



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Hamma Lakhdar — El-Oued Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique et de Génie Civil



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master Spécialité :

Hydraulique

THÈME:

***Problématiques de la présence de H_2S dans le réseau
des eaux usées urbaines de la ville d'el oued***

Encadrant:

Dr. HAKIMI Youcef

Réalisé par:

GHRISSI ALOUI Sami

CO-Encadreur:

Dr. KHECHANA Salim

Dr : OUAKOUAK Abdelkader

Président

Dr : RIGUET Farhat

Examineur

Dr : HAKIMI Youcef

Encadreur

Dr : KHECHANA Salim

Co-encadreur

Année Universitaire : 2025 / 2026

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail, fruit de longues années d'efforts et de persévérance :

À mes chers et bien-aimés parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices infinis et leurs prières qui ont éclairé mon chemin tout au long de mon parcours. Que Dieu leur accorde santé et longue vie.

À ma chère épouse, mon grand soutien, pour sa patience, ses encouragements constants, sa présence à mes côtés dans les moments les plus difficiles, et pour avoir cru en moi en tout temps.

À mes précieux enfants : Mohamed, Sidra et Saba, les lumières de ma vie et ma plus grande source de motivation. Que ce travail soit pour eux un exemple de réussite et de persévérance.

À mes chers frères et sœurs, pour leur soutien moral, leur affection et leur complicité fraternelle qui m'ont toujours fortifié.

À tous mes fidèles amis, pour leur fidélité, leurs encouragements et les moments partagés qui ont rendu ce parcours plus agréable.

À tous mes camarades de promotion, avec qui j'ai partagé des moments inoubliables d'apprentissage, d'entraide et de camaraderie. Je leur souhaite à tous un avenir brillant et plein de succès.

À tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie Allah le Tout-Puissant pour m'avoir donné la force, le courage, la patience ainsi que la volonté nécessaires afin de mener ce travail à son terme.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur, le Docteur Hakimi Youcef, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils, son soutien et ses orientations tout au long de la réalisation de ce mémoire

Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation durant mon parcours universitaire, pour les connaissances, les conseils et l'encadrement qu'ils m'ont apportés.

J'adresse aussi mes sincères remerciements aux honorables membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail. Je leur suis reconnaissant pour le temps consacré à l'examen de ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques constructives, leurs observations pertinentes et leurs précieux conseils qui contribueront à améliorer ce travail.

Je tiens également à exprimer toute ma reconnaissance à ma famille pour son soutien moral, sa patience, ses encouragements constants et sa confiance tout au long de mon parcours.

Enfin, j'adresse mes remerciements à tous les cadres et employés de l'Office National de l'Assainissement (ONA);et j' exprime ma profonde gratitude en particulier à M. Halem Mounir, M. Reghi Seddik , Mme. Sai Khawla pour leur aide précieuse et leur soutien dans la réalisation de ce travail. Je tiens également à remercier mes amis et toutes les personnes qui m'ont soutenu, aide ou encouragé de près ou de loin, notamment par leur soutien moral, durant l'élaboration de ce mémoire.

À tous, j'exprime ma profonde gratitude et mes sincères remerciements.

RÉSUMÉ

Ce travail vise à étudier et comprendre la dynamique de formation du sulfure d'hydrogène (H₂S) dans le réseau d'assainissement urbain de la ville d'El Oued. Il s'agit d'identifier les défauts structurels et hydrauliques du réseau, et d'évaluer les impacts négatifs de ce gaz sur la santé publique, la dégradation par corrosion des infrastructures en béton et en métal, et les dysfonctionnements des stations d'épuration.

• Travaux Réalisés : Une étude théorique approfondie a été menée sur les cinétiques de génération du H₂S à l'aide de modèles mathématiques. Une étude expérimentale sur le terrain a été réalisée à la station d'épuration (STEP) de Kouinine (El Oued) à travers deux campagnes de mesures (en janvier et en août) pour suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques et de la charge organique.

• Résultats Obtenus : Les analyses ont démontré l'impact direct de l'élévation de la température estivale sur l'accélération de la production de H₂S. Les conditions propices à l'activité des bactéries sulfato-réductrices ont été définies (anoxie, stagnation > 2h). L'étude a confirmé la biocorrosion sévère du béton par l'acide sulfurique induit. Enfin, des solutions préventives ont été recommandées, telles que l'optimisation des vitesses d'écoulement et l'adoption de systèmes de pompage pneumatique.

Mots-clés : Assainissement, Sulfure d'hydrogène (H₂S), Biocorrosion, Eau usée urbaine, El Oued.

ملخص

يهدف هذا العمل الى دراسة وفهم ديناميكية تشكل غاز كبريتيد الهيدروجين في شبكة التطهير الحضرية لمدينة الوادي ويتمثل ذلك في تحديد العيوب الهيكلية والهيدروليكية للشبكة وتقييم الاثار السلبية لهذا الغاز على الصحة العمومية ، وتدهور البنية التحتية الخرسانية و المعدنية بسبب التآكل ، بالإضافة الى الاختلالات الوظيفية التي يسببها لمحطات تصفية مياه الصرف الصحي .

الاعمال المنجزة : أجريت دراسة نظرية معمقة حول حركية تولد غاز كبريتيد الهيدروجين بالاستعانة بنماذج رياضية كما اجريت دراسة تجريبية ميدانية في محطة تصفية مياه الصرف الصحي ببلدية كوينين ولاية الوادي من خلال حملتي قياس ميدانيتين (في شهري جانفي وأوت) لمتابعة تطور المؤشرات الفيزيوكيميائية و الحمل العضوي.

النتائج المتوصل اليها : أظهرت التحاليل المخبرية و الميدانية الأثر المباشر لارتفاع درجة الحرارة الصيفية في تسريع انتاج غاز كبريتيد الهيدروجين كما تم تحديد الظروف الدقيقة الملائمة لنشاط البكتيريا المختزلة للكبريتات (والتي تتمثل في غياب الأكسجين /اللاهوائية ، وركود المياه لفترة تتجاوز الساعتين).واكدت الدراسة حدوث تآكل حيوي (بيولوجي) شديد للخرسانة بفعل حمض الكبريتيك المتولد عن هذه العملية.

وفي الختام اوصي بجملة من الحلول والتدابير الوقائية مثل تحسين سرعات التدفق الهيدروليكي واعتماد أنظمة الضخ الهوائي

الكلمات المفتاحية : التطهير، كبريتيد الهيدروجين ، التآكل الحيوي ، مياه الصرف الصحي الحضرية ، الوادي

Abstract

This study focuses on understanding the dynamics of hydrogen sulfide (H₂S) formation within the urban sewerage network of El Oued city. It aims to diagnose structural and hydraulic deficiencies in the network, and evaluate the negative impacts of this gas on public health, biocorrosion of concrete and metallic infrastructures, and wastewater treatment plant failures.

- **Work Realized:** A comprehensive theoretical framework on H₂S generation kinetics using mathematical models was conducted. An empirical field study was carried out at the Kouinine wastewater treatment plant (STEP - El Oued) through two monitoring campaigns (January and August) to evaluate physico-chemical parameters and organic load variations.
- **Results Obtained:** The analysis demonstrated the direct effect of high summer temperatures in accelerating H₂S production. The environmental conditions optimal for sulfate-reducing bacteria activity were identified (anoxia, water stagnation > 2h). The study confirmed severe concrete biocorrosion caused by induced sulfuric acid and recommended preventive solutions, including flow velocity optimization and pneumatic pumping systems.

Keywords: Sanitation, Hydrogen sulfide (H₂S), Biocorrosion, Urban wastewater, El Oued.

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Résumé.....	III
Abstract.....	IV
Table des matières.....	V
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux.....	IX
Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I Généralités sur les réseaux d'assainissement	
I.1. Introduction.....	2
I.2.Nature des eaux usées à évacuer.....	2
I.2.1.Quantité d'eaux usées à évacuer.....	3
I.3.Différents système des réseaux d' assainissement.....	3
I.3.1.Système unitaire.....	4
I.3.2.Système séparatif.....	4
I.3.3.Système pseudo-séparatif.....	5
I.4.Choix du système d'assainissement	6
I.5.Schéma d'évacuation.....	7
I.5.1.Choix du schéma d'évacuation.....	8
I.6.Les ouvrages de réseaux d'assainissement.....	8
I.6.1.Ouvrages principaux.....	8
I.6.2.Ouvrages annexes.....	8
I.6.2.1.Ouvrages de collecte en surface	8
I.6.2.2.Boîtes de branchements.....	9
I.6.2.3.Les regards.....	10
I.6.2.4.Bouches d'engouffrement.....	11
I.6.2.5.Passage en siphon	11
I.6.2.6.Déversoir d'orage.....	12
I.6.2.7.Ouvrages de stockage	13
I.6.2.8.Station de pompages/ relevage.....	13
I.7.Les problèmes liés à l' assainissement.....	14
I.7.1.Les anomalies qui peuvent être constatées.....	14
I.7.2.Principale cause de la dégradation des ouvrages.....	14
I.7.3.Les défaillances possibles des réseaux d'assainissement et leurs conséquences	15
I.7.3.1.Les cassures.....	15
I.7.3.2.Les déformations.....	15

I.7.3.3.Les défauts d'étanchéité.....	16
I.7.3.4.Les anomalies ponctuelles	16
I.8.Conclusion.....	17
CHAPITRE II Formation d'hydrogène sulfuré	
II.1.Introduction	18
II.2.Propriétés chimiques et physiques du sulfure d'hydrogène	18
II.2.1.Propriétés physiques.....	18
II.2.2.Propriétés chimiques	18
II.3.Origine de la formation du sulfure d'hydrogène.....	19
II.3.1.Origine des sulfures	19
II.3.2.Mécanismes de formation de l'H ₂ S.....	19
II.3.2.1.Théorie de l'influence du biofilm en conduite dans la formation de l'H ₂ S.....	22
II.3.2.2.Prise en compte des dépôts dans la production de sulfures.....	23
II.4.Prévision qualitative de production de sulfures	24
II.4.1.Réseau gravitaire.....	24
II.4.2.Réseau sous pression	24
II.5.Les facteurs favorables à la production de sulfure d'hydrogène	25
II.5.1.Les facteurs influençant la formation de H ₂ S.....	25
II.5.2.Les facteurs influençant la libération de sulfure d'hydrogène.....	26
II.6.Les lieux et zones de formation dans les réseaux d'assainissements.....	28
II.7.Cinétique de la production de l'H ₂ S.....	28
II.7.1.Modèles basés sur la théorie du "bio-film" en conduite de refoulement	29
II.7.2.Modèles basés sur la théorie du " bio-film " en conduite gravitaire.....	30
II.7.3.Modèle basé sur la formation des sulfures par les depots en conduite de refoulement...	31
II.8.Dispositifs de détection de l'hydrogène sulfure	32
II.8.1.Methodes de détection du H ₂ S dans l'air.....	32
II.8.2.Methodes de détection du H ₂ S dans l'eau.....	33
II.9.Conclusion.....	33
CHAPITRE III Les impacts de sulfure d'hydrogène	
III.1.Introduction.....	34
III.2.Risques et conséquences de la présence de l'H ₂ S dans les réseaux d'assainissement	34
III.2.1.Risque de sécurité sanitaire et nuisances.....	34
III.2.2.Dégradation des ouvrages et des infrastructures	37
III.2.2.1.Dégradation des béton et des métaux	37
III.3.Impact sur la filière de traitement.....	41
III.4.Choix des matériaux	41

III.5.Localisation des problèmes de corrosion sur les réseaux d'assainissement	42
III.6.Impact sur l'environnement.....	42
III.7.Conclusion.....	43
CHAPITRE IV Solutions et traitements contre la production du H₂S	
IV.1.Introduction.....	44
IV.2.Ouvrages et infrastructures limitant la production et l'émission du H ₂ S.....	44
IV.2.1.Ajustement des vitesses d'écoulements	44
IV.2.2.Diminution des temps de séjour.....	44
IV.2.3.Choix pertinent d'un système de pompage.....	45
IV.2.4.Ouvrages et installations de protections face au H ₂ S.....	47
IV.3.Les traitements du H ₂ S.....	49
IV.3.1.Les traitements préventifs	49
IV.3.2.Les traitements curatifs	50
IV.3.3.Les système de traitement de l'air vicié.....	52
IV.4.Conclusion.....	55
CHAPITRE V Etude expérimentale des facteurs influençant la cinétique de formation de l'H₂SA la STEP de kouinine (wilaya d' El oued)	
V.1.Introduction.....	56
V.2.Présentation de la zone d'etude et contexte climatique.....	56
V.3.Donnée expérimentales brutes.....	56
V.4.Suivi des paramètres de la pollution organique et physique.....	59
V.5.Tableau comparatif synthétique	59
V.6.Analyse graphique et interprétation des corrélations	61
V.7. Récits de cas d'accident	63
V.8. Consignes de sécurité	64
V.9. Conclusion et Recommandation.....	65
Conclusion Générale.....	66
Perspectives.....	67
Références Bibliographiques.....	68

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Différents système d'assainissement.....	03
Figure I.2 : Système unitaire	04
Figure I.3 : Système séparatif	05
Figure I.4 : Système pseudo-séparatif	05
Figure I.5 : Boîte de branchement eaux usées	10
Figure I.6 : Schéma de passage en siphon.....	12
Figure I.7 : Un déversoir d'orage.....	13
Figure I.8 : Coupe longitudinale au droit d'une flache	16
Figure I.9 : Exemple d'affaissement de voûte	16
Figure I.10 : Exfiltration	16
Figure I.11 : Exemple de blocage provoqué par la présence de racines.....	17
Figure II.1 : Le cycle du soufre.....	21
Figure II.2 :Condition de milieu intervenant dans un effluent oxygéné.....	22
Figure II.3 :Condition de milieu intervenant dans un effluent non oxygéné.....	22
Figure II.4 : Formation et émission du H ₂ S dans un réseau d'assainissement...	28
Figure III.1 : Processus de dégradation des bétons.....	37
Figure III.2 : Formation d'acide sulfurique dans une conduite.....	37
Figure III.3: Mécanisme de la corrosion biologique	40
Figure IV.1 : Conception du réseau selon le type de postes	46
Figure IV.2 : Schéma d'un poste de refoulement	46
Figure IV.3 : Schémas d'un poste avec pompage en ligne.....	46
Figure IV.4 : Principe de fonctionnement d'un refoulement pneumatique	47
Figure IV.5 :Schema d un regard d exutoir de refoulement avec chute (A) etSans chute (B)....	48
Figure IV.6 : Schéma d'un regard de stripping	48
Figure IV.7 : Traitement par lavage.....	52
Figure IV.8 : Traitement par absorption sur charbon actif.....	52
Figure IV.9 : Système de traitement par voie biologique de l'effluent gazeux A-Lit bactérien B- Biolaveur C-Biofiltre.....	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Avantages et inconvénients des différents systèmes.....	06
Tableau II.1 : Grille d'évaluation des risques.....	24
Tableau II.2 : Paramètres et conditions favorables au développement du sulfure d'hydrogène.....	27
Tableau III.1 : Effets liés à une exposition aiguë au H ₂ S.....	34
Tableau III.2 : Symptômes liées à une exposition subaiguë et chronique au H ₂ S.....	35
Tableau III.3 : Valeurs limites d'exposition professionnelle du H ₂ S.....	35
Tableau III.4 : Classes d'expositions des bétons aux H ₂ S définies dans le fascicule FD P18-011.....	38
Tableau III.5 : Nouvelle classe d'exposition préconisées.....	39
Tableau IV.1 : Comparatif des solutions de traitement du H ₂ S.....	51
Tableau V.1 : Suivi journalier des paramètres physico-chimiques d'entrée (Campagne de Janvier)	57
Tableau V.2 : Suivi journalier des paramètres physico-chimiques d'entrée (Campagne d'Août)	58
Tableau V.3 : Paramètres de pollution organique et physique (Campagne de Janvier.....	59
Tableau V.4 : Paramètres de pollution organique et physique (Campagne d'Août).....	59
Tableau V.5 : Synthèse comparative synoptique des paramètres d'entrée (Janvier vs Août).....	60

Introduction Générale

Les réseaux d'assainissement urbains constituent des infrastructures vitales pour la préservation de l'hygiène publique et de l'environnement. Cependant, l'exploitation et la maintenance de ces réseaux complexes se heurtent souvent à des défis techniques et sécuritaires majeurs. À ce titre, la gestion du réseau de la ville d'El Oued fait face à des signaux d'alarme préoccupants : la récurrence d'accidents graves, marqués par des cas d'asphyxie et des décès tragiques parmi le personnel d'entretien lors des interventions en espaces confinés, d'une part, et la dégradation accélérée ainsi que la corrosion sévère observées au niveau des ouvrages en béton et des équipements métalliques, d'autre part.

Ces indices convergents et ces indicateurs de terrain pointent, selon toute vraisemblance, vers une cause principale sous-jacente : la présence à des concentrations critiques de sulfure d'hydrogène (H_2S). Ce gaz, hautement toxique, létal à faible dose et particulièrement corrosif, est le produit de la décomposition anaérobie des matières organiques par les bactéries sulfato-réductrices, un phénomène exacerbé par la stagnation des eaux, les longs temps de séjour et les conditions thermiques spécifiques de la région.

Face à cette situation, une problématique cruciale se pose : Quelle est la dynamique de formation et de libération du H_2S au sein du réseau d'El Oued, et comment se manifestent concrètement ses impacts sur la sécurité humaine et la pérennité des infrastructures ? Pour répondre à cette question, ce travail de recherche s'articule autour de plusieurs objectifs fondamentaux. Il s'agit tout d'abord de comprendre les mécanismes cinétiques de génération du H_2S et de diagnostiquer les anomalies hydrauliques favorisant sa production. Ensuite, cette étude vise à évaluer l'ampleur de la biocorrosion sur les ouvrages et à quantifier les risques sanitaires encourus par les exploitants. Enfin, l'intérêt majeur de cette recherche réside dans la proposition et l'évaluation de solutions techniques, tant préventives que curatives (telles que l'optimisation des vitesses d'écoulement ou l'injection de réactifs), afin de guider les gestionnaires vers des choix durables pour sécuriser le réseau et protéger les vies humaines.

Pour mener à bien cette investigation, notre démarche scientifique s'organise en trois volets complémentaires. Le premier volet dresse un état de l'art sur les réseaux d'assainissement et la physico-chimie du H_2S . Le second volet présente les travaux réalisés, incluant le suivi expérimental et l'analyse des données recueillies à la station d'épuration (STEP) de Kouinine. Le troisième et dernier volet expose les résultats obtenus, tout en formulant des recommandations pratiques et des consignes de sécurité rigoureuses pour l'exploitation future du réseau.



CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT



I.1. Introduction

Les réseaux de canalisations assainissement ont pour but d'assurer la collecte et l'évacuation de l'ensemble des eaux usées et pluviales, y compris le traitement par des méthodes répondant aux exigences de la santé publique et environnementale avant leur rejet dans le milieu naturel.

Les problèmes liés à l'assainissement sont considérés comme un sujet d'actualité particulièrement dans les pays en développement où la gestion de ce système reste de nos jours un sujet peu maîtrisé.

Le diagnostic est une opération menée dans le cadre de la gestion des réseaux, se base sur la collecte des données existantes concernant l'état structurel et fonctionnel des canalisations et les différents ouvrages à partir des relevés de débits et des mesures de charge effectués dans les stations d'épuration, les stations de relevage, des enquêtes sur terrain etc.

I.2. Nature des eaux usées à évacuer :

La nature des matières polluantes contenues dans l'effluent dépend de l'origine de ces eaux usées on distingue

A. Les eaux usées domestiques

Ce sont des eaux qui trouvent leur origine dans les habitations, elles sont constituées essentiellement d'eaux ménagères et d'eaux vannes ;

- Les eaux ménagères englobent les eaux des vaisselles, de lavage, de bain et de douche ;
- Les eaux de vannes englobent les eaux provenant des sanitaires

B. Eaux usées d'équipements publics

Ce sont les eaux qui viennent des services publics à savoir : sanitaire, éducatifs, mosquées...etc.

C. Eaux usées industrielles

Ces eaux usées proviennent de diverses usines. Elles contiennent des substances chimiques et toxiques et parfois même des métaux lourds ;

La qualité d'eaux à évacuer par les industries dépend de plusieurs facteurs qui sont :

- Procédé de fabrication utilisé .
- Taux de recyclage effectivement réalisé .
- Nature de l'industrie : fabrication ou de transformation.

I.2.1. Quantités d'eaux usées à évacuer

Les quantités des eaux à évacuer dépendent de plusieurs critères et de normes de consommation en eau potable, ces derrière est bien évidemment liés à plusieurs facteurs tels que :

- Types d'habitations.
- Le degré de confort.
- Conditions climatiques.

