts et Chaussées de Paris, 2005.
- [27]:**Delmi M.M.Y**« Étude de l'hydratation et du couplage carbonatation échanges hydriques dans les mortiers et bétons », Thèse de Doctorat Université de La Rochelle, 2004.
- [28]:**Bier T.A.**« Influence of the type of cement and curing on carbonation progress and pore structure of hydrated cement pastes », Materials Research Society Symposium Proceedings, 85, 1986, 123 doi:10.1557/PROC-85-123.

- [29]:**VerbeckG** « Carbonation of hydrated Portland cement », ASTM Special Technical Publication, 205, 1958, 17-36.
- [30]:**AFGC** « Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages » Documents scientifiques et techniques, AFGC, 252 p, 2004.
- [31]:**NischerP.** « Effect of environment and concrete quality on carbonation », Betonwerk undFertigteil-Technik, 50 (11), 1984, 752-757.
- [32]:**Van BalenK. et Van Gemert D.** « Modelling lime mortar carbonation, Materials and Structures, 27 (7), pp393-398,1994.
- [33]: **ChaussadentT.** « État des lieux et réflexions sur la carbonatation du béton armé », Rapport technique, Thème de recherche OA9, L CPC, 1997.
- [34]:**Matala S.** « Effects of carbonation on the pore structure of granulated blast furnace slag concrete», Espoo, Helsinki University of Technology. PhD. 1995
- [35] : **L'ATTAQUE SULFATIQUE** « Durabilité et réparation du béton », Université de Sherbrooke, article d'Internet, GCI 714, pp : 160-169.
- [36]: **Jacques BARON** « Introduction à la durabilité des bétons » - La durabilité des bétons, Presses de l'école nationale des Ponts et C., ISBN 2-85978-184-6, Paris 1992, pp : 351-389.
- [37]:**ANDRA** « Les attaques chimiques couples »-Les matériaux cimentaires, Tome 4, INSA, LMDC, Toulouse, France, C.RP.AMAT 01060 /A, pp : 60.
- [38] : **Carles A. et Abérubé M.**« La durabilité des face à l'alcali réaction »-La Durabilité des bétons, Presse de l'école NPC., ISBN 2-85978-186-6, pp : 300-307 ,1992.
- [39] : **Duval R.** «La durabilité des armatures et du béton d'enrobage »-La durabilité des bétons, Presses de l'école NPC., ISBN 2-85978-184-6, 1992, pp: 173-224.
- [40] : **MIDGLEY H.G. and ILLSTON J.M** « The penetration of Chlorides into hardened Cement pastes ,cem, concr, Res. , 1984 14, 4, pp 546-558 .
- [41] : **GLASS, G.K. et al.** « The presentation of the chloridether esholdlevel for corrosion of steel in concrete', Corrosion Science, Vol.39, N° 5, pp. 1001-1013, 1997.
- [42] : « Bridge Management and Condition Monitoring » Project Funded by the European Commission under the Transport, RTD Programme of the 4th Framework Programme –, BRIME PL97-2220, January 2001.
- [43]: **ACI-Committee-222** Protection of Metals in Concrete against Corrosion», 2001.

- [44] : **Ming-Te Liang and J.L.** « Reliability analysis for the existing reinforced concrete pile corrosion of bridge substructure » *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 3, March 2005, pp 540-550.
- [45] : **TUUTTI K.** « Corrosion of Steel in Concrete » , Swedish Cement and Concrete Research Institute; S-100 44; Stockholm (1982).
- [46] : **CASTEL A.** « couplage mécanique et corrosion dans les éléments de béton armé », Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, 2000.
- [47] : **VERVISCH F. I** « Sensibilité de la technique d'émission acoustique à la corrosion des armatures dans le béton », Thèse de Doctorat Université de Toulouse, 2009.
- [48] : **FRANCOIS R., ARLIGUIE G., MASO J.C.** ; « Durabilité du Béton Armé » ; Rapport de synthèse ; LMDC INSA UPS Toulouse ; 1994.
- [49] : **Metha P.K. Raharivao A, Genin J.M.** « Sur la corrosion des armatures du béton en présence des chlorures », *Matérielles de constructions*, 36, 1986, pp 65.
- [50] : **Neville A.** « Chloride attack of reinforced concrete: an overview », *Materials and Structures*, 1995, pp 63-70.
- [51] : **Page C.L., Short N.R. and Holden W.R.**, « The influence of different cements on chloride induced corrosion of reinforcing steel », *Cement and Concrete Research*, 16, 1986, pp 79-86.
- [52] : **Byforts K.**, « Chloride-initiated reinforcement corrosion (chloride binding) CBI report 1:90 », Swedish Cement and concrete Research Institute, Stockholm, 1990.
- [53] : **Page C.L., P.L. and P.R.W.** « Vassie, Investigations of reinforcement corrosion I: The pore electrolyte phase in chloride-contaminated concrete », *Materials and Structures*, 24, 1991, pp 243-252.
- [54] : **Shamsad Ahmad** « Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction—a review », *Cement and Concrete Composites*, Volume 25, 2003, pp 459-471.
- [55] : **MORIANDE** « Electrochimie ». Editions Dunod, 2005.
- [56] : **Metha P.K.** « Concrete Structures, Properties and Materials », Prentice Hall, New Jersey, 1986, pp 449.
- [57] : **Metha S. J. Ford, J. D. Shane and T. O. Mason**, « Assignment of features in impedance »
- [58] : Source Internet (google) [www](http://www) : le sulfure d'hydrogène.
- [59] : **Vincke, E., N. Boon, and W. Verstraete** « Analysis of the microbial communities on corroded concrete sewer pipes – a case study. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2001. 57(5-6): p. 776-785.