I .3. Différents systèmes des réseaux d'assainissement

Pour la collecte et l'évacuation des eaux usées et pluviales on a divers systèmes d'évacuation qui se présentent :

- Système unitaire.
- Système séparatif.
- Système pseudo séparatif.

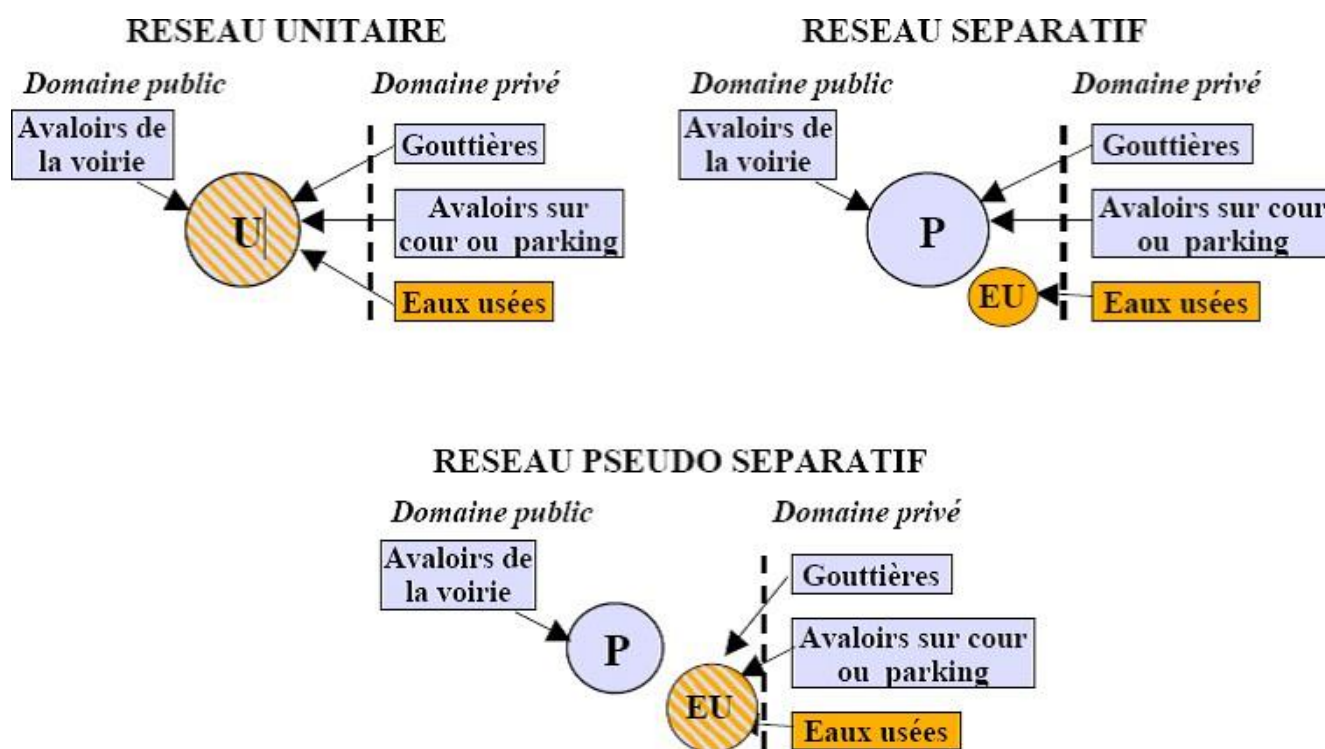
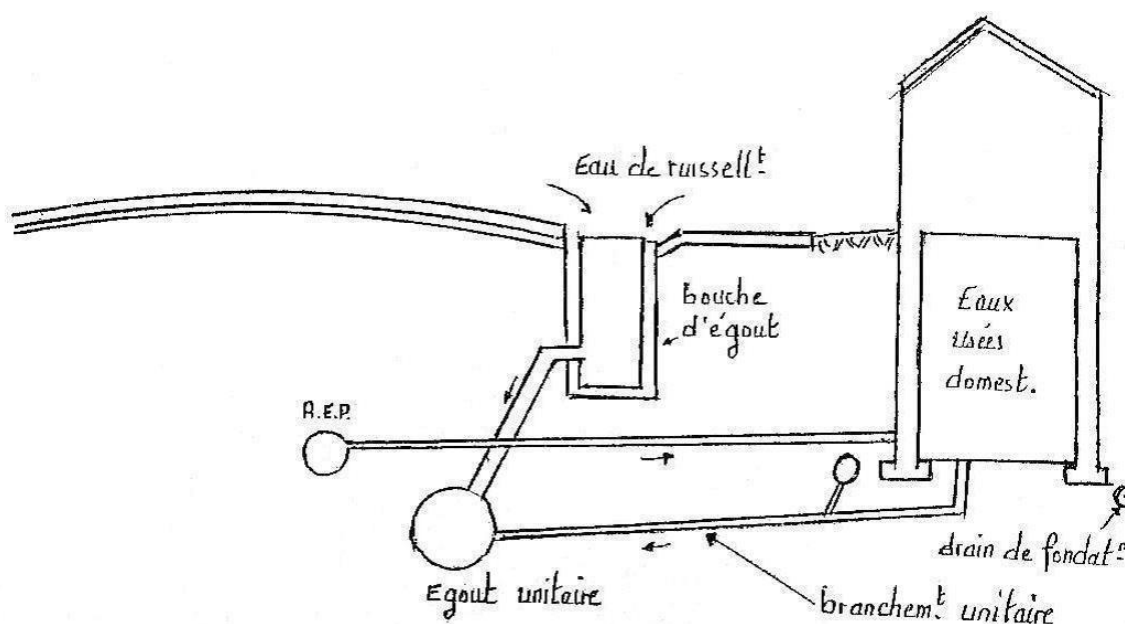


Figure I.1 : Différents système d'assainissement .

I.3.1. Système unitaire :

Dans le système unitaire les eaux usées domestiques, les eaux pluviales avec ou sans stockage préalable et certains effluents industriels ou certaines eaux de refroidissement sont évacuées par un réseau unique, généralement pourvu de déversoirs qui permettent, en cas d'orage, le rejet d'une partie de ces eaux.

Le système unitaire s'impose lorsqu'il n'y a plus de possibilités de concevoir économiquement un réseau séparatif et une maîtrise des branchements particuliers.



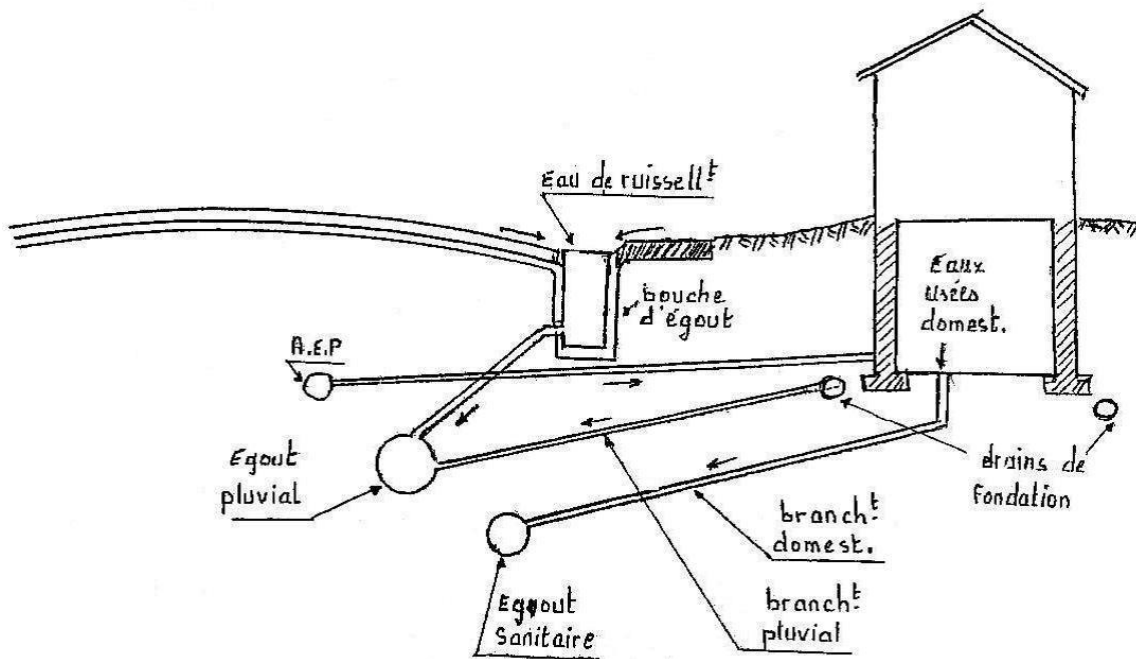
Figures I.2 : Système unitaire.

I.3.2. Système séparatif :

C'est un réseau qui consiste à l'évacuation des eaux domestiques d'origine ménagère, les eaux des équipements, les eaux de service public et certaines eaux industrielles dans un collecteur et l'évacuation de toutes les eaux pluviales est assurée par un autre collecteur.

Le tracé des collecteurs n'est obligatoirement pas le même, ce qui est le cas dans la plupart du temps. Le tracé du réseau d'eau usée est en fonction de l'implantation des différentes entités qu'il dessert en suivant les routes existantes. Ce réseau ne demande pas de grandes pentes vues que les sections ne sont pas trop importantes.

Cependant le tracé du réseau d'eaux pluviales dépend de l'implantation des espaces producteurs de ruissellement, les eaux pluviales sont rejetées directement dans le cours d'eau le plus proche naturel soit-il ou artificiel.



Figures I.3 : Système séparatif.

I.3.3. Système pseudo-séparatif :

Ce système reçoit les eaux usées en partie, les eaux de ruissellement en provenance des habitations, tandis que les eaux de ruissellement des voiries et toitures sont reprises par une conduite qui les déverse dans le milieu naturel. C'est un système qui s'adapte aux zones rurales, les habitations desservies par un tel réseau ne possèdent qu'un seul branchement.

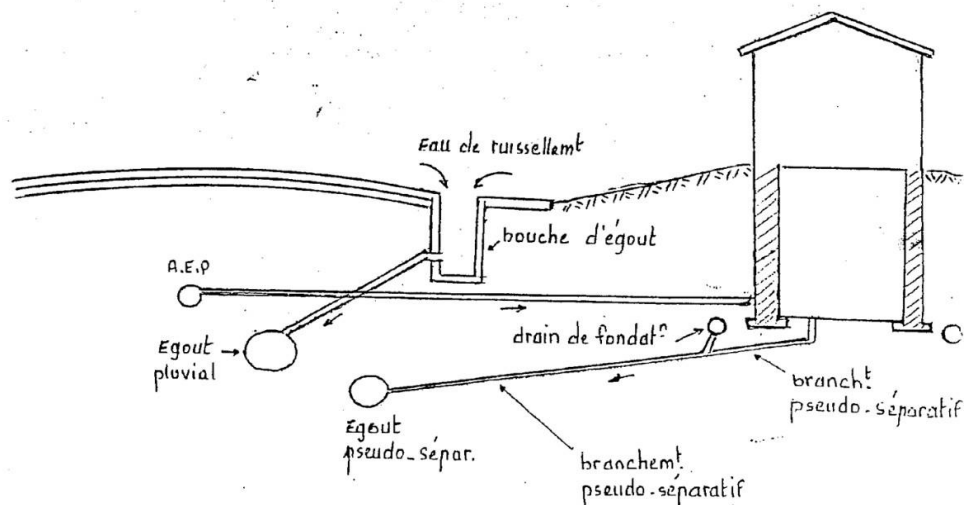


Figure I.4 : Système pseudo-séparatif.

Tableau I.1 : Avantages et inconvénients des différents systèmes

Système	Unitaire	Séparatif	Pseudo-séparatif
Avantages	- Conception simple - encombrement réduit du sous-sol - À priori Économique pas de risque d'inversion de branchement.	Diminution des sections des collecteurs -Exploitation plus facile de la STEP -Meilleure naturel préservé	- Le problème des faux branchements est éliminé. - Le plus gros des eaux pluviales étant acheminées en d'heure de la ville, ce qui nous donne des collecteurs traversant la ville de moindre dimension
Inconvénient	Débit à la STEP très variable - la dilution des eaux usées est variable - Apport de sable important à la station d'épuration Rejet direct vers le milieu récepteur du mélange " eaux usées eaux pluviales " au droit des déversoirs d'orage.	Encombrement important du sous-sol - Coût d'investissement élevé - Risque important d'erreur de branchement.	-le fonctionnement de la station d'épuration est perturbé, la charge polluante est variable en qualité et en quantité
Domaine d'utilisation	-Milieu récepteur éloigné des points de collecte - Topographie à faible relief - Débit d'étiage du cours d'eau récepteur important.	-Petites et moyennes agglomérations ; - Extension des villes ; - Faible débit d'étiage du cours d'eau récepteur.	-Petits et moyennes agglomération. -Présence d'un milieu récepteur proche.

I.4. Choix du système d'assainissement :

Les critères du choix du système d'assainissement dépendent de plusieurs paramètres

- L'aspect économique : Une étude comparative de plusieurs variantes est nécessaire.
- L'impact provoqué sur le milieu naturel à savoir :
 - Une station d'épuration est obligatoire pour un système unitaire.
 - En un système séparatif les eaux pluviales sont rejetées directement dans le milieu naturel, mais ces eaux peuvent porter un préjudice majeur à ce dernier.

- S'il s'agit d'une extension de réseau il faut tenir compte du système existant.
- La topographie du terrain naturel.
- Il faut tenir compte des conditions de rejet.
- Urbanistiques (répartition des quartiers résidentiels, commerciaux, et industriels, etc....).
- De réduction des débits de pointe des eaux pluviales.
- De proximité des réseaux voisins et de leurs positions en profondeur (conduites d'eaux potable, canalisation de gaz, câbles électriques ou téléphoniques, etc.).

I.5. Schémas d'évacuation

Le mode d'écoulement en assainissement est généralement gravitaire, donc dépendant du relief et de la topographie du terrain naturel, pour assurer cet écoulement gravitaire on a les différents schémas d'évacuations suivantes :

A. Le schéma perpendiculaire :

Au cours d'eau c'est souvent celui des villes ou communes rurales qui ne se préoccupent que de l'évacuation par les voies les plus économiques et les plus rapides sans avoir un souci d'un assainissement efficace des eaux rejetées.

B. Le schéma type collecteur latéral :

Ce schéma oblige parfois à prévoir des stations de relèvement.

C. Le schéma type collecteur transversal :

Ce schéma permet de reporter par simple gravité l'ensemble des effluents plus loin à l'aval par rapport au schéma précédent.

D. Le schéma type par zones étagées :

Ce schéma s'apparente au schéma précédent. Le collecteur bas qui doit souvent faire l'objet de relèvement, se trouve soulagé des apports des bassins dominants qui peuvent être évacués gravitairement.

E. Le schéma type centre collecteur unique :

C'est le schéma type radial Selon que le réseau converge vers un ou plusieurs points bas où l'on peut reprendre l'effluent pour le relever, on utilise ce type de schéma.

Le plus compatible à la région plate comme El-oued: Schéma radial.

I.5.1. Choix du schéma d'évacuation :

Le choix du schéma d'évacuation à adopter, dépend des divers paramètres à savoir :

- Les conditions techniques et locales du lieu, du système existant, de la topographie du terrain et de la répartition géographique des habitants à desservir.
- Les conditions d'environnement : nature de rejet et le milieu récepteur.
- Les conditions économiques (le coût et les frais d'investissement et d'entretien)
- L'implantation des canalisations dans le domaine public.

I.6. Les ouvrages de réseaux d'assainissement

Le réseau d'assainissement se subdivise en deux ouvrages :

- Ouvrages principaux ;
- Ouvrages annexes.

I.6.1. Ouvrages principaux

Les ouvrages principaux correspondent au développement de l'ensemble du réseau jusqu'à l'évacuation à l'exutoire et l'entrée des effluents dans la station d'épuration ; ces tuyaux se présentent par tronçons de diamètre croissant de l'amont vers l'aval ; suivant la grandeur de leur section, on les classe ainsi :

- Collecteur principal, pour les grands diamètres supérieurs à $\varnothing 800$.
- Collecteur secondaire, pour les diamètres compris entre $\varnothing 400$ et $\varnothing 800$.
- Collecteur tertiaire, pour les diamètres inférieurs ou égaux à $\varnothing 300$.

I.6.2. Ouvrages annexes

Pour raisons constructives et d'entretiens, et pour l'exploitation rationnelles des réseaux d'égout, les ouvrages annexes le long des collecteurs y sont indispensables (bouche d'égout, regard de visite, branchement...etc.).

I.6.2.1. Ouvrages de collecte en surface

Les ouvrages de collecte en surface sont destinés, en général, aux eaux pluviales. On en distingue deux catégories : les ouvrages de collecte et de transport tels que les fossés,

gargouilles, caniveaux ; les ouvrages d'engouffrement, en tête et sur le cours du réseau principal tels que les bouches, avaloirs, grilles.

◆ **Fossés :**

Les fossés étaient principalement destinés à la collecte des eaux provenant des chaussées en milieu rural qui, depuis peu, rentrent dans les dispositions dites alternatives à la solution par tuyaux. Suivant les caractéristiques du relief, ils sont soit des ouvrages de transport à faible pente, soit des ouvrages de retenue, soit des ouvrages de stockage des eaux.

Il faut procéder à un entretien périodique, afin de les débarrasser des produits décantés qui peuvent s'y accumuler et provoquer, notamment, des odeurs de fermentation.

◆ **Gargouille :**

Ont une fonction de liaison entre les descentes de gouttières et les caniveaux, évitant ainsi les ruissellements désordonnés sur les trottoirs.

Les gargouilles sont envisageables avec un système qui fait appel au drainage en surface. Ces eaux pluviales des toitures, cours intérieures, etc., sont évacuées vers le caniveau jusqu'à la bouche d'engouffrement ; on obtient ainsi une séparation contrôlée des sorties eaux pluviales et, par ailleurs, eaux usées.

◆ **Caniveaux :**

Les caniveaux, annexes de la voirie en bordure du trottoir, sont destinés à recevoir les eaux de ruissellement et de gouttières via des gargouilles, et assurent le transport en surface des eaux pluviales jusqu'aux bouches et avaloir. Leur utilisation est également nécessaire aux ruptures de pentes des espaces revêtus (parking ...) ; selon l'importance, ils peuvent être constitués d'ouvrages longitudinal équipé de grilles ou de fente type Saujon, plus économique et bien adaptée aux voies urbaines express, à la fragilité des grilles...

I.6.2.2. Boîtes de branchements

Les boîtes de branchements qui sont en fait des mini-regards, qui permettent le raccordement des canalisations intérieures collectant les eaux vannes et ménagères avec le branchement au réseau . De même, en ce qui concerne les boîtes de pied de chute d'eaux pluviales. Ces boîtes de branchement assurent également un accès de contrôle et d'évacuation.

On appelle généralement boîte de branchement le regard borgne sur le réseau de collecte non visitable qui reçoit un branchement d'immeuble.

Les techniques précédentes conduisaient à des ouvrages de toutes dimensions, avec

accordement en cunette, culotte, boîte hermétique, siphon disconnecteur...de toute nature, le plus souvent coulés en place, et jointoiement au mortier de ciment. Les techniques actuelles visent à une standardisation de ces ouvrages et à l'utilisation plus importante d'éléments constitutifs industrialisés à joints souples.

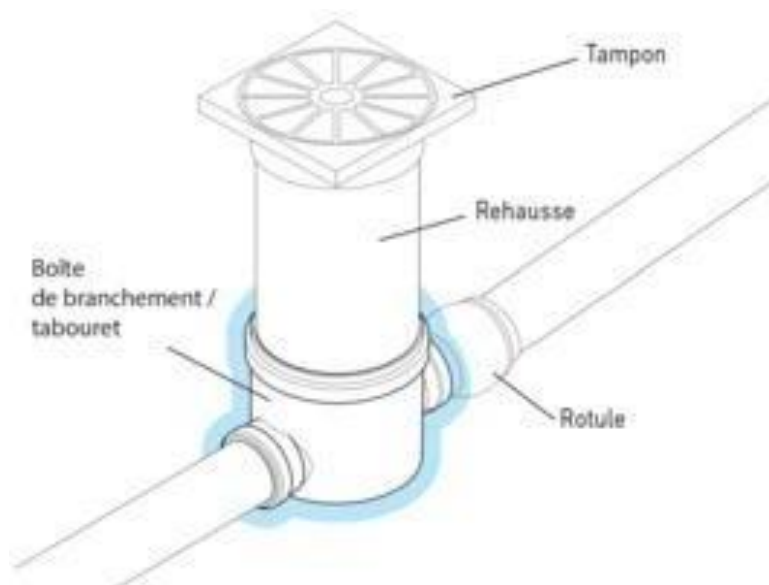


Figure I.5 : Boîte de branchement eaux usées

I.6.2.3. Les regards

Les regards sont les ouvrages d'accès au réseau, qui permettent d'assurer l'entretien et la surveillance, ils assurent aussi l'aération du réseau, ils comportent en partie supérieure, un dispositif de fermeture constitué d'un cadre et d'un tampon.

Différents types de regards. On peut citer :

◆ Regards de visite

Pour pouvoir effectuer l'entretien et le curage régulier des canalisations, on prévoit les regards de visite assez rapprochés, ils permettent l'accès à l'ouvrage l'installation d'appareil de ramonage et d'extraction, la cuvette à un diamètre égale à celui de collecteur, c'est le type de regard le plus fréquemment construite.

◆ Regards de jonction

Destiner à éviter le raccordement à angle droit d'une canalisation latérale pour favoriser les écoulements en diminuant les pertes de charge. Il sert à unir de conduite de même ou de différents diamètres.

◆ Regards de chasse :

Ceux-ci jouent le rôle des réservoirs périodiques. Ils envoient un volume d'eau important dans la canalisation pour entraîner tous les éléments qui sont disposés et qui risquent d'obturés la conduite lorsque la pente d'écoulement n'est pas suffisante.

◆ Regards de chute :

Les regards de chute sont très utilisés dans le cas où le terrain d'une agglomération est trop accidenté. Ils servent à créer un décrochement dans le profil on long du collecteur de tronçon et à éviter les grandes excavations, donc les grandes profondeurs d'ouvrage, ceci en respectant les pentes motrices. On distingue deux types de chute :

- La chute verticale profonde.
- La chute Toboggan

I.6.2.4. Bouches d'engouffrement

Les bouches d'engouffrement sont destinées exclusivement à collecter les eaux en surface. Elles sont généralement disposées aux points bas des aires revêtues (parkings, espaces minéralisés) ou réparties sur les tronçons de voiries ou aux carrefours. En bordure, elles sont placées soit sous les trottoirs si celles-ci ont des dimensions suffisantes, soit sous les caniveaux et bords de chaussée dans le cas contraire.

Elles peuvent être classées selon deux critères principaux : la manière de recueillir les eaux et la manière dont les matières sont retenues.

La classification en deux groupes principaux, adoptée dans le fascicule 70 relatif aux travaux d'assainissement, est à prendre en compte

I.6.2.5. Passage en siphon :

Le passage en siphon se réalise dans le cas de franchissement d'obstacles : cours d'eau, routes ou voies ferrées encaissées avec des puits verticaux ou inclinés ou mixtes.

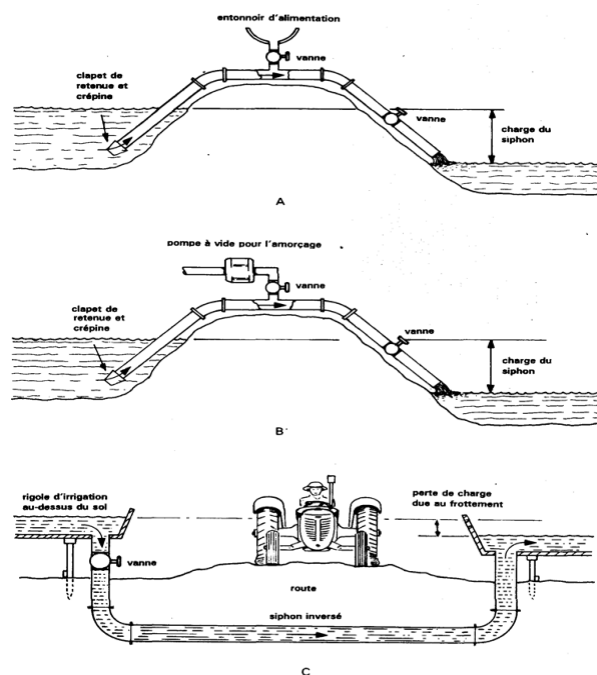


Figure I.6 : Schéma de passage en siphon

I.6.2.6. Déversoirs d'orages :

Les déversoirs d'orages sont destinés à évacuer, en cas d'orages, le débit supplémentaire transitant dans les collecteurs, ces ouvrages acheminent directement les eaux vers le milieu naturel. En outre, la station d'épuration ne peut accepter qu'un débit d'eau concentré équivalent aux maximums de 3 à 4 fois par temps sec.

Un déversoir est par conséquent, un ouvrage conçu à décharger le réseau d'une certaine quantité d'eau pluviale de façon à réagir sur l'économie des projets en réduisant les dimensions du réseau aval. On distingue plusieurs types des déversoirs :

- Les déversoirs à seuil latéral.
- Les déversoirs à seuil frontal.
- Les déversoirs avec ouverture du fond.
- Les déversoirs siphonoïdes.
- Les déversoirs automatiques.



Figure I.7 : Un déversoir d'orage

I.6.2.7. Ouvrages de stockage

❖ Bassin d'orage ou bassin de pollution

Ouvrage intercalé sur le réseau ayant pour objectif de limiter les rejets en polluants dans

❖ Bassin de retenue

Ouvrage intercalé sur le réseau ayant pour objectif d'empêcher en cas de forte pluie le débordement du réseau et les inondations des propriétés riveraines. Il répond à un objectif purement hydraulique.

I.6.2.8. Stations de pompages/ relevage

Les stations de pompage sont destinées en assainissement, à élever les eaux d'un niveau à un autre, soit pour le franchissement d'un obstacle, soit pour modifier des tracés devenus économiquement inacceptables en réseau gravitaire, ou en raison de conditions incompatibles avec les données d'aval.

Une bache de stockage temporaire ou de reprise des effluents, équipée, normalement, en amont, d'un dégrillage et d'une chambre de dessablement, ce qui est souhaitable pour limiter les effets abrasifs et assurer la pérennité des matériels hydroélectriques ;

Un ensemble hydroélectrique constitué d'une ou de plusieurs motopompes, immergées ou non, des tuyauteries et appareillages nécessaires à l'exhaure .

I.7. Les problèmes liés à l'assainissement :**I.7.1. Les anomalies qui peuvent être constatées :**

- Fissures et autres dégradations .
- Défauts d'étanchéité .
- Intrusions de racine .
- Traces de corrosion .
- Défauts de raccordement des canalisations et branchements .
- Traces de produits toxiques ou indésirables .
- Ensablement .
- Traces de mise en charge.

I.7.2. Principale cause de la dégradation des ouvrages :

D'après les observations faites à l'issue des visites du réseau d'assainissement, les causes provoquant les anomalies, dégâts et défauts de fonctionnement décrites ci-dessus peuvent être répertoriées selon deux types de phénomènes différents à savoir : les phénomènes endogènes et les phénomènes exogènes.

a) - Phénomènes endogènes :

Les causes principales de ces phénomènes endogènes sont :

- ❖ L'érosion des radiers (décrochement, disparition et affouillement) dû au drainage d'eaux chargées en produits solides et particules de sable à des vitesses élevées dans des collecteurs à forte pente.
- ❖ Le manque des périodes d'entretien et de nettoyage des collecteurs.
- ❖ La mauvaise qualité des bétons et des produits de revêtements intérieurs des collecteurs dû à l'éventualité du non-respect des normes de dosage des agrégats lors de leur mise en œuvre.
- ❖ La dégradation du génie civil des regards de visite.

b) - Phénomènes exogènes :

Les causes principales des phénomènes exogènes sont :

- ❖ La variation des contraintes statiques ou dynamique exercées sur la structure (glissement de terrain, terrassement près des réseaux principaux, tel que remblai non prévu provoquant des surcharges sur la conduite).

- ❖ Présence possible d'eaux étrangères diverse (cassure, fissuration).
- ❖ La mauvaise évaluation des poussées latérales ou axiales des sols et des surcharges ponctuelles lors de la réalisation.
- ❖ Manque d'avaloirs au niveau des branchements qui sont quasiment bouchés.

I.7.3. Les défaillances possibles des réseaux d'assainissement et leurs conséquences :

Les défaillances des réseaux d'assainissement peuvent donc être classées en cinq familles distinctes, classées en ordre décroissant par rapport aux risques structurels potentiels qui s'y rattachent et donc par rapport aux besoins de restructuration qu'elles engendrent. Il s'agit :

- Des cassures .
- Des déformations .
- Des défauts d'étanchéité .
- Des anomalies ponctuelles .
- Les dégradations de parements .

I.7.3.1. Les cassures :

Les cassures sont l'une des familles de dégradations les plus liées à des risques structurels.

Leurs conséquences sur l'intégrité de la structure des conduites sont lourdes et elles sont à l'origine de dysfonctionnements comme

- La perturbation des écoulements .
- Les entrées d'eaux parasites de nappe et des fuites d'effluent.

I.7.3.2. Les déformations

Les déformations relèvent comme les cassures d'une famille de dégradations liées à des risques structurels. Elles sont elles aussi à l'origine de désordres fonctionnels : perturbation des écoulements (infiltrations / exfiltrations).

- Affaissement d'ouvrage :

Modification du profil en long de l'ouvrage, par tassement local d'une partie courante provoquant une modification de la pente. Lorsque l'affaissement provoque une augmentation de la pente suivie d'une contre-pente localisée, il sacrée une flache.

- Affaissement de voûte : Déplacement de la voûte vers le bas avec déformation par aplatissement.

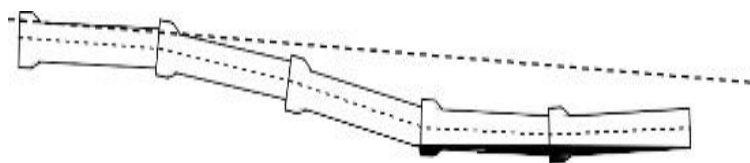


Figure I.8: Coupe longitudinale au droit d'une flache

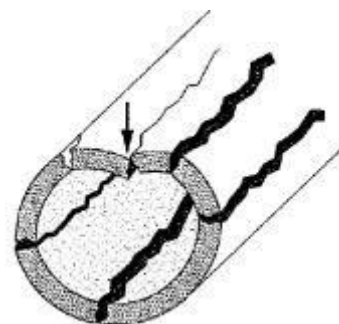


Figure I.9 : Exemple d'affaissement de voûte

I.7.3.3. Les défauts d'étanchéité :

L'autre famille de défaillances pouvant être constatée au niveau des réseaux d'assainissement est constituée par les défauts d'étanchéité. Ces dégradations peuvent être liées aux cassures et aux déformations et sont à l'origine de dysfonctionnements essentiellement hydrauliques. Leur ampleur peut également menacer l'intégrité structurelle.

- Infiltration : Introduction d'eaux parasites dans l'ouvrage par suite d'un défaut d'étanchéité.
- Exfiltration : L'exfiltration est une perte d'effluent à travers l'ouvrage par suite d'un défaut d'étanchéité.

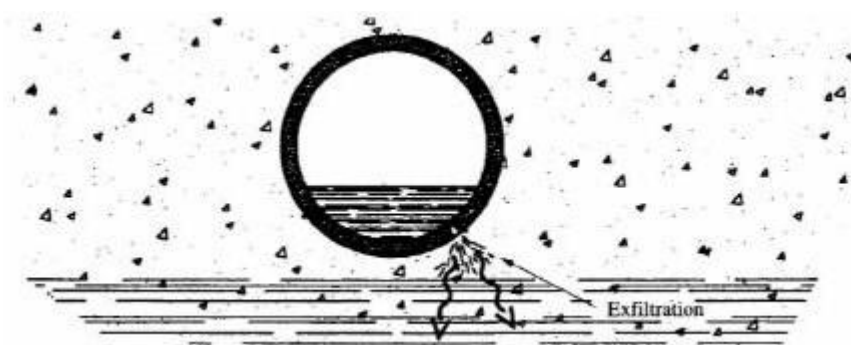


Figure I.10 : Exfiltration .

I.7.3.4. Les anomalies ponctuelles :

Du fait même de leur faible étendue, les anomalies ponctuelles ne constituent pas une menace directe et immédiate pour l'intégrité structurelle et le fonctionnement hydraulique d'une conduite. Toutefois, leur caractère évolutif présente de fait un réel niveau de risque pour la conduite.

- Intrusion : Pénétration dans l'ouvrage (ou traversée) d'un élément extérieur : racines, tuyaux, gaines...



Figure I.11 : Exemple de blocage provoqué par la présence de racines.

I.8.Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit et expliqué les différents types des réseaux d'assainissement ainsi que les divers types d'ouvrages, et nous avons également discuté des différents problèmes que l'on peut rencontrer dans le diagnostic ; la bonne maîtrise de ce dernier nous aide à faire une réhabilitation parfaite de notre réseau d'assainissement ce qui garantit la sécurité et le confort de population.

Cette étude a pour objet de relever les problèmes et les anomalies que pose le réseau d'assainissement existant, ainsi que la détermination des zones d'insuffisances afin de prévoir des travaux d'aménagement, d'entretien et de réhabilitation.



CHAPITRE II

FORMATION D'HYDROGÈNE SULFURÉ



II.1.Introduction

La présence du sulfure d'hydrogène (H_2S) dans les réseaux d'eaux usées représente un défi technique et environnemental majeur. Ce chapitre aborde le processus cinétique de sa génération, lié principalement à la stagnation des effluents et au déficit en oxygène dissous. À travers cette analyse, l'objectif est de comprendre la dynamique de ce gaz afin de mieux appréhender les solutions de prévention et de traitement dans les collecteurs.

II.2.Propriétés chimiques et physiques du sulfure d'hydrogène

II.2.1.Propriétés physiques

À température ambiante et pression atmosphérique, le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore, plus lourd que l'air, d'odeur fétide caractéristique (« œuf pourri »). La sensation olfactive n'augmente pas avec la concentration du gaz dans l'air ; il peut même arriver que l'odeur décelable à de très faibles concentrations (0,02 à 0,1 ppm) s'atténue ou même disparaisse

Forte concentration (anesthésie de l'odorat au-dessus de 100 ppm). Le sulfure d'hydrogène est soluble dans certains solvants organiques (notamment éthanol, acétone, oxyde de diméthyle, hydrocarbures, glycols) et dans l'eau (0,398 g/100 g de solution à **20°C** et 101 kPa).

Les solutions obtenues sont faiblement acides et connues sous le nom d'acide sulfhydrique ; elles s'oxydent lentement en soufre et en eau sous l'action de l'oxygène dissous. Le point triple du sulfure d'hydrogène est **-85,5°C**. Le poids spécifique du liquide est de **0,960 g/L** à **60°C** et **1737 kPa** (pression saturante).

II.2.2.Propriétés chimiques

À température ordinaire, le sulfure d'hydrogène est un composé stable. En l'absence de catalyseur, sa dissociation en hydrogène et soufre intervient à des températures très élevées. Le sulfure d'hydrogène brûle dans l'air ou l'oxygène en donnant des fumées hautement toxiques d'oxydes de soufre. C'est un composé réducteur qui peut réagir dangereusement (risque d'inflammation spontanée et d'explosion) avec les agents oxydants. Un grand nombre de métaux et d'alliages (aluminium, stellite, Inconel, aciers inoxydables 304 et 316) peuvent être utilisés au contact du sulfure d'hydrogène anhydre. En présence d'humidité, seuls les aciers inoxydables type 316 et 18-8 chrome-nickel et l'aluminium ne sont pas attaqués. La résistance des caoutchoucs et des matières plastiques au sulfure d'hydrogène est variable.

II.3. Origine de la formation du sulfure d'hydrogène

II.3.1. Origine des sulfures

Les sulfures sont responsables de la formation de **H₂S** dans les eaux usées. La présence de ces sulfures dans les réseaux d'assainissement peut résulter de deux facteurs :

L'origine des sulfures, présents dans les eaux usées urbaines, est double :

– la plus importante est la décomposition des composés soufrés, sulfates inorganiques (SO_4^{2-}) ou molécules organiques (protéines animales ou végétales, sulfonates des détergents)

par les bactéries anaérobies de type sulfatoréductrices (*Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*). Ces bactéries particulièrement résistantes croissent entre pH = 5 et pH = 9,6 à des températures comprises entre -5 °C et +75 °C et peuvent supporter des pressions élevées. Les produits terminaux de cette transformation sont des sulfures (S^{2-}), des sulfates (SO_4^{2-}) ou des composés soufrés Volatils tels que le méthylmercaptan ($\text{CH}_3\text{-SH}$) et les Diméthylsulfures ($\text{CH}_3\text{-S-CH}_3$)

– la seconde source de sulfure est le déversement d'eaux résiduelles industrielles (ERI) contenant des sulfures directement dans le réseau d'assainissement (tanneries, abattoirs, industrie de raffinage d'huile...).

La formation de sulfures est dépendante de certaines conditions telles qu'un faible taux d'oxygène dissous dans le milieu, un de temps de séjour des matières organiques suffisamment important ainsi qu'une température suffisante de l'eau. Lorsque ces conditions sont réunies, les bactéries sulfato-réductrices convertissent les sulfates en sulfures dissous. La formation d'un biofilm est une étape clé dans la formation du **H₂S**. Le biofilm comprend plusieurs couches dont une couche anaérobie permettant la génération de sulfure.

II.3.2. Mécanismes de formation de l'H₂S

La formation d'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement a été décrite par de nombreux auteurs, notamment Thistlethwayte, Pomeroy (pour l'EPA aux États-Unis), Fayoux, Boon et Lister. La première étape des formations de l'H₂S est la réduction des sulfates par des bactéries sulfato- réductrices, selon le mécanisme suivant :

Réaction générale = $\text{CH}_3\text{COOH}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{HCO}^- + \text{S}^{2-}$

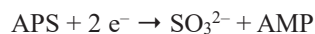
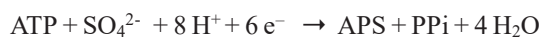
1) Catabolisme – fabrication d'énergie et de carbone rapidement biodégradable (acétate – donneur d'électrons)

Source de carbone (MVS, DBO₅) $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3\text{COOH}^-$ (acétate) + ATP

DBO₅ : demande biologique en oxygène sur 5 jours ; MVS : matières volatiles en suspension; ATP : énergie stockée sous forme d'adénosine triphosphate.

2) Transport d'électrons

3) Réduction du sulfate (accepteur terminal d'électrons) en sulfites



APS : adénosine-5'-phosphosulfate ; PPi : pyrophosphate inorganique ; AMP : adénosine monophosphate.

4) Réduction des sulfites en hydrogène sulfuré $\text{SO}_3^{2-} + 6 \text{H}^+ + 6 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$

5) Fabrication d'acide sulfurique $\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

L'H₂S produit dans l'effluent est dégagé dans l'atmosphère et il est oxydé en acide sulfurique au niveau de la paroi de la conduite ou du regard.

Les substrats qui peuvent servir de sources de carbone sont les acides gras volatils (acide butyrique, acétique), le méthanol, l'acide lactique, l'alcool...

Les bactéries sulfatoréductrices ne se développent que dans un milieu anaérobie :

- Concentration en oxygène dissous de très faible valeur (inférieure à 0,1 mg/L) à nulle ;
- Faible potentiel d'oxydoréduction : Eh inférieur : de 0 à -100 mV ;
- Le développement de ces bactéries provoque une chute importante du potentiel d'oxydoréduction, jusqu'à des valeurs allant à -300 mV Eh.

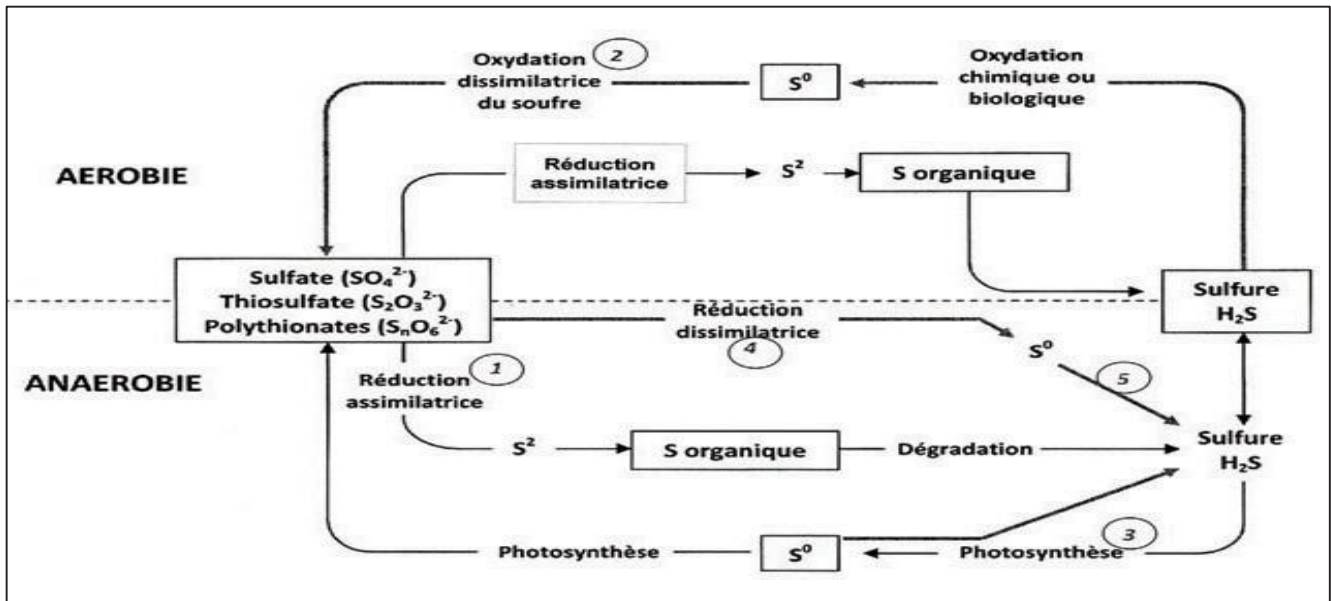


Figure II.1: Le cycle du soufre

- 1 : plantes, algues, champignons, majorité des bactéries ;
- 2 : Thiobacillus, Beggiatoa, Thiothrix, Sulfobulbus ;
- 3 : Thiobacillus thiooxydans, Beggiatoa alba, Thiothrix, Achromatium, Chromatium, Chlorobium, Rhodospirillum rubrum ;
- 4 : Desulfovibrio et Desulfotomaculum ;
- 5 : Desulfomonas.

II.3.2.1. Théorie de l'influence du biofilm en conduite dans la formation de l' H_2S

La plupart des auteurs ont développé une compréhension des mécanismes de formation de l' H_2S basée sur la théorie du biofilm, en considérant que la production de sulfure a lieu essentiellement au sein du biofilm formé sur les parois des conduites d'assainissement.

Dans une conduite d'assainissement gravitaire non complètement remplie, hormis une présence importante de dépôts, l'effluent n'est pas en condition anaérobie, car il est en contact avec l'air. L'oxygène de l'air diffuse (diffusion moléculaire) dans l'effluent et réagit rapidement, sa concentration est dans la plupart des cas suffisante (sauf si le dépôt est important) pour empêcher la réduction de sulfates présents dans l'effluent.

Un biofilm constitué de bio-masse se développe sur les parois immergées des conduites d'assainissement. En présence d'oxygène dissous dans l'effluent, celui-ci diffuse à l'intérieur du biofilm et il est rapidement consommé par des bactéries aérobies, ce qui se traduit par une épaisseur de la zone aérobie du biofilm faible (0,3 mm). En dessous de cette couche de biofilm aérobie se développe une zone d'anaérobie (limite de la diffusion de l'oxygène dans le biofilm), favorable au développement des bactéries sulfatoréductrices et à la formation des sulfures.

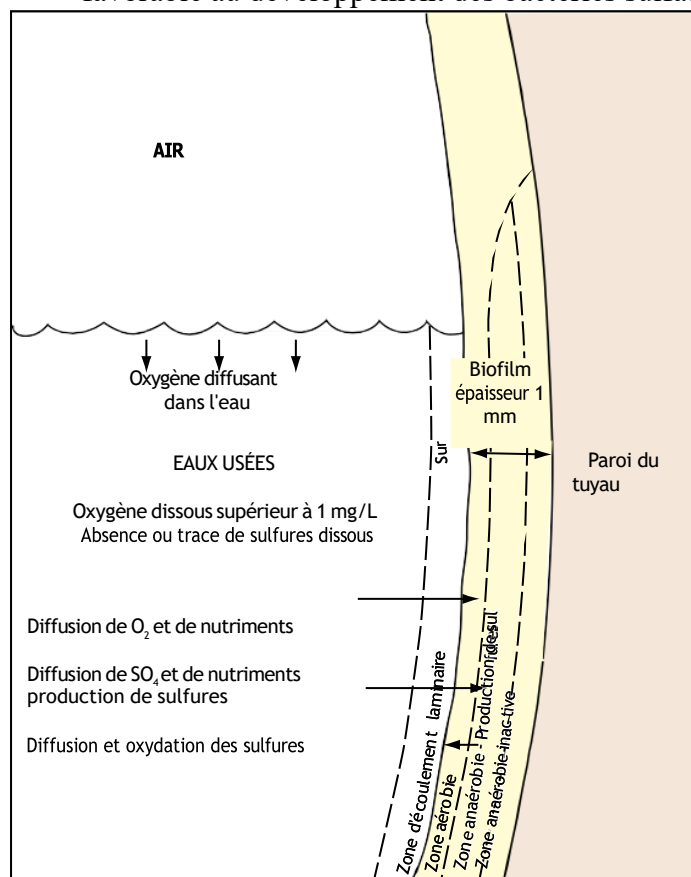


Figure II.2.: Conditions de milieu et réactions intervenant dans un effluent oxygéné

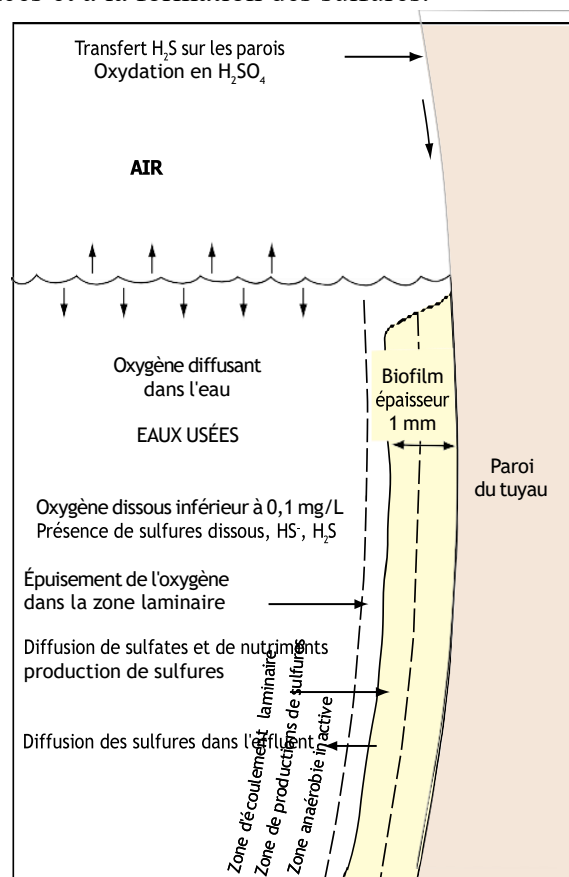


Figure II. 3: Conditions de milieu et réactions intervenant dans un effluent non oxygéné

II.3.2.2.Prise en compte des dépôts dans la production de sulfures

Christian Fayoux part de l'hypothèse que la production d' H_2S par le biofilm est marginale et qu'il faut tenir compte d'une production d' H_2S dans les dépôts présents dans les conduites d'assainissement. Son approche est basée sur la décantation des matières en suspension (MES) de l'eau brute dans les conduites. L'importance du dépôt ainsi formé est fonction des conditions hydrauliques dans la conduite. Cette dernière est donc assimilée à un décanteur primaire où les boues présentent toutes les conditions favorables à la formation d' H_2S . Son modèle prend en compte :

- Le temps de séjour probable de MES, l' H_2S étant produit par ce dépôt selon une cinétique mesurée expérimentalement ;
- La connaissance du métabolisme des bactéries sulfatoréductrices responsable de la fabrication de l' H_2S . L'absence de ces micro-organismes anaérobies stricts, ne pouvant se reproduire qu'en l'absence d'oxygène dissous, de nitrate et sous certaines conditions de potentiel d'oxydoréduction ;

Pour la production d' H_2S , les conditions préalables doivent être atteintes à l'intérieur du dépôt. Le temps nécessaire pour que les conditions favorables soient réunies est appelé temps de latence. Il dépend des caractéristiques physico-chimiques (Eh, O_2 dissous, concentration en MES...) ;

- La formation du dépôt est fonction de la vitesse de l'eau brute dans la conduite.

Les hypothèses sur les conditions liées à la vitesse sont les suivantes :

- Si la vitesse moyenne sur 24 heures est supérieure à 0,6 m/s, il n'y a pas de dépôt ;
- Si la vitesse instantanée (débit pompe/surface conduite) est supérieure à 1,5 m/s et si le temps d'application de la vitesse est supérieur à une minute, le dépôt est remis en suspension et se redépose éventuellement plus loin. Il est défini ainsi une zone de dépôt renouvelable générateur d' H_2S ;
- Si la vitesse instantanée est supérieure à 1,5 m/s et si le temps d'application de cette vitesse est maintenu pendant une minute, les boues sont partiellement remises en suspension ;
- Si la vitesse instantanée est inférieure à 1,5 m/s, rien ne se passe au niveau du dépôt.

Lorsque le dépôt n'est jamais remis en suspension, la zone de dépôt n'est pas renouvelée, elle est donc dite permanente et son activité est faible.

II.4. Prévision qualitative de production de sulfures

II.4.1. Réseau gravitaire

$$Z = 3 \cdot (\text{DBO5}) \cdot 1,07^{T-20^{\circ}\text{C}} \cdot P_m / (I^{1/2} \cdot Q^{1/3} \cdot b)$$

Avec : DBO5 = concentration en DBO5 en mg/L ;

T = température de l'effluent en °C ; P_m = périmètre mouillé en mètre ; I = pente de la conduite en m/m ; b = largeur à la surface en m ; Q = débit de l'effluent en L/s.

Si $Z < 5\,000 \rightarrow$ pas de sulfures ;

Si $5\,000 < Z < 7\,500 \rightarrow$ quelques mg/L de sulfures ; Si $Z > 10\,000 \rightarrow$ odeur de sulfures

Si $Z > 20\,000 \rightarrow$ présence de sulfures dissous en permanence.

Note : cette formule est « pessimiste » pour les petits diamètres et « optimiste » pour les grands diamètres.

II.4.2. Réseau sous pression (Christian Fayoux)

Se reporter au *tableau* .

Tableau II.1: Grille d'évaluation des risques

Température Note	5 °C 0	10 °C 2	15 °C 4	20 °C 10	> 20 °C 20
Temps de séjour Note	1 h 0	3 h 1	6 h 4	12 h 6	24 h 15
Vitesse moyenne 24 heures	1 m/s	0,8 m/s	0,6 m/s	0,4 m/s	0,2 m/s
Note – vitesse instantanée 0,6 m/s	–	–	–	10	15
Note – vitesse instantanée 1,0 m/s	0	1	2	6	10
Note – vitesse instantanée 1,5 m/s	0	0	0	2	6
Historique Effluent – Eh mV Note	+ 200 0	+ 100 3	0 15	– 100 30	– 200 > 30

Si la somme des points est comprise entre 0 et 5 : risque nul, entre 5 et 10 : risque faible, entre 10 et 30 : risque important, entre 20 et 30 : risque certain.

Pour le choix des paramètres, il faut prendre : le maximum possible pour la température et le temps de séjour (débit nocturne), le minimum de vitesse moyenne (débit nocturne).

II.5. Les facteurs favorables à la production de sulfure d'hydrogène

Il est important de connaître les facteurs influençant la production de H_2S afin de pouvoir identifier plus précisément les zones favorables à la production l'émission d'hydrogène sulfurée. Cela permet également d'évaluer le risque lié au

II.5.1. Les facteurs influençant la formation de H_2S

Concentration en matière organique, en DCO, en DBO_5 et en MES

Ces concentrations permettent de caractériser l'effluent ainsi que son état de septicité. Une forte concentration de ces éléments favorise la formation de H_2S .

Concentration en sulfates

Les sulfates étant responsables de la formation des sulfures, leur présence est donc indispensable à la formation du H_2S .

Temps de séjour de l'effluent dans la conduite de refoulement

Un temps de séjour important permet au mécanisme de formation de H_2S de se mettre en place et de durer plus longtemps.

La vitesse instantanée et moyenne en 24h de l'effluent

A l'instar du temps de séjour la vitesse va influencer sur le transport solide, les dépôts ainsi que sur l'auto-curage.

La température de l'effluent

La formation de sulfures augmente significativement avec une augmentation de température de manière non linéaire. En contexte de réchauffement climatique ce facteur pourrait devenir le plus préoccupant dans les années à venir.

Les conditions physico-chimiques

L'équilibre $H_2/HS^-/S^{2-}$ et donc la formation de sulfure sont directement impacté par le pH. Pour un pH entre 5,5 et 9,5 la production de bactéries sulfato-réductrices est quasiment inhibée.

Le potentiel redox du milieu doit être négatif et le potentiel hydrogène doit être faible pour qu'il ait formation de sulfure.

Concentration en O_2 dissous

La formation de sulfures se réalise en milieu anaérobie ainsi la concentration en oxygène dissous doit être inférieure à 0,1 mg/L pour que le mécanisme de réduction des sulfates se mette en place.

Surface du dépôt

Une surface de dépôts importante favorise directement la formation de sulfures.

II.5.2. Les facteurs influençant la libération de sulfure d'hydrogène dans l'air

Le temps de séjour de l'effluent dans la conduite ou l'ouvrage d'assainissement Le temps de séjour à une influence complexe sur le transfert liquide gaz.

La vitesse de l'effluent

L'influence de la vitesse de l'effluent sur le coefficient de transfert liquide/gaz du H_2S a été constatée. Les paramètres de turbulence de l'écoulement permettent de prévoir l'évolution du coefficient de transfert liquide/gaz sur différents systèmes complexes. Les études menées à ce sujet doivent être élargies sur davantage de systèmes et de conditions d'écoulement pour consolider les résultats obtenus.

La turbulence

Les turbulences d'un effluent chargé en H_2S favorisent le transfert liquide gaz. Ces turbulences apparaissent le plus souvent au niveau des postes de refoulement et au niveau de leur exutoire.

Les chutes d'eau

Il a été constaté un stripping au niveau des chutes d'eau et l'émission de gaz est d'autant plus importante que la chute est élevée. L'influence du débit a été également observée.

La concentration en H_2S

Une concentration importante de H_2S dans l'effluent induit une émission plus conséquente de H_2S dans l'air. Des observations ont pu être réalisées en laboratoire sur un poste de refoulement expérimental.

Tableau II.2: Paramètres et conditions favorables au développement du sulfure d'hydrogène :

Paramètres	Valeurs
Température (° C)	Négligeable en dessous de 10°C et prépondérante au-dessus de 15°C
pH	5.5 < pH < 8.5 sont les conditions de développement de l'H ₂ S
Potentiel redox (mV/H ₂)	Seuil d'alerte à partir de E < + 50
Vitesse moyenne du flux (m/s)	A partir de 0.2 m/s
Temps de séjour moyen journalier (h)	Influence la formation de l'H ₂ S lorsqu'il est supérieur à 2h
Concentrations en DCO* et MVS*	Une forte concentration favorise la réduction des sulfures.

* **DCO** : demande Chimique en Oxygène

* **MVS** : Matière Volatile Sèche

II.6. Les lieux et zones de formations du H_2S dans les réseaux d'assainissements

Les conditions de formations du H_2S dans les réseaux d'assainissement permettent de définir les zones favorables à son développement et sa libération dans l'air.

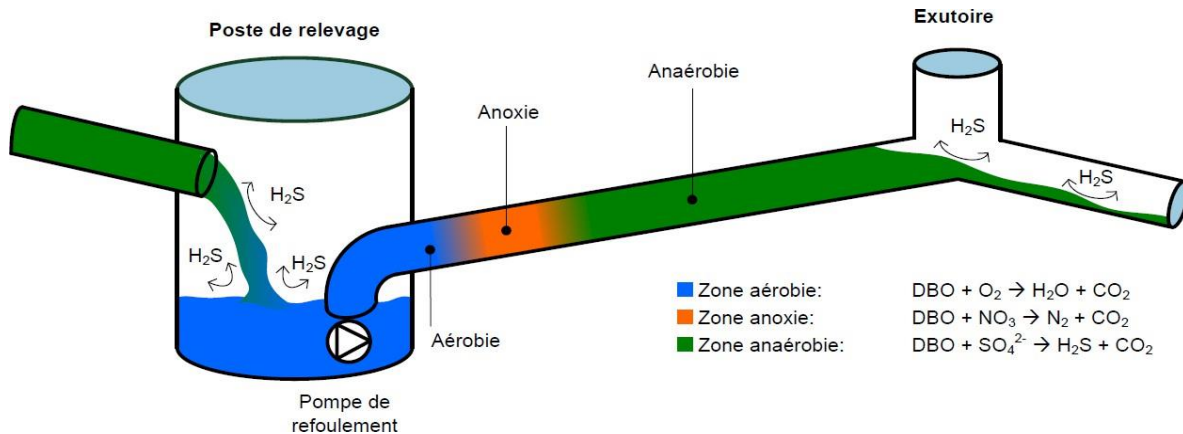


Figure II.4 : Formation et émission du H_2S dans un réseau d'assainissement

Les conduites de refoulement d'eaux usées sont les principaux lieux de formation du H_2S . Ces conduites étant continuellement en charge elle constitue un milieu anaérobie propice au développement de H_2S . De plus, des temps de séjour potentiellement élevés peuvent favoriser les dépôts de matière organique ainsi que la formation de biofilm. Les exutoires de conduite de refoulement sont ainsi des zones préférentielles à la libération de H_2S préalablement formé. La présence d'une chute d'eau en sortie de conduite ainsi que des turbulences au niveau de l'exutoire amplifie le stripping, c'est-à-dire le dégagement du gaz dans le milieu aérien.

Les zones à faible vitesse d'écoulement ou bien à temps de séjour élevé sont également propices dans une moindre mesure à la formation du H_2S . Les postes de refoulements par exemple correspondent à ces critères. L'agglomération de matière organique peut parfois former une croûte en surface et créer ainsi des « poches » d' H_2S dans lesquels le gaz se retrouve piégé entre la surface de l'eau et la croûte.

II.7. Cinétique de production de l' H_2S

Différents modèles numériques ont été établis par de nombreux auteurs, pour la plupart fondés sur la théorie du biofilm.

Il est certain qu'il vaut mieux disposer de mesures effectuées sur le site, plutôt que de faire confiance à des formules, même si celles-ci ont été déterminées expérimentalement. L'utilité de formules prévisionnelles n'en demeure pas moins réelle si l'on veut obtenir un ordre de grandeur ou concevoir un réseau.

II.7.1. Modèles basés sur la théorie du « bio-film » en conduite de refoulement

❖ Formule de Thistelthwayte

$$dS/dt \text{ (mg/L/h)} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot V_s \cdot (DBO_5)^{0,8} \cdot (SO_4^{2-})^{0,4} \cdot 1,139^{T-20^\circ C} \cdot Rh^{-1}$$

Nota : cette formule est valable pour un pompage en continu.

Avec : V_s = vitesse moyenne en m/s ; Rh = rayon hydraulique en m ($Rh = S_m/P_m = \varnothing/4$ pour une conduite circulaire) ; S_m = surface mouillée ; P_m = périmètre mouillé ; DBO_5 = concentration en DBO_5

En mg/L ; SO_4^{2-} = concentration SO_4^{2-} en mg/L ; T = température de l'effluent en $^\circ C$; dS/dt = variation de la concentration en sulfures dans l'effluent exprimée en mg/L/h.

Concentration finale en sulfure, en supposant une concentration initiale nulle.

$$C_s^{2-} = dS/dt \times T_{SH} \quad ;$$

$$C_s^{2-} = \text{concentration en } S^{2-} \text{ en mg/L ;}$$

T_{SH} = temps de séjour hydraulique en heure = débit moyen 24 heures/volume de la conduite

dS/dt = en mg/L/h ;

T_{SH} = temps de séjour en heure.

❖ Formule de Pomeroy

$$dS/dt \text{ (mg/L/h)} = 1,0 \cdot 10^{-3} \cdot (DBO_5) \cdot 1,07^{T-20^\circ C} \cdot Rh^{-1} \cdot (1+0,37 \cdot \varnothing)$$

Note : cette formule est valable pour un pompage en discontinu.

Avec : $\varnothing$ = diamètre de la conduite en m ; Rh = rayon

hydraulique en m ($Rh = S_m/P_m = \varnothing/4$ pour une Conduite circulaire)

S_m = surface mouillée ; P_m = Périmètre mouillé

DBO_5 = concentration en DBO_5 en mg/L ; T = température de l'effluent en $^\circ C$; dS/dt = variation de la concentration en sulfures dans l'effluent exprimée en mg/L/h ;

$$C_s^{2-} = dS/dt \times T_{SH} \quad ;$$

C_s^{2-} = concentration en S^{2-} en mg/L ; T_{SH} = temps de séjour en heure.

❖ Formule de Boon & Lister [1975]

$$dS/dt \text{ (mg/L/h)} = 0,228 \cdot 10^{-3} \cdot (\text{DCO}) \cdot 1,07^{T-20^{\circ}\text{C}} \cdot Rh^{-1} \cdot (1+0,37 \cdot \emptyset)$$

Note : cette formule est valable pour un pompage en discontinu.

Avec : $\emptyset$ = diamètre de la conduite en m ; Rh = rayon hydraulique en m ($Rh = Sm/Pm = \emptyset/4$ pour une conduite circulaire) ; Sm = surface mouillée ; Pm = périmètre mouillé ; DCO = concentration en DCO en mg/L ; T = température de l'effluent en °C ; dS/dt = variation de la concentration en sulfures dans

l'effluent exprimée en mg/L/h ;

$$C_s^{2-} = dS/dt \times T_{SH} ;$$

C_s^{2-} = concentration en S^{2-} en mg/L ; T_{SH} = temps de séjour en heure.

II.7.2. Modèles basés sur la théorie du « bio-film » en conduite gravitaire

❖ Formule de Pomeroy et Parkhurst [1972]

$$dS/dt \text{ (mg/L/h)} = 0,32 \cdot 10^{-3} \cdot (\text{DBO}_5) \cdot 1,07^{T-20^{\circ}\text{C}} \cdot Rh^{-1} - N^* \cdot (I \cdot V)^{3/8} \cdot (S^{2-}) \cdot d_m^{-1}$$

Note : Cette formule comprend un terme positif (formation du sulfure dans le biofilm) et un terme négatif prenant en compte les pertes de sulfures par dégagement dans l'atmosphère et des sulfures oxydés dans l'effluent.

Avec : $\emptyset$ = diamètre de la conduite en m ; Rh = rayon Hydraulique en m ($Rh = Sm/Pm = \emptyset/4$ pour une conduite circulaire)

; Sm = surface mouillée ; Pm = périmètre mouillé ; DBO_5 = concentration en DBO_5 en mg/L ;

T = température de l'effluent en °C ; dS/dt = variation de la concentration en sulfure dans l'effluent exprimée en mg/L/h ; I = pente en m/m ; V = vitesse moyenne en m/s ; d_m = profondeur hydraulique

moyenne en m (surface de l'écoulement sur la largeur de la surface libre). $C_s^{2-} = dS/dt \times T_{SH}$

S^{2-} = concentration en S^{2-} en mg/L ; T_{SH} = temps de séjour en heure ;

$N^* = 0,64$ pour l'obtention d'une variation de concentration maximale en sulfures ;

$N^* = 0,96$ pour l'obtention d'une variation de concentration moyenne en sulfures.

❖ **Formule prenant en compte la DCO à la place de la DBO₅**

$$dS/dt \text{ (mg/L/h)} = 0,073 \cdot 10^{-3} \cdot (\text{DCO}) \cdot 1,07^{T-20^{\circ}\text{C}} \cdot R_h^{-1} - N^* \cdot (I \cdot V)^{3/8} \cdot (S^{2-}) \cdot d^{-1}$$

DCO = concentration en DCO en mg/L.

*N = 0,64 pour l'obtention d'une variation de concentration maximale en sulfures.

N = 0,96 pour l'obtention d'une variation de concentration moyenne en sulfures.

II.7.3. Modèles basés sur la formation des sulfures par les dépôts en conduite de refoulement

❖ **Formule empirique conduite pleine circulaire**

$$dS/dt \text{ (mg/L/h)} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot (\text{DBO}_5) \cdot 1,07^{T-20^{\circ}\text{C}} \cdot (1+0,4 \cdot \emptyset) / \emptyset$$

Avec : $\emptyset$ = diamètre de la conduite en m ; DBO₅ = concentration en DBO₅ en mg/L ; T = température de l'effluent en °C ; dS/dt = variation de la concentration en sulfures dans l'effluent exprimée en mg/L/h

❖ **Modèle développé par Fayoux**

Cette modélisation est de la forme :

$$F_s = R \cdot F_{MVS} \cdot \alpha_{O_2} \beta_{EH} \cdot 2^{(T-20)/T} \text{ Où : } F_s = \text{flux journalier de sulfures produits.}$$

Si le flux produit est supérieur au flux de SO_4^{2-} ,

Alors $F_s = F_{\text{SO}_4}$; R = taux d'hydrolyse des MVS. Ce taux d'hydrolyse tient compte du temps de séjour des MES dans la canalisation en fonction des régimes d'écoulement (vitesse moyenne, vitesse instantanée, temps d'arrêt)

FMVS = flux journalier des matières volatiles hydrolysables. Il est donc égal au (flux de MES × taux de MV) – (flux de MES × taux de MV non hydrolysables) ;

α_{O_2} = coefficient pondérateur de la présence d'oxygène. Ce coefficient est le rapport (temps d'anaérobiose moins temps de consommation d'oxygène) sur temps d'anaérobiose. Si α_{O_2} est négatif, alors $\alpha_{O_2} = 0$;

β_{EH} = coefficient pondérateur du potentiel d'anoxie. Ce coefficient est le rapport (temps d'anaérobiose – temps d'anoxie) sur temps d'anaérobiose. Si β_{EH} est négatif, alors $\beta_{EH} = 0$.

II.8.DISPOSITIFS DE DETECTION DE L'HYDROGENE SULFURE DANS L'AIR:

Le sulfure d'hydrogène (H_2S) est un gaz incolore, hautement toxique et inflammable, caractérisé par son odeur fétide d'œuf pourri à de faibles concentrations. Présent à la fois dans l'air (émanations industrielles, réseaux d'assainissement, milieux naturels géothermiques) et dans l'eau (eaux souterraines anoxiques, stagnation, activité de bactéries sulfato-réductrices), le H_2S représente un danger mortel majeur pour la santé humaine et une cause principale de corrosion accélérée des infrastructures. Le choix d'une méthode de détection adaptée est donc crucial pour la sécurité et la gestion environnementale.

II.8.1.. Méthodes de Détection du H_2S dans l'Air

II.8.1.1.Capteurs Électrochimiques

Ces capteurs mesurent la concentration de H_2S par une réaction d'oxydoréduction à la surface d'une électrode, générant un courant électrique proportionnel à la quantité de gaz présent.

- **Avantages :** Faible coût, excellente sensibilité aux faibles concentrations (ppm), portabilité idéale pour les détecteurs individuels d'EPI, et faible consommation d'énergie.
- **Inconvénients :** Sensibilité transitoire à d'autres gaz (interférences avec le CO , SO_2), durée de vie limitée (2-3 ans) due à l'épuisement de l'électrolyte, et risque de saturation en cas de forte exposition.

II.8.1.2. Capteurs à Semi-conducteurs d'Oxyde Métallique (MOS)

Le H_2S interagit avec la surface d'un film d'oxyde métallique chauffé (ex. SnO_2), modifiant sa résistance électrique de manière mesurable.

- **Avantages :** Très grande robustesse, durée de vie élevée, performance optimale dans les environnements extrêmes (températures élevées ou très basses, humidité variable).
- **Inconvénients :** Consommation électrique élevée (nécessite un chauffage interne), manque de sélectivité, et temps de réponse plus lent que les capteurs électrochimiques.

II.8.1.3. Tubes Colorimétriques

Une pompe manuelle fait passer un volume d'air précis à travers un tube en verre contenant un réactif chimique qui change de couleur proportionnellement à la teneur en H_2S .

- **Avantages :** Méthode instantanée, économique pour des mesures ponctuelles, aucune alimentation électrique ou étalonnage requis.
- **Inconvénients :** Mesure ponctuelle uniquement (pas de surveillance continue), précision modérée (+/- 15%), et coût récurrent par échantillon.

II.8.1.4. Méthodes Optiques Évoluées (TDLAS / Fluorescence UV)

Utilisation de faisceaux laser réglés sur la fréquence d'absorption spécifique de la molécule de H_2S pour obtenir une quantification de haute précision.

- **Avantages :** Précision absolue (échelle du ppb), temps de réponse quasi-instantané, aucune interférence chimique, et entretien très réduit.

- **Inconvénients** : Coût d'investissement initial extrêmement élevé, équipement volumineux et lourd, principalement réservé aux stations fixes ou aux laboratoires.

II.8.2. Méthodes de Détection du H₂S dans l'Eau

II.8.2.1. Méthode au Bleu de Méthylène (Spectrophotométrie)

Les sulfures présents dans l'eau réagissent avec le N,N-diméthyl-p-phénylènediamine en présence de chlorure de fer pour former du bleu de méthylène, mesuré par spectrophotométrie.

- **Avantages** : Méthode standard reconnue internationalement (méthode de référence), haute sensibilité et reproductibilité fine en laboratoire.
- **Inconvénients** : Nécessite la manipulation de produits chimiques toxiques, processus fastidieux, inadapté à une analyse en temps réel sur le terrain.

II.8.2.2. Électrodes Sélectives d'Ions (ISE - Sulfure)

Une sonde potentiométrique mesure le potentiel électrique créé à travers une membrane sélective en fonction de l'activité des ions sulfures (S²⁻) dans la solution.

- **Avantages** : Mesure directe et en continu possible, large plage de mesure dynamique.
- **Inconvénients** : Nécessite un ajustement strict du pH (généralement à un pH > 12 via un tampon SAOB) car l'électrode ne détecte que la forme ionique S²⁻ et non le H₂S moléculaire dissous.

II.8.2.3. Stripage de Gaz (Gas Stripping Analysis)

L'eau est acidifiée pour convertir tous les sulfures en H₂S gazeux dissous, puis un gaz vecteur (comme l'azote ou l'air pur) extrait le H₂S vers un capteur de phase gazeuse.

- **Avantages** : Élimine complètement les interférences de la matrice liquide (turbidité, métaux lourds), permet d'utiliser des capteurs de gaz très précis.
- **Inconvénients** : Système mécanique complexe (pompes, régulateurs de débit), maintenance rigoureuse requise, coût plus important.

II.9. Conclusion

Pour la sécurité industrielle et la protection des opérateurs dans l'air, le couplage de détecteurs individuels électrochimiques (pour la protection immédiate) avec des systèmes fixes de type MOS ou laser est recommandé. Concernant l'analyse de l'eau, si la précision réglementaire exige la méthode au bleu de méthylène, le suivi des processus industriels en continu s'orientera préférentiellement vers les sondes ISE avec conditionnement d'échantillon ou les systèmes de stripage.



CHAPITRE III

LES IMPACTS DE SULFURE D'HYDROGÈNE



III.1.INTRODUCTION

Le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore d'odeur fétide caractéristique. . Étant plus lourd que l'air, le H_2S reste principalement au-dessus de la surface de l'eau dans les réseaux d'assainissement.

Le H_2S est source de trois types de danger :

- Gaz extrêmement inflammable
- Mortel par inhalation
- Très toxique pour les organismes aquatiques

L'hydrogène sulfuré est un gaz asphyxiant pouvant provoquer plusieurs symptômes en fonction de l'exposition et dans le pire cas pouvant entraîner la mort.

III.2..Risques et conséquences de la présence d'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement

III.2.1.Risque de sécurité sanitaire et nuisances

III.2.1.1.Le sulfure d'hydrogène : dangers et risques pour l'homme

III.2.1.1.1.Toxicité aiguë et sur aiguë sur l'homme

Du fait de son odeur caractéristique le H_2S est facilement repérable et cela pour de faibles concentrations, aux alentours de 1 ppm. Toutefois la sensibilité olfactive étant propre à chacun, le seuil de perception peut différer selon les individus. Il faut tout de même se méfier du capteur olfactif car l'odeur ne varie pas selon la concentration de H_2S présente et au-delà d'une concentration d'environ 150 ppm il se produit une paralysie olfactive . Le sulfure d'hydrogène est donc indétectable au nez pour des concentrations élevées.

Tableau III.1 : Effets liés à une exposition aiguë au H_2S .

Concentration en H_2S (en ppm)	Effets
10-20	Seuil d'irritation oculaire
50-100	Dommages oculaire sérieux
150-250	Perte du sens olfactif
320-530	Œdème pulmonaire et risque de mort
530-1000	Forte stimulation du système nerveux central, hyperapnée suivie d'un arrêt respiratoire
1000-2000	Collapse immédiat avec paralysie respiratoire

III.2.1.1.2. Toxicité subaiguë et chronique

La plupart des informations et des études menées sur l'exposition subaiguë et chronique au H_2S sur l'homme sont limitées. Toutefois certaines mettent en exergue l'apparition de plusieurs symptômes .

Tableau III. 2 : Symptômes liées à une exposition subaiguë et chronique au H_2S

Organes affecté	Signes cliniques
Système nerveux	Céphalée, fatigue, insomnie, perte de la libido, troubles de la mémoire
Système oculaire	Irritation oculaire avec sensation de brûlure, inconfort, photo phobies Apparition de ces signes quelques heures la suite d'une exposition à faible dose et s'estompant au bout de 24h à 72h après l'arrêt de l'exposition
Système digestif	Nausée, douleurs abdominales
Autres organes	Bronchites irritatives et irritation cutanée

Le H_2S dans les réseaux d'assainissement est le risque majeur pour les professionnels intervenant sur le réseau. Le code du travail précise les valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes dans l'air des lieux de travail .

Tableau III. 3 : Valeurs limites d'exposition professionnelle du H_2S .

VME ¹ (mg/m ³)	VME ¹ (ppm)	VLCT ² (ppm)	VLCT ² (mg/m ³)
7	5	10	14

¹ VME : Valeur moyenne d'exposition (exposition sur 8h)

² VLCT: Valeur limite de court durée (exposition sur 15 min)

III.2.1.1.3. Les nuisances olfactives

L'hydrogène sulfuré peut être source de nuisances olfactives liées directement à son odeur caractéristique d'œuf pourri. En effet cette odeur est perceptible à de faibles concentrations. L'odeur du sulfure d'hydrogène ainsi que les odeurs des autres composés présents dans les réseaux et en station de traitement sont sources de mécontentements des riverains ainsi que d'une dégradation des conditions de travail des agents. Les riverains étant de plus en plus sensibles aux nuisances olfactives, elles sont devenues une réelle problématique pour les collectivités et les exploitants .

Malgré ces désagréments il n'y a pas de réglementation vis-à-vis du traitement des odeurs . Toutefois des principes réglementaires sur les odeurs existent et régissent essentiellement les

installations classées pour l'environnement (ICPE). La loi sur l'air et le code du travail font également parties de ces principes . On retiendra deux textes dans le cadre de la lutte contre les odeurs sur les réseaux d'assainissements et les stations de traitements des eaux usées :

- L'arrêté du 01/03/1993 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau, ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.
- L'arrêté du 02/06/1998 relatif aux règles techniques, auxquelles doivent satisfaire les installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2680-2 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. Le dernier texte paru au Code Permanent Environnement et Nuisances, l'arrêté du 2 juin 1998, suggère entre autres : « les odeurs sont dans la mesure du possible captées à la source et canalisées ... » et « les dispositions sont prises pour limiter, les odeurs provenant du traitement des effluents ... ».

Ainsi, lorsque des nuisances sont constatées sur des installations d'assainissement, les interventions diffèrent selon le type d'installation.

✓ Station de traitement considérée comme une ICPE

Elles sont soumises à déclaration ou à autorisation en fonction de la gravité de leurs dangers et de leurs inconvénients. Des arrêtés types pour les installations soumises à déclaration ainsi que des arrêtés ministériels et des instructions techniques pour les installations soumises à autorisation ont été publiés par le ministère de l'Environnement pour assurer une homogénéité des prescriptions fixées par le préfet.

✓ Installations non visées par la nomenclature des ICPE

Le maire disposant des pouvoirs de police et grâce au règlement sanitaire départemental, il peut exiger de l'exploitant de préserver mieux la tranquillité ou le bien-être de ses administrés. Il veillera à l'exécution de ces dispositions.

Un particulier peut également intervenir de plusieurs manières en cas de nuisances :

- Le dépôt d'une plainte auprès du procureur de la république.
- Le dépôt d'une plainte devant le tribunal administratif contre le maire de sa commune dans le cas où les nuisances olfactives proviennent du fait ne pas avoir fait respecter un arrêté municipal permettant la réduction de ces nuisances ou ne pas avoir rédigé ce dernier.
- Une demande de l'application de l'article 26 sur les installations classées au tribunal administratif.

Les exigences vis-à-vis des odeurs grandissent étant donné que le seuil de tolérance des citoyens est de

moins en moins élevé. Il semble donc nécessaire pour les exploitants et les collectivités de trouver des solutions pertinentes afin de minimiser cette problématique.

III.2.2.Dégradation des ouvrages et des infrastructures

Le sulfure d'hydrogène représente une menace pour la pérennité des infrastructures d'assainissement au niveau du réseau mais aussi des stations de traitement d'eaux usées (STEP).

III.2.2.1.Dégradations des bétons et des métaux

III.2.2.1.1.Dégradation des bétons

La dégradation des bétons est le résultat d'un processus de plusieurs étapes. Tout d'abord le H_2S présent dans l'air va acidifier la surface de la paroi cimentaire. Le gaz va être absorbé à la surface du matériau et se condenser en H_2S liquide en présence d'eau également condensée. Ce phénomène va induire une augmentation du pH au niveau de la paroi de l'ouvrage. La carbonatation permet également l'augmentation du pH toutefois de manière minoritaire.

Cette élévation du pH va permettre le développement de microorganismes et de bactéries sulfo-oxydante au niveau des parois formant ainsi un biofilm. L' H_2S présent dans l'air va donc être oxydé en plusieurs espèces soufrées qui vont être à leur tour oxydées par le biais des bactéries formant le biofilm pour ainsi générer de l'acide sulfurique (H_2SO_4).

L'acide sulfurique va ensuite réagir avec les produits issus du matériau cimentaire pour former de l'ettringite ou du gypse au niveau des parois en contact avec le ciel gazeux.

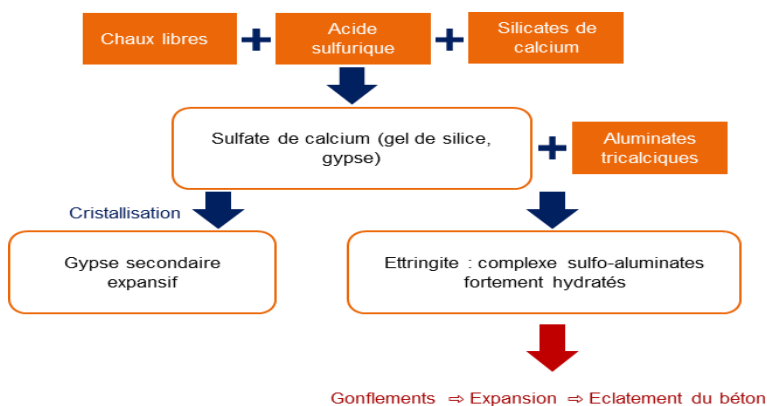


Figure III.1 : Processus de dégradation des bétons

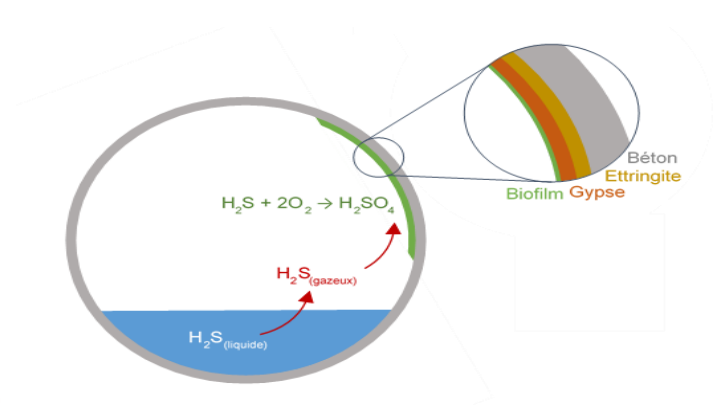


Figure III. 2 : Formation d'acide sulfurique dans une conduite

Les classes d'expositions (XA1, XA2, XA3) définies dans la norme FD P18-011 permettent

d'avoir des recommandations des matériaux à utiliser en fonction de la concentration moyenne de **H₂S** dans le milieu aérien (Tableau 4) . L'ajout d'une solution hydraulique ou pouzzolanique dans le but de limiter la teneur en portlandite dans les ciments permet de leur octroyer une meilleure résistance face aux solutions acides. Pour un milieu de classe d'exposition XA3 c'est-à-dire pour une concentration en **H₂S** comprise entre 10 et 200 ppm, il est recommandé de réaliser les matériaux cimentaires à base de ciment CEM III/A,B et C, CEM IV/B, CEM V/A et B ainsi qu'à base de ciment sursulfaté et d'aluminates de calcium . Pour des milieux excédant les concentrations de la classe XA3 l'application de revêtements sur les bétons est préconisée.

Tableau III.4 : Classes d'expositions des bétons aux **H₂S** définies dans le fascicule FD P18-011

Classe d'exposition	XA1	XA2	XA3
Concentration moyenne de H₂S (ppm)	< 0.1	> 0.1 et ≤ 10	> 10 et ≤ 200

Une étude a été menée afin de mieux comprendre les mécanismes de bio détérioration des matériaux sédimentaires . Il a été démontré que les mortiers à base de ciments d'aluminate ont une résistance bien supérieure aux mortiers à base de ciment CEM I, II, III, IV et V. Ces mortiers peuvent également avoir une bonne durabilité pour une exposition au **H₂S** dépassant la classe XA3.

Il a été mis en évidence que l'actuelle définition des classes d'expositions des bétons vis -à - vis du **H₂S** n'est plus tout à fait adaptée aux conditions réelles d'expositions sur les réseaux d'assainissement. Les valeurs de concentrations maximales ou bien les valeurs de concentrations moyennes ne permettent pas d'évaluer avec certitude le risque de corrosion des ouvrages. En effet, la valeur de concentration maximale peut être atteinte très ponctuellement et la valeur moyenne ne reflète pas l'observation de pics de concentrations de **H₂S** . Il a été établi que l'utilisation du troisième quartile dans le choix de l'indicateur d'exposition est la plus pertinente. Le troisième quartile est la valeur qui sépare les 75% des valeurs mesurées inférieures des 25 % supérieures. . Il a été préconisé d'établir une nouvelle définition des classes d'expositions en fonction du troisième quartile comme suit (Tableau 5)

Tableau III. 5 : Nouvelle classe d'exposition préconisées

Classe d'exposition	XA1	XA2	XA3
Concentration en H_2S : Troisième quartile	< 8ppm	> 8 ppm et < 15 ppm	> 15ppm

Ces nouvelles classes d'expositions permettent d'apprécier de manière plus optimale les risques de corrosions du béton et de définir des classes plus adaptées à l'environnement. Toutefois ces classes ont été établies de manières expérimentales, elles nécessitent donc des essais complémentaires pour affiner et confirmer les expériences déjà menées. Elles peuvent déjà servir d'appuis et de complément dans le choix d'un matériau cimentaire en plus de la norme actuelle en vigueur.

Les impacts de corrosion du béton sont différents en fonction de l'état d'avancement de la dégradation. Une légère corrosion se traduit par un aspect rugueux du mortier. Des granulats visibles signifient une corrosion plus importante. Lorsque la corrosion est très avancée on observe un éclatement du béton et parfois le filetage métallique de la structure. Les annexes 7 et 8 sont des photos d'ouvrages ayant subi des dégradations liées au H_2S . La vitesse de corrosion du béton dépend :

- de la turbulence du flux des eaux usées (dégazage d' H_2S dans l'atmosphère et oxydation en acide sulfurique).
- de la ventilation des réseaux.
- de la surface de contact entre l'effluent et l'atmosphère

III.2.2.1.2. Corrosion des métaux

Les réactions entre le H_2S et les métaux sont nombreuses notamment avec le fer et le cuivre. Les aciers faiblement alliés ont une faible résistance face aux agressions du H_2S et de l'acide sulfurique. Ils ne sont donc pas recommandés s'il y a un risque de présence de H_2S . Le H_2S ne dégrade pas l'aluminium en milieu sec, toutefois dans une atmosphère humide il peut être attaqué par piqûres. L'aluminium n'est ainsi pas conseillé dans les stations d'épurations. Les métaux étant impactés par le H_2S , les appareils électroniques sont également sensibles à la présence de ce gaz.

L'acier inoxydable est faiblement attaqué par le H_2S dans les milieux aqueux et dans des atmosphères sèches. Dans les atmosphères humides bien qu'il soit résistant on peut observer des attaques par piqûres. Afin d'obtenir une meilleure résistance, il convient d'utiliser des inox chargés en éléments d'alliage. L'ajout de molybdène dans la composition de l'inox va favoriser sa résistance à la corrosion et parer la corrosion cavernueuse. Les différentes nuances d'inox n'étant pas différenciable à l'œil nu il est nécessaire de vérifier le produit fourni dans le cas où il n'est pas marqué. Des réactifs rapides et non destructifs permettent de vérifier la présence de molybdène dans l'inox par le biais d'une coloration.

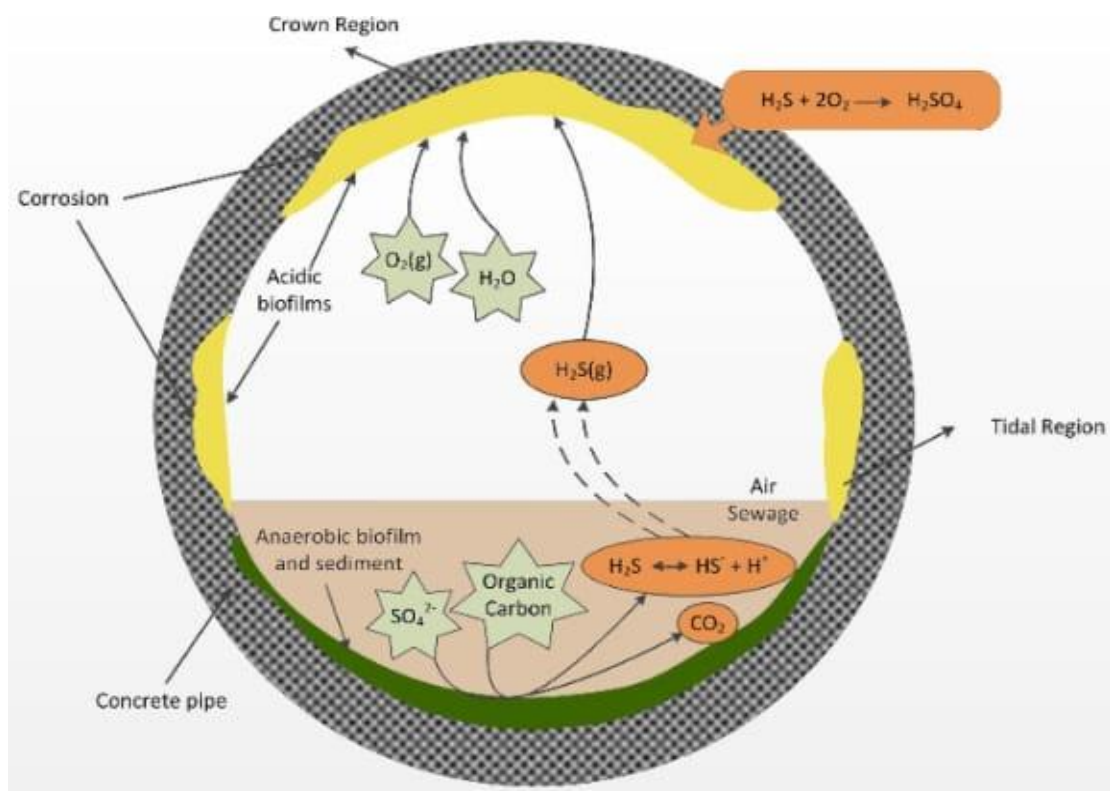


Figure III.3: Mécanisme de la corrosion biologique dans les conduites d'assainissement en béton

III.3.Impact sur la filière de traitement

Les sulfures peuvent avoir un impact à la fois sur le traitement des eaux usées mais aussi sur le traitement des boues des STEP.

Au niveau de la décantation dans un système de boues activées, les sulfures dissous dans l'eau vont avoir tendance à réduire les ions Fe^{3+} et Fe^{2+} affaiblissant ainsi la structure des floes. Les floes sont donc plus susceptibles de se désagréger sous l'effet des forces de cisaillement. Cela induit une faible performance de décantation et donc une augmentation de MES les eaux traitées rejetées. L'apparition de micro-organisme filamenteux (Thiothrix, Beggiatoa) ainsi que leur croissance est dû à la présence de sulfures qu'ils utilisent comme source d'énergie et qu'ils oxydent en soufre. . On va ainsi avoir une surconsommation d'oxygène dans le réacteur biologique.

En ce qui concerne les boues, le principal problème est lié à l'épaississement notamment dû aux causes évoquées précédemment. Cela impacte la concentration des boues épaissies ainsi que leur siccité et donc une chute de performance de la filière boue. Cela a pour conséquence directe une augmentation de polymère consommé, un retour en tête de charge et un taux de capture faible.

Le traitement par lagunage est détérioré par la présence de H_2S notamment au niveau de la première lagune. Cela se manifeste par un mauvais fonctionnement de la lagune ainsi qu'une coloration pourpre des eaux

III.4.CHOIX DES MATERIAUX :

Les ciments Portland sont très sensibles à la corrosion. Les plus résistants contiennent le moins possible d'aluminate tricalcique (< 5 %).

Les ciments alumineux anhydres ont une excellente résistance à la corrosion acide. Pont-à-Mousson a développé un revêtement intérieur en ciment alumineux pour ses tuyaux en fonte.

On peut également citer :

- tuyau en grès (anciennement employés après la seconde guerre).
- polyéthylène, P.V.C.
- une protection à base de résine vitrifiée.
- tuyaux en fibre de verre.

une protection à base de résine urethane

III.5.LOCALISATION DES PROBLEMES DE CORROSION SUR LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT:

Les émanations d'hydrogène sulfuré et les problèmes de corrosion qui en résultent ont lieu de manière préférentielle à l'aval des postes de refoulement et au sein même de ces postes. Les gros problèmes proviennent de la présence des postes de refoulement (poste + refoulement).

En effet, dans les conduites de refoulement, la concentration en oxygène dissous diminue en fonction de la longueur du réseau et du temps de séjour hydraulique.

L'effluent passe donc en milieu anaérobie ce qui favorise la formation d' H_2S . Celui-ci n'est dégagé qu'au contact de l'air, au déversement dans les ouvrages de reprise ou des conduites gravitaires et il y a alors corrosion au niveau des bétons (tuyaux, génie civil) et des équipements électromécaniques et électroniques des ouvrages d'assainissement. La corrosion des ouvrages est d'autant plus importante que la turbulence créée par le déversement des eaux usées est grande.

Ainsi, les canalisations sous pression ne sont pas attaquées par H_2S car le tuyau est rempli : il n'y a donc pas de contact avec l'atmosphère et donc pas de dégazage. Néanmoins, l'effluent étant dans des conditions anaérobies, il se forme des sulfures qui se dégazeront au premier contact de l'effluent avec l'atmosphère.

Les problèmes de corrosion et de présence d' H_2S arrivent également dans des zones où le réseau est à faible pente (zones littorales, plaines : les faibles vitesses favorisent le développement de biofilm sur les parois et diminue les échanges gazeux, notamment l'absorption d'oxygène). Il peut arriver également que le dégagement d' H_2S ne soit que saisonnier, durant les mois les plus chauds.

Nous reviendrons sur le traitement des postes de refoulement, que ce soit au niveau préventif ou au niveau curatif.

III.6.Impact Sur l'environnement

Les substances sulfuriques peuvent avoir aussi un impact négatif sur le milieu naturel :

- Changement de la qualité de l'air
- Changement de la qualité des eaux douces
- Modifications des sols
- Perturbation de la faune

Un dérangement de la population liée à sa mise en place

III.7.Conclusion

En conclusion, ce chapitre met en évidence la gravité des impacts du sulfure d'hydrogène (H₂S) sur les infrastructures d'assainissement et la sécurité du personnel. La corrosion accélérée des ouvrages en béton et les risques toxiques mortels imposent une vigilance accrue. Ainsi, la compréhension profonde de ces effets néfastes s'avère indispensable pour justifier le déploiement immédiat de stratégies de contrôle et de traitement adaptées.



CHAPITRE I V

SOLUTIONS ET TRAITEMENTS CONTRE LA PRODUCTION DU H₂S



IV.1. Introduction

Face aux multiples nuisances techniques, environnementales et sanitaires engendrées par le sulfure d'hydrogène (H₂S) dans les réseaux d'assainissement, la mise en œuvre de mesures correctives rigoureuses s'avère indispensable. Ce chapitre est entièrement dédié à l'examen des différentes solutions et stratégies de traitement développées pour contrôler et inhiber la production de ce gaz toxique. Nous y aborderons d'une part les méthodes préventives, axées sur l'optimisation hydraulique et l'aération des collecteurs, et d'autre part les traitements chimiques et biologiques. L'objectif est d'évaluer l'efficacité de ces alternatives afin de guider le choix des gestionnaires vers les techniques les plus durables et adaptées.

IV.2. Ouvrages et infrastructures limitant la production et l'émission du H₂S

IV.2.1. Ajustement des vitesses d'écoulements

La vitesse est un facteur très influent dans la formation de H₂S. Une vitesse relativement faible favorise les dépôts et la création de biofilm. Il est nécessaire de satisfaire les conditions d'autocurage.

Les dégradations sur les réseaux vieillissant peuvent nuire aux caractéristiques hydrauliques et compromettre un bon écoulement. La présence de contre-pentes, de flaches, de dépôts cimentés, d'obstructions partielles engendre l'apparition d'eaux stagnantes, possible lieu de production de sulfures.

Il existe plusieurs approches pour définir l'autocurage dans une canalisation. L'approche de la norme européenne estime que pour les diamètres < 300 mm la vitesse d'autocurage peut être atteinte si la vitesse de l'effluent est d'au moins 0,7 m/s une fois par jour ou si la pente minimale correspond au moins à 1/DN.

Pour augmenter la vitesse de l'effluent dans un réseau il convient de réaliser une réhabilitation de l'état de surface par le biais de plusieurs techniques :

- Ragréage des surfaces au mortier
- Coffrage d'une cunette plus étroite que le radier précédent
- Mise en place d'une structure préfabriquée épousant la forme du radier

IV.2.2. Diminution des temps de séjour

Les temps de séjour dans les réseaux d'assainissement sont un problème majeur dans le

processus de formation de H_2S . Plus spécifiquement au niveau des conduites de refoulement et des postes de refoulement, sièges principaux de production de sulfures. Certaines communes sont davantage exposées à ces problématiques.

- ✓ Les secteurs connaissant une décroissance démographique : Une évolution démographique négative induit nécessairement une baisse de production d'effluent et donc des temps de séjours plus élevés dans les postes et les conduites de refoulement.

- ✓ Les zones de fluctuation démographique saisonnières : La population des communes se situant en secteurs touristiques varient fortement selon les saisons. Ce phénomène implique un surdimensionnement des réseaux pour pouvoir gérer les hausses de population. Pendant les périodes « hors saisons » les temps de séjours de l'effluent sont plus importants.

La réduction de la formation de H_2S dans les réseaux peut s'appuyer sur un objectif de réduction des temps de séjours. Cela induit la plupart du temps un changement des plages de fonctionnements des pompes. Si le réseau est exposé à des fortes variations de volumes d'effluents, il est également possible de poser des canalisations de refoulements de plus petits diamètres pour les périodes hors saisons. Cela nécessite toutefois une programmation saisonnière des pompes et un investissement important, qui dans les faits n'est pratiquement jamais réalisé.

IV.2.3.Choix pertinent d'un système de pompage

Les conduites de refoulement sont les lieux les plus favorables à la production de H_2S dans les réseaux. La longueur des canalisations de refoulement couplé aux temps de séjour importants favorise la formation de H_2S . Afin de réduire la formation de H_2S dans les réseaux d'assainissement il convient d'opter pour des systèmes de pompes adaptés.

Les postes de relevage

Afin de réduire les deux paramètres mentionnés précédemment il est préférable de mettre en place un poste de relevage plutôt qu'un poste de refoulement. Le poste de refoulement induit un déplacement horizontal de l'effluent alors que pour le poste de relevage le point de rejet se fait sur place (Figure 4 et 5). Ainsi la quantité d'effluents stagnant dans la canalisation pendant les périodes hors pompage sera beaucoup plus faible pour un poste de relevage réduisant considérablement la formation de H_2S . Cependant le poste de refoulement permet de s'adapter davantage à des contraintes de terrains. C'est notamment le cas pour des profils très ascendants sur lesquels la pose d'un réseau gravitaire n'est pas pertinente. La pose de ce type de postes est applicable sur les cas où

les sur-profondeurs du réseau sont raisonnables ainsi que les coûts inhérents. On peut l'envisager pour passer un point haut très localisé selon le profil du terrain qui doit être analysé par le concepteur.

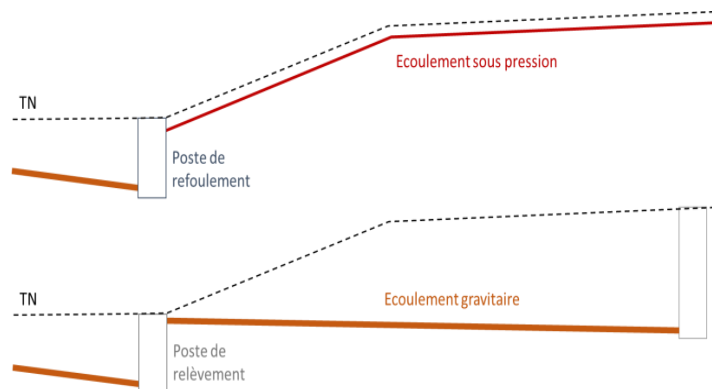


Figure IV.1: Conception du réseau selon le type de postes

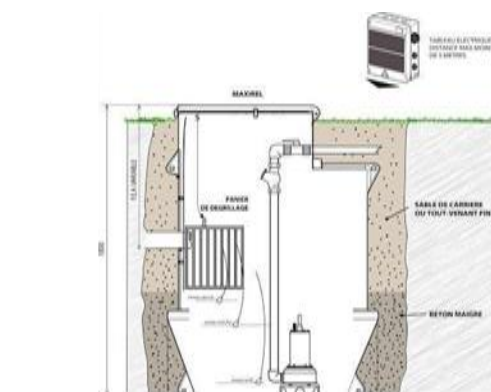


Figure IV.2 : Schéma d'un poste de refoulement

Le pompage en ligne

Le pompage en ligne est également une alternative au pompage classique. Il consiste en un relevage direct des effluents sans mise en charge de la canalisation d'arrivée. Le pompage en ligne permet de diminuer la formation de H₂S car il y a une injection d'air dans la conduite de refoulement. Ce type de pompage n'est pourtant pas plébiscité du fait de ses contraintes d'exploitation. Un poste de refoulement classique est largement préféré.

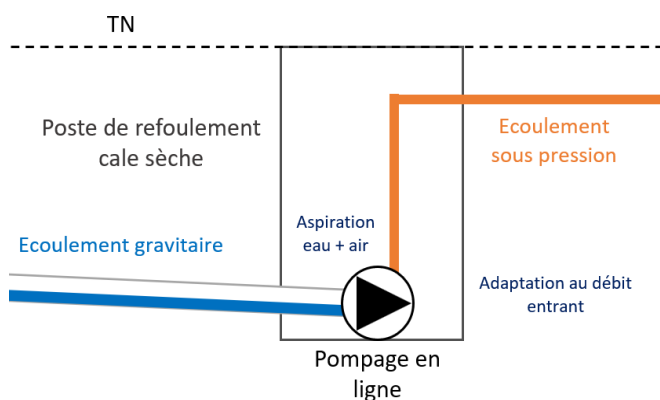


Figure IV.3 : Schémas d'un poste avec pompage en ligne

Le refoulement pneumatique

Le refoulement pneumatique permet le transfert de l'effluent par air comprimé. Ce type de refoulement présente de nombreux avantages concernant la production de H₂S. De l'air étant injecté dans la conduite de refoulement on évite ainsi la formation de H₂S. L'installation permet également la vidange de la conduite de refoulement permettant de prévenir d'éventuelles formation de dépôts. De plus, il offre une grande adaptabilité des temps de séjours ce qui constitue un atout pour les secteurs à fortes variabilités saisonnières. Cependant, une telle installation nécessite un ouvrage de génie civil important et une maîtrise technique supérieure. Le procédé est également très énergivore. Le refoulement pneumatique est une alternative très intéressante par rapport au pompage classique surtout dans les zones à fortes variations saisonnières, cependant l'investissement et les coûts d'exploitations importants constituent son plus gros inconvénient

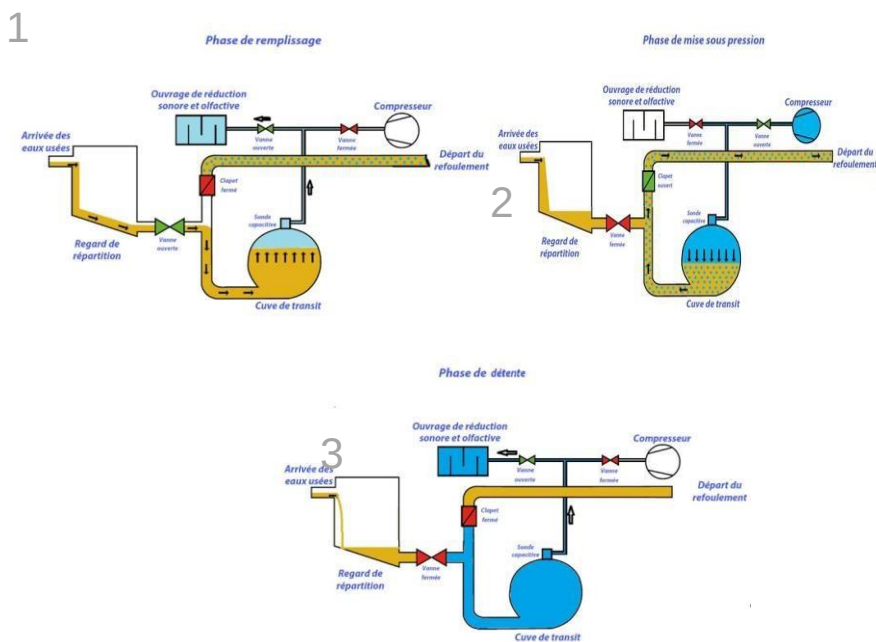


Figure IV.4: Principe de fonctionnement d'un refoulement pneumatique .

IV.2.4.Ouvrages et installations de protections face au H₂S

Certains aménagements permettent soit de limiter l'émission de H₂S ou au contraire de favoriser son émission sur une zone précise dans le même but de protéger les infrastructures.

Limitation des turbulences

Le principal facteur de libération de H₂S sont les chutes générant des turbulences. Il est donc préconisé de réduire les chutes au niveau de l'exutoire des postes de refoulement. Sur les ouvrages déjà existant il est possible d'installer des aménagements casse chute .

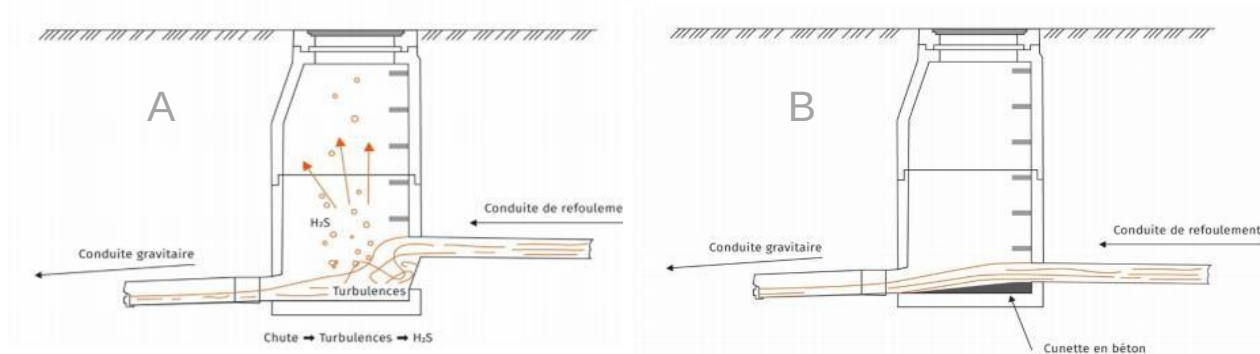


Figure IV.5 : Schémas d'un regard d'exutoire de refoulement avec chute (A) et sans chute (B).

Chambre de stripping

L'objectif d'un regard ou chambre de stripping est de favoriser au maximum l'émission de gaz. Une forte chute après le refoulement est optimale pour ce type d'ouvrages. Ces regards doivent être placés à l'amont d'ouvrages sensibles (poste de refoulement, STEP) afin de les protéger des dégradations par le H_2S . Un système d'aération et de traitement de l'air pollué doit être installé pour traiter le H_2S présent dans l'effluent gazeux libéré. Des bétons à fortes résistances chimiques, couplés d'un revêtement sont préconisés dans la conception de ces regards. Bien que moins résistants structurellement que les regards en béton, il est également possible d'installer des regards en PE afin de s'affranchir des problèmes de corrosion.

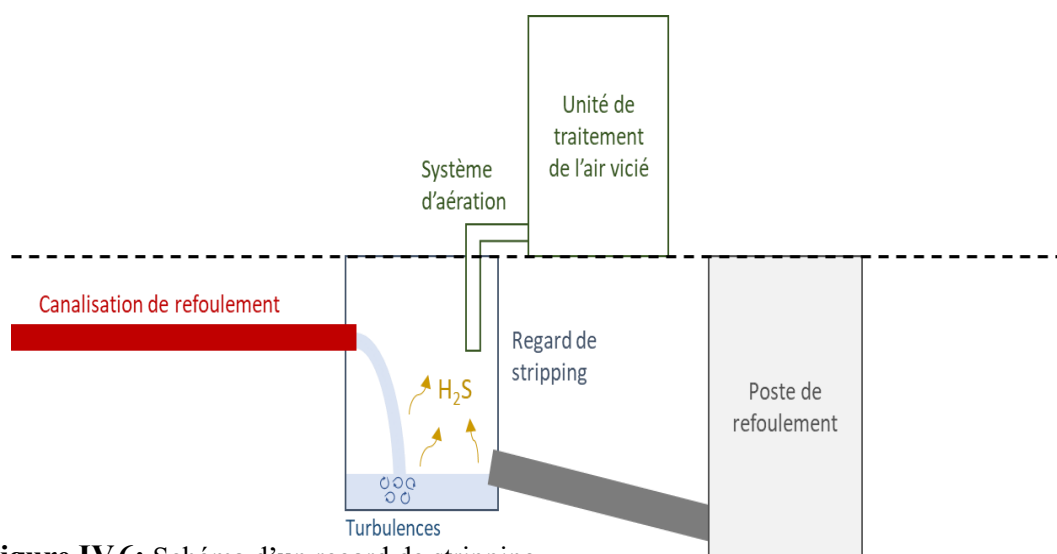


Figure IV.6: Schéma d'un regard de stripping

IV.3. Les traitements du H_2S

IV.3.1. Les traitements préventifs

Insufflation d'air dans la conduite de refoulement

L'insufflation d'air consiste à envoyer de l'air via un compresseur dans la conduite pendant les phases hors pompages. Cela permet de maintenir une conduite oxygénée et donc d'empêcher l'anaérobiose. De plus, la création de turbulences dû à l'air insufflé permet d'empêcher la création de dépôts et de biofilm dans la canalisation. Ce procédé comporte plusieurs contraintes d'application. Tout d'abord son efficacité est très réduite pour des diamètres supérieurs à 150 mm ainsi que pour de longues canalisations. Le profil de la canalisation doit être continuellement ascendant, en effet plusieurs points hauts consécutifs sur le parcours du refoulement engageraient la formation de poche d'oxygène augmentant les pertes de charges. Ce procédé est donc peu employé.

Injection de nitrates de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

L'injection de nitrates de calcium permet d'augmenter le potentiel d'oxydoréduction de l'effluent. Les nitrates jouent le rôle d'accepteur d'électrons préférentiel face aux sulfates, évitant ainsi la production de sulfures. Les produits commerciaux sont composés environ à 50% de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ainsi la dose à appliquer pour oxyder 1 g de S^{2-} est de 11 g. Le prix se situe aux alentours de 410 €/T.

Les nombreux cas d'utilisations de ce réactif ont permis de prouver son efficacité dans le traitement du H_2S .

Ce traitement connu est donc bien maîtrisé et simple d'utilisation. Ses inconvénients sont les mêmes que la plupart des traitements chimiques. C'est-à-dire l'application de mesures adaptées aux produits chimiques pour le personnel, bien que moins dangereux que les sels ferreux, l'installation d'aménagements de stockages au niveau du poste ainsi que d'une aire facilitant l'approvisionnement de réactif par camion.

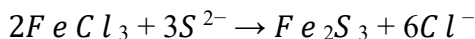
De plus, l'utilisation de réactif présente des coûts d'exploitations parfois élevés lorsque la production de H_2S est élevée, notamment en fin de réseau pour des effluents très sceptiques.

Elle dépend également d'un bon calage de l'injection de réactif.

IV.3.2. Les traitements curatifs

Injection de chlorure ferrique ou de chlorure ferreux

L'injection de chlorure ferrique a pour objectif de faire précipiter l'ion S²⁻ avec le fer pour former du sulfure de fer(III) (Fe₂S₃). Cette précipitation se traduit par la réaction suivante :

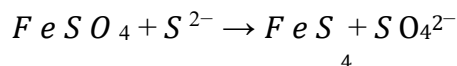


La dose à injecter pour des produits commerciaux est de 13 g ou 9 L/g de S²⁻. Ce procédé nécessite une mise en place d'une cuve de stockage spécialement conçue pour les produits corrosifs. De plus, la précipitation engendre une production de boues supplémentaires.

Le chlorure ferreux peut être une alternative au chlorure ferrique. Il est moins corrosif et la production de boues supplémentaires est moins importante.

Injection de sulfates ferreux

L'objectif est de faire précipiter l'ion S²⁻ avec le fer pour former du sulfure de fer (FeS).



La dose à injecter pour des produits commerciaux est de 8,7 g/g de S²⁻. Le prix se situe aux alentours de 140€/T. Le dispositif à mettre en place est un investissement important. La précipitation engendre une production de boues supplémentaires.

Injection de peroxyde d'hydrogène

L'objectif est l'oxydation des sulfures. La réaction d'oxydation est rapide, en effet 90% de H₂O₂ réagissent en 10 à 15 minutes. Il faut 20 à 30 minutes pour que la réaction soit complète. La dose à injecter est de 2 à 3 g de H₂O₂ /g de S²⁻. Le dispositif à mettre en place se compose d'une citerne de stockage et d'une pompe doseuse.

Injection d'oxygène pur

L'objectif est l'oxydation des sulfures. Le dispositif à mettre en place est relativement conséquent et il nécessite une zone de protection autour de l'installation.

Injection de chlore

Le chlore permet une oxydation des sulfures, la destruction des bactéries sulfato-réductrices ainsi que le maintien d'un résiduel d'oxygène dissous non consommé dans l'effluent. Il faut un traitement régulier à dose suffisante pour maintenir l'oxydation des sulfures au fur et à mesure de leur formation. L'injection de chlore gazeux est la plus économique mais il reste tout de même très onéreux.

Tableau IV.1 : Comparatif des solutions de traitement du H₂S

Solutions de traitements	Type de solution	Avantages	Inconvénients	Coût d'exploitation
Insufflation d'air dans la conduite de refoulement	Préventive	Ne nécessite pas d'injection de produit Pas d'impact sur l'effluent	Conditions d'applications limitantes Nuisances sonores	Coût investissement Environ 20 k€ ¹ Coût énergétiques
Injection de nitrates de calcium	Préventive	Prévention de la formation Pas corrosif	Aménagement d'une cuve Le surdosage peut engendrer une production de graisse	Coût investissement Environ 20 k€ ¹ Coût du réactif 410 €/T
Injection de chlorures ferrique/ferreux	Curative	Traitement efficace du H ₂ S	Aménagement d'une cuve spécialement conçue pour le stockage de produits corrosif et d'une cuve de rétention protégée des eaux de pluie ainsi qu'un collecteur d'eaux d'égoutture raccordés au poste de refoulement Production de boues supplémentaires L'injection directe dans la bache peut engendrer la corrosion des pompes	
Injection de sulfates ferreux	Curative	Traitement efficace du H ₂ S	Investissement conséquent Aménagement d'une cuve d'un massif de filtration et d'une pompe péristaltique Production de boues supplémentaires	Coût du réactif 140 €/T

Les coûts correspondent à un ordre de grandeur sur des projets réalisés

IV.3.3. Les systèmes de traitement de l'air vicié

La station de traitement et certains ouvrages d'assainissement peuvent être équipés d'un système de confinement et ventilation permettant de capter et stocker tout l'effluent gazeux dans une installation de traitement. Il est possible d'effectuer un capotage ou recouvrement des ouvrages afin de mieux capter l'effluent gazeux. La mise en place d'un tel système permet le traitement de l'air via les installations présentées par la suite.

L'ensemble des traitements suivant ont pour objectif de traiter le H₂S ainsi que d'autres composés gazeux dans l'air afin d'éviter leur propagation.

Traitement par lavage

Ce traitement consiste en un transfert des composés de la phase gazeuse à la phase liquide. L'air vicié est traité dans des tours de lavage fonctionnant à contre-courant. Le nombre de tours varie en fonction de la concentration et de la nature des composés à traiter ainsi que des contraintes environnementales. Il est possible de traiter un débit d'air variant entre 3000 et 200 000 Nm³/an. Ce traitement permet de traiter plusieurs polluants. Si on s'intéresse uniquement aux polluants soufrés, le rendement se situe entre 98% et 99,5 % pour un traitement physico-chimique et entre 99,5% et 99,9 % pour un traitement physico-chimique avec catalyseur.

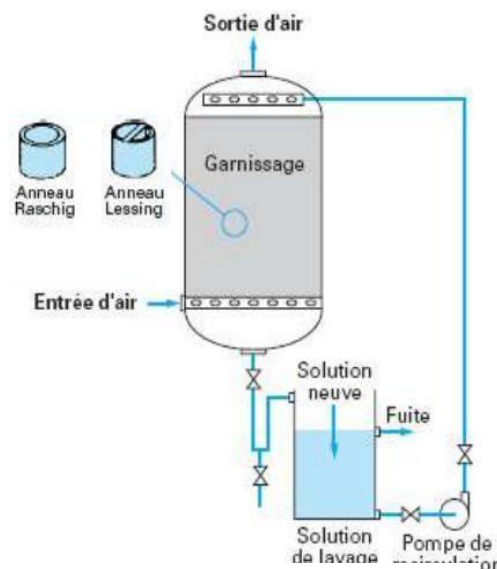


Figure IV.7: Traitement par lavage

Traitement par absorption

Le principe de ce traitement est de piéger les odeurs sur des absorbants. Cette technique est pertinente seulement pour des petits débits. Le charbon actif est l'adsorbant le plus utilisé avec une possibilité de traitement pour améliorer son efficacité.

Ce système présente une performance de traitement entre 90% et 99 % sur charbon actif pour le traitement des polluants soufrés cependant il a une faible efficacité pour les autres polluants.

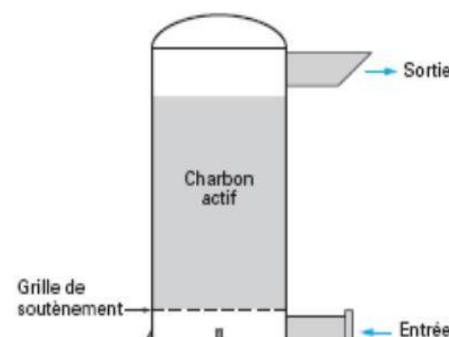


Figure IV.8: Traitement par absorption sur charbon actif

Traitement par voie biologique

Le principe de ce traitement est de transformer les polluants odorants par des micro-organismes. La phase contraignante est le bon transfert entre la phase gazeuse et les micro-organismes. On distingue trois types de réacteurs biologiques fonctionnant sur différents principes (Figure 8) :

- Les biolaveurs : Les gaz sont dissous dans l'eau puis oxydés dans un bassin d'activation. Ce procédé est producteur de boues.
- Les biofiltres organiques et inorganiques : L'air vicié traverse un substrat fixé de micro-organismes. L'apport de nutriment se fait soit par l'eau d'arrosage, soit par le substrat.
- Lit bactérien : Le flux gazeux passe au travers d'un garnissage ensemencé et arrosé d'eau servant à l'apport des éléments nutritifs.

Le rendement épuratoire de l' H_2S est supérieur à 99%. Le rendement épuratoire de chacun des autres composés est supérieur à 95%

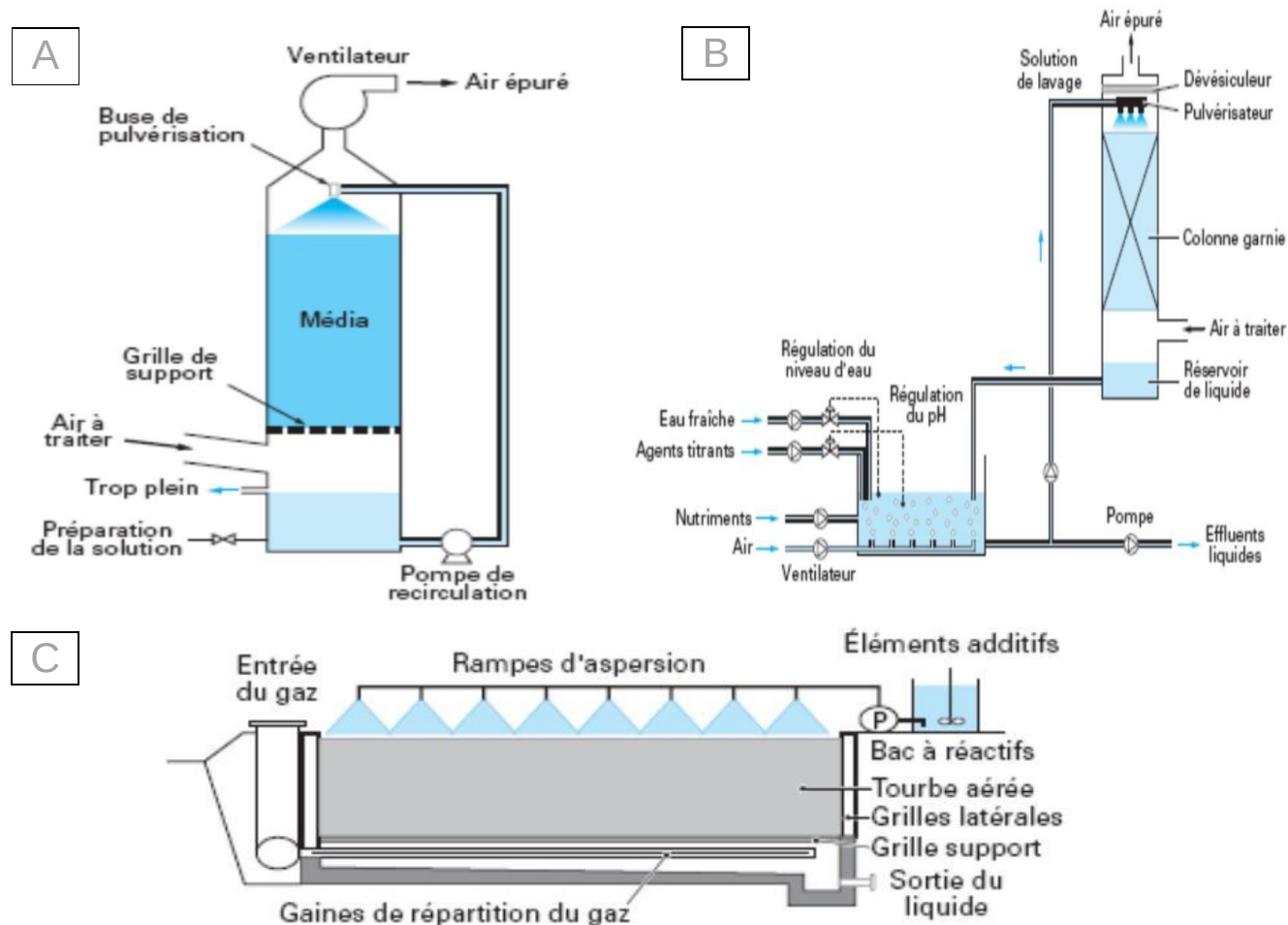


Figure IV.9 : Système de traitement par voie biologique de l'effluent gazeux A-Lit bactérien B- Biolaveur C-Biofiltre

Traitement par incinération

Ce traitement consiste en une combustion thermique ou catalytique des composés odorants. Ainsi on distingue deux types de combustion :

- Combustion thermique : La combustion est réalisée à haute température (700 à 1000°C). Cela nécessite une forte consommation de combustible, un temps de séjour important et des turbulences.
- Combustion catalytique : La combustion est réalisée à des températures de l'ordre de 300°C à 450°C et met en œuvre des catalyseurs à base de métaux précieux ou d'oxydes métalliques. Les composés soufrés peuvent être source de dégradation pour les catalyseurs.

Il faudra prévoir un traitement des fumées si les composés brûlés sont susceptibles de contenir des gaz toxiques.

Le tableau synthétique de comparaison des méthodes de l'air vicié se trouve en annexe 11.

Communication et médiation sur les odeurs et les nuisances olfactives

En parallèle des méthodes de traitement technique il peut être bénéfique de mettre en place une campagne de communication et de médiation autour des nuisances générées par le réseau d'assainissement ou la station de traitement des eaux usées afin de désamorcer les conflits et d'améliorer la lutte contre les odeurs. Le FNDAE (Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau potable) propose une démarche de communication autour de ces problèmes

- Mise en place d'un réseau de nez : L'objectif est de créer un réseau de surveillance olfactive composé de riverains bénévole et volontaire. Ce réseau a pour mission de détecter les nuisances olfactives pour permettre aux collectivités et à l'exploitant de réagir et d'intervenir le plus rapidement possible.
- Mise en œuvre d'une analyse de conflit : Cela permet de mieux identifier les sources de conflits et de connaître l'opinion des riverains vis-à-vis de la station.
- Signature d'un engagement de progrès : Avoir un programme de travaux adapté à la situation permet de désamorcer une crise future.
- Organisation régulière de réunions d'information sur le suivi des travaux : Les réunions permettent de tenir informer de l'avancement de la situation et d'impliquer les riverains dans la gestion du problème.

La communication est un point clef dans la lutte contre les odeurs de l'assainissement et débouche sur une meilleure relation riverains-exploitants. Toutefois cette campagne nécessitant beaucoup de temps donc d'argent, sa nécessité doit être préalablement établie.

IV.4. Conclusion

En conclusion, la lutte contre la formation du H₂S dans les réseaux d'eaux usées repose sur une diversité d'approches allant des interventions physiques aux traitements chimiques complexes. L'analyse détaillée de ces solutions montre qu'aucune méthode n'est universelle ; le succès d'un traitement dépend étroitement des caractéristiques spécifiques du réseau et des contraintes économiques. Ainsi, la combinaison raisonnée d'actions préventives et curatives demeure la stratégie la plus performante. Ce panorama technique complet permet de clore notre étude en ouvrant des perspectives prometteuses pour une gestion plus écologique et pérenne des infrastructures d'assainissement.



CHAPI TRE V

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES FACTEURS INFLUENÇANT LA CINÉTIQUE DE FORMATION DE L'HYDROGÈNE SULFURÉ (H_2S) À LA STEP DE KOUININE (WILAYA D'EL OUED)



V.1 Introduction

La formation du sulfure d'hydrogène (H_2S) dans les réseaux d'assainissement et les stations d'épuration constitue un problème d'ingénierie majeur en raison des nuisances olfactives sévères, des risques toxicologiques mortels pour le personnel d'exploitation, et des phénomènes de biocorrosion acide qu'il engendre sur les infrastructures en béton et en métal. Cette étude expérimentale et applicative vise à analyser de manière approfondie l'influence directe des paramètres physico-chimiques mesurés à l'entrée de la station d'épuration (STEP) de Kouinine (Wilaya d'El Oued) sur les conditions cinétiques et thermodynamiques régissant le cycle du soufre.

V.2 Présentation de la zone d'étude et Contexte Climatique

La STEP de Kouinine est implantée au cœur de la wilaya d'El Oued, caractérisée par un écosystème saharien et un climat hyperaride. Ce contexte macroclimatique se distingue par des températures estivales extrêmes (dépassant fréquemment les 45 °C à l'ombre) et un rayonnement solaire intense, provoquant un réchauffement massif des eaux usées collectées en transit. Ce forçage thermique saharien influence directement et de façon systémique l'activité métabolique de la biomasse et les équilibres chimiques au point de déversement de la station.

V.3 Données Expérimentales Brutes

Afin de fournir une base de données rigoureuse pour l'interprétation scientifique, les tableaux V.1 et V.2 présentent l'intégralité des mesures journalières brutes acquises in situ et au laboratoire de la STEP sur les effluents bruts d'entrée durant 18 jours représentatifs des campagnes de Janvier (période hivernale) et d'Août (période estivale) :

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Tableau V.1 : Suivi journalier des paramètres physico-chimiques d'entrée (Janvier)

Jours	O ₂ (mg/L)	P.redox (mV)	Température (°C)	pH (Unités)
01	0.37	-34.8	19.8	7.62
02	0.25	-25.4	17.5	7.44
03	0.44	-35.6	19.2	7.61
04	0.49	-21.8	19.2	7.38
05	0.66	-20.0	16.5	7.94
06	0.61	-22.4	14.8	7.38
07	0.34	-23.0	15.2	7.40
08	0.48	-22.7	19.4	7.39
09	0.64	-14.3	15.4	7.25
10	1.28	-39.6	13.9	7.69
11	2.03	-39.3	14.0	7.68
12	0.69	-47.2	17.1	7.81
13	0.78	-40.8	14.4	7.70
14	0.75	-48.5	13.5	7.83
15	0.82	-21.3	13.4	7.36
16	0.60	-26.3	17.6	7.45
17	0.53	-31.7	13.8	7.54
18	0.78	-28.9	14.1	7.50

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Tableau V.2 : Suivi journalier des paramètres physico-chimiques d'entrée (Août)

Jours	O ₂ (mg/L)	P.redox (mV)	Température (°C)	pH (Unités)
01	0.30	-60.0	31.9	8.03
02	0.23	-51.7	33.6	7.89
03	0.27	-52.4	32.0	7.90
04	0.18	-53.9	31.9	7.94
05	0.22	-40.8	36.0	7.70
06	0.92	-58.6	33.0	8.01
07	0.27	-56.6	33.1	7.98
08	0.28	-37.9	37.0	7.65
09	0.23	-39.3	32.9	7.67
10	0.25	-45.9	32.8	7.78
11	0.29	-41.3	32.2	7.71
12	0.56	-49.0	33.4	7.84
13	1.09	-43.6	32.3	7.75
14	0.47	-43.8	32.9	7.75
15	0.58	-55.1	33.1	7.95
16	0.17	-48.9	33.5	7.81
17	0.27	-50.6	32.7	7.87
18	0.18	-44.7	32.9	7.75

V.4 Suivi des Paramètres de la Pollution Organique et Physique (DCO, DBO₅, MES)

En raison du coût économique élevé et de la complexité protocolaire des analyses de la charge organique et des matières en suspension, les mesures de la DCO, DBO₅ et MES ont été réalisées de manière ponctuelle (trois fois par campagne) à l'entrée de la STEP de Kouinine. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau V.3 : Paramètres de pollution organique et physique (Campagne de Janvier)

Jours	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	MES (mg/L)	Rapport DCO / DBO ₅
01	1500	350	133.3	4.28
02	960	400	140.0	2.40
03	Non déterminée	699	216.6	—

Tableau V.4 : Paramètres de pollution organique et physique (Campagne d'Août)

Jours	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	MES (mg/L)	Rapport DCO / DBO ₅
01	569	220	220.0	2.58
02	722	210	143.0	3.43
03	Non déterminée	340	180.0	—

V.5 Tableau Comparatif Synthétique (Synthèse des Campagnes)

Afin de faire ressortir l'impact des variations saisonnières extrêmes à la STEP de Kouinine, le tableau V.5 consolide les moyennes et plages de valeurs des paramètres clés ainsi que les concentrations d'équilibre du soufre (Sulfates) et les temps de séjour hydrauliques associés :

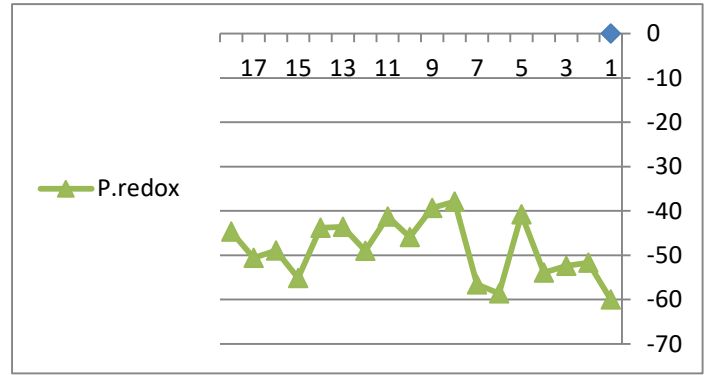
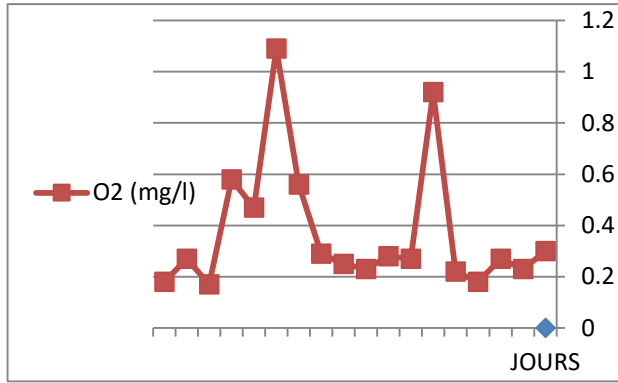
Tableau V.5 : Synthèse comparative synoptique des paramètres d'entrée (Janvier vs Août)

Paramètre Analysé	Campagne de Janvier (Hiver)	Campagne d'Août (Été)	Profil Évolutif Global
Température de l'effluent	13.4 – 19.8 °C	31.9 – 37.0 °C	+17.08 °C (Doublement thermique estival)
pH (Unités)	7.25 – 7.94	7.65 – 8.03	Alcalinisation légère favorable à la forme HS ⁻
Oxygène dissous (O ₂)	0.25 – 2.03 mg/L	0.17 – 1.09 mg/L	-50.6% (Effondrement drastique en été)
Potentiel redox (P.redox)	-14.3 à -48.5 mV	-37.9 à -60.0 mV	Sévère dérive réductrice vers la zone septique
Concentration en Sulfates	0.164 mg/L	2.74 mg/L	Multiplication par 16.7 du niveau de sulfates
Temps de séjour hydraulique	13 jours	7 jours	Réduction de 6 jours compensée par la cinétique

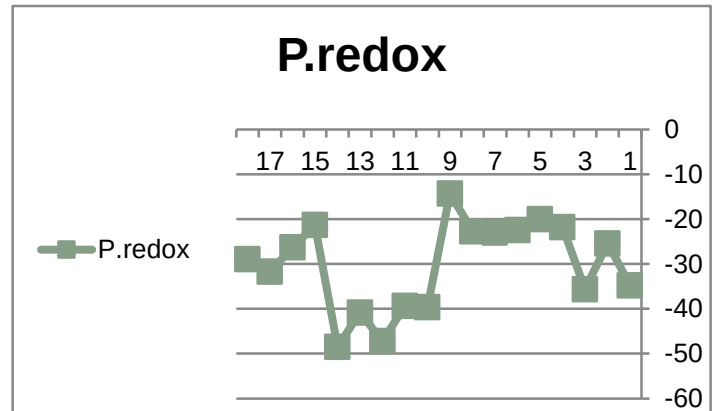
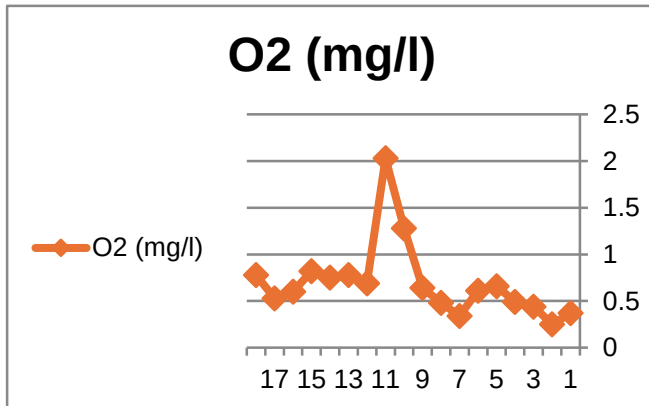
ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

V.6 Analyse Graphique et Interprétation des Corrélations

ÉVOLUTION DE L'OXYGÈNE DISSOUS ET DU POTENTIEL REDOX (AOÛT)



ÉVOLUTION DE L'OXYGÈNE DISSOUS ET DU POTENTIEL REDOX (JANVIER)



L'examen des profils graphiques temporels de l'oxygène dissous (O_2) et du potentiel d'oxydoréduction (P.redox) met en évidence une corrélation biochimique et thermodynamique directe et positive. Plus la concentration en oxygène dissous s'effondre, plus le potentiel redox plonge proportionnellement vers des valeurs négatives critiques, signant la transition d'un milieu anoxique vers un milieu de septicité anaérobie stricte.

A. Dynamique de l'Oxygène Dissous et Effet de la Température Saharienne :

En Janvier, la courbe de l'oxygène dissous oscille majoritairement au-dessus de 0.5 mg/L, culminant à 2.03 mg/L (Jour 11) sous l'effet de températures modérées (minima de 13.4 °C). En revanche, en Août, le profil graphique subit un affaissement sévère et permanent, fluctuant sous le seuil de 0.3 mg/L (minimum critique à 0.17 mg/L au Jour 16). Ce phénomène s'explique par la loi de Henry : l'élévation thermique de l'effluent estival (moyenne à 33.22 °C, pics à 37.0 °C) réduit la solubilité physique intrinsèque de l'oxygène. Parallèlement, cette chaleur extrême stimule la respiration métabolique des bactéries aérobies indigènes, provoquant l'épuisement instantané de l'oxygène résiduel.

B. Analyse du Potentiel Redox et Cinétique d'Activation des BSR :

Les courbes de potentiel d'oxydoréduction montrent un décalage d'équilibre net. En Janvier, le P.redox reste compris entre -14.3 mV et -48.5 mV, traduisant un milieu faiblement anoxique impropre à la réduction active du soufre. En Août, sous l'action du climat d'El Oued, la courbe s'enfonce dans les potentiels négatifs profonds, se stabilisant autour d'une moyenne de -49.19 mV (avec un plancher réducteur à -60.0 mV au Jour 01). D'un point de vue biochimique, cet abaissement du potentiel lève l'inhibition thermodynamique des bactéries sulfato-réductrices (BSR, ex. *Desulfovibrio*). Celles-ci basculent alors vers l'utilisation des sulfates (SO_4^{2-}) comme accepteurs d'électrons pour oxyder la matière organique carbonée, amorçant la production intensive de sulfures.

C. Interprétation de la Charge Organique (DCO/DBO₅) et des MES face au H₂S :

L'analyse croisée des Tableaux IV.3 et IV.4 révèle des corrélations fondamentales concernant la fraction biodégradable des effluents. En janvier, le milieu présente une charge organique brute très dense (DCO atteignant 1500 mg/L) et un taux de MES de 216.6 mg/L. les basses températures hivernales agissent comme un inhibiteur cinétique sur la flore anaérobie. En été (Août), bien que les valeurs de DCO à l'entrée soient plus faibles (569 - 722 mg/L) en raison d'une pré-dégradation et d'une fermentation précoce dans les collecteurs d'amenée, l'activité métabolique des BSR est décuplée. Les MES (jusqu'à 220 mg/L) subissent une décantabilité

hétérogène et forment un lit de boues épaisses en fond de conduite. Ce dépôt s'associe au biofilm et se transforme, sous l'effet de l'optimum thermique saharien ($>33\text{ }^{\circ}\text{C}$), en un réacteur anaérobique strict à haut rendement, capable de convertir efficacement la matière organique et les sulfates disponibles en hydrogène sulfuré (H_2S) volatil.

V.7 RECITS DE CAS D'ACCIDENT

■ Accident n°1

■ **Localisation:** Intervention sur la vanne ventouse située dans une chambre de vanne étant positionnée sur le réseau d'eaux usées à l'entrée de la STEP de kouinine.

■ **Conséquences:** décès d'un ouvrier

■ **Circonstances:** : Lors d'une opération de maintenance sur une vanne ventouse, la purge de poches d'air accumulées a entraîné la libération accidentelle et massive de sulfure d'hydrogène (H_2S). L'inhalation de ce gaz hautement toxique a provoqué une asphyxie cellulaire immédiate, entraînant le décès de l'opérateur sur le coup.

■ Accident n°2

■ **Localisation:** travaux d'entretien et de curage au niveau de réseau d'assainissement au centre d'El oued.

■ **Conséquences:** décès et asphyxie d'un ouvrier.

■ **Circonstances:** Lors d'une opération de maintenance, le retrait d'un bouchon d'obturation a provoqué une fuite massive de sulfure d'hydrogène (H_2S). Ce dégagement gazeux a entraîné l'asphyxie fatale d'un premier opérateur. En tentant d'intervenir pour lui porter secours, son collègue a également été intoxiqué et a succombé à l'inhalation du gaz toxique. »

V.8 CONSIGNES DE SECURITE:

❖ **Avoir toujours au minimum un homme en surface.**

❖ **Avant toute descente :**

- Contrôler l'atmosphère depuis l'extérieur des ouvrages. Il existe à cet effet des appareils automatiques tri-fonctions : explosimètre, manque d'oxygène, présence d'. Ne pas oublier de contrôler ces appareils régulièrement.
- Assurer une ventilation par ouverture des tampons et des trappes amont et aval. Si c'est insuffisant, installer un ventilateur fonctionnant sur batterie afin de créer une ventilation forcée.

❖ **Pendant le travail dans l'égout:**

- Interdiction de descendre et de circuler seul.
- Chaque équipe est dotée :
- d'un appareil respiratoire autonome.
- d'un harnais par homme et d'une longe de sauvetage de 20 mètres.
- d'un détecteur de gaz tri-fonctions (oxygène, risque d'explosion, **H₂S**).
- de moyens de communication et d'alerte (radio - téléphone).
- d'un ventilateur 12 volts.

❖ **En cas d'alerte, évacuer au plus tôt le collecteur.**

❖ **En cas d'accident : prévenir ---> protéger ---> secourir.**

- Vérifier l'atmosphère avant de porter secours: un accidenté suffit.
- Ne jamais descendre sans être équipé d'un masque.
- Sortir au plus tôt la victime à l'air libre.

V.9. Conclusion et Recommandations

L'analyse des campagnes expérimentales à la STEP de Kouinine démontre que la période estivale réunit toutes les conditions critiques pour la genèse du H_2S . Le climat hyperaride d'El Oued agit comme le principal vecteur de risques environnementaux et structurels. Pour pallier ces dégradations et protéger les ouvrages en béton contre la corrosion acide, les mesures suivantes sont préconisées en période de forte chaleur :

1. Réaération Forcée des Effluents : L'installation d'aérateurs ou d'hydro-éjecteurs en tête de station pour maintenir l'oxygène dissous $> 1.0 \text{ mg/L}$, ce qui élève le potentiel Redox et inhibe le métabolisme des bactéries anaérobies strictes.
2. Conditionnement Chimique : L'injection programmée de nitrates de calcium pour imposer une voie de dénitrification préférentielle non génératrice d'odeurs, ou l'ajout de sels de fer (chlorure ferrique) pour précipiter instantanément les sulfures sous forme de FeS solide insoluble.
3. Gestion Hydraulique : L'augmentation des vitesses de balayage pour limiter le dépôt des boues décantables en fond de collecteur (réduction de la charge de MES stationnaire), réduisant ainsi les niches écologiques indispensables au biofilm bactérien septique

Conclusion générale

Le mécanisme de formation de H_2S dans les réseaux d'assainissement se met en place dans un milieu anaérobie, ce qui fait des conduites de refoulement les zones les plus favorables à la production du H_2S . Cette production de H_2S au niveau des postes de refoulements pose plusieurs problématiques pour l'exploitation de réseaux d'assainissement.

Le H_2S est d'abord un gaz dangereux et potentiellement mortel pour l'homme pouvant provoquer de multiples symptômes à différents degrés d'exposition. Le H_2S représente donc un risque majeur pour le personnel intervenant dans les réseaux d'assainissement. La détérioration des bétons à travers la formation de Gypse et d'Ettringite issus de réaction entre l'acide sulfurique provenant d'oxydations successives du H_2S , et des produits du matériau cimentaire est également un inconvénient pour la durée de vie du patrimoine et des ouvrages d'assainissement.

Enfin, le H_2S peut être source de nuisances olfactives à la fois contraignantes pour les riverains mais aussi pour l'activité touristique. Pour pallier les problématiques liées au sulfure d'hydrogène, il est possible de minimiser la formation du H_2S par la mise en place ou la modification d'ouvrages, par un choix pertinent d'un système de pompage et majoritairement par traitement. Deux types de traitements, curatif ou préventif, peuvent être mis en place. Le choix de traitement se fera surtout en fonction de l'espace disponible autour du poste et de son exutoire.

Afin de prévenir d'éventuelles problématiques évoquées précédemment, il est nécessaire d'établir une méthode d'évaluation du risque H_2S , qui revient à essayer, plus ou moins précisément, de quantifier le H_2S formé. L'analyse des différents paramètres influençant la production du H_2S (temps de séjour, température, potentiel Redox, vitesse de l'effluent) en fonction de sa concentration, a permis de mettre en évidence la complexité du mécanisme de formation et donc la difficulté à prédire la formation du H_2S . d'un temps de séjour pertinent dans l'évaluation du risque H_2S mais aussi sur l'évolution des profils de consommation de réactif à prendre en considération lors de la mise en place d'une installation de traitement H_2S

Perspectives

L'analyse des mécanismes de genèse du sulfure d'hydrogène (H_2S) au sein du réseau d'assainissement et de la STEP de Kouinine ouvre la voie à plusieurs perspectives scientifiques