[60] : **Vincke, E., et al.**, Influence of polymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2002. **49**(4): p. 283-292

[61] : **Roberts, D.J., et al.** « Quantifying micro biallyinduced deterioration of concrete: Initial studies. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2002. 49(4):p.221-234.

[62]:**Taché, G.**« Corrosion bactérienne des bétons, in *Biodétérioration des matériaux*, E. Sciences. 1998, EDP Sciences. p. 115-126.

[63]:**Nica, D., et al.**« Isolation and characterization of microorganisms involved in the biodeterioration of concrete in sewers ». *International Biodeterioration & Biodegradation* 2000. 46(1): p. 61-69.

[64]:**Monteny, J., et al.** « Chemical and microbiological tests to simulate sulfuric acid corrosion of polymer-modified concrete. *Cement and Concrete Research*, 2001, 31(9): p. 1359-1365.

[65]:**Sébastien ROUX**« Evaluation des risques de biodégradation des bétons en contact avec une eau douce naturelle » Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 2008.

[66]:**DUPUY (Gabriel)** « La science et la technique dans l'aménagement urbain. Le cas de l'assainissement », in *Les Annales de la Recherche Urbaine*, n° 6, pp. 3-18,1980.

[67]: Source Internet (google) [www](http://www) : Photos pour les galeries.

[68]: **Bengassem J.** « Élaboration d'un système d'aide au diagnostique hydraulique et structural des réseaux d'assainissement urbains », Thèse de doctorat École de Technologie Supérieure, Université du Québec, 2001.

[69]:**Brière F.**« Distribution et collecte des eaux », Presses internationales Polytechnique de Montréal, 2ème édition, 2000.

[70]: « Installations sanitaires » - Partie 1, CSTC, 4<sup>ème</sup> trim 1996,

[71]:**CPT** pour les travaux d'assainissement « réseaux d'assainissement et ouvrages Annexes », Toulouse, 2012.

[72]:**Louis COLOMBET** « Assainissement des agglomérations », article Internet ,1990

[73]:« Diagnostic et réhabilitation des réseaux d'eaux Usées », A. BSeine-Normandie, 1984.

[74]:**MOALIC L.A.**« Réhabilitation d'ouvrages en béton a. du diagnostic au confortement », Mémoire Ingéniorat INSA de Strasbourg.

[75]:**Société Geo-Topics**« Diagnose des bétons », Fiche Produit.

[76]:**CETMF** « Pathologies des ouvrages portuaires méthodes d'investigation »,2008.

[77] **DURAND.B**« Pérennisation des ouvrages en génie civil, diagnostic, réparations et confortement ».Mémoire d'ingénieur INSA de Strasbourg ,2010.

[78] : Source Internet www : diagnostic-béton

[79] : **LATASTE J.F.** « Contrôle Non Destructif des ouvrages d'arts »Université Bordeaux 1,

[80]:**Lacroix, P., et Rivest, M.**« Inspection, investigation et échantillonnage des structures hydrauliques municipales et de transport », Colloque, internationale, Geo- physical Journal of the Royal Astronomical Society,1991.

[81] : **Norme NF EN 12504-2** « Essais pour béton dans les structures - Partie 2 : essais non destructifs -Détermination de l'indice de rebondissement », 2003.

[82]:**B. Clément**« Construire des Ouvrages d'Art en Béton - les contrôles à postériori », COTITA, 2011.

[83] : Source Internet www: google earth – 2012

[84] : Rapport subdivision de l'hydraulique de Touggourt.

[85] : Fiche technique ciment CRS – Usine Ain-touta.

[86] : **Norme NF EN 12504-1**« Essais pour béton dans les structures - Partie 1 : carottes, prélèvement, examen et essais en compression » , 2000.

[87] : **Norme NF EN 12390-3** « Essai pour Béton Durci –Partie 3:Résistance à la compression des Éprouvettes », 2003.

[88] : **Norme NF EN 12390-6** « Essai pour béton durci- Partie 6 : Résistance en traction par fendage d'éprouvettes »,2001.

[89]:**Norme NF EN 12390-7**«Essai pour béton durci- Partie 7 : Masse Volumique du béton », 2001.

[90] **Norme EN 12504-4**« Essais pour béton dans les structures - Partie 4 : détermination de la vitesse de propagation du son »,2005.

*Annexe Photos  
supplémentaires*

---



Photo I : Préparation pour prendre les carottes (a)



Photo : (I-b)



Photo : (I-c)



Photo : (I-d)



Photo II : Opération de carottage (II -a)



Photo : (II -b)



Photo III : La remontée de la nappe (III-a)



Photo : (III-b)



Photo IV : Galerie de l'intérieur - Partie 1 - (IV -a)



Photo IV : Galerie de l'intérieur - Partie 2 et 3 (Section en voute), (IV-b)



Photo V : Les ordures à la sortie de la galerie (V -a)



Photo V : Galerie de l'extérieur (V -b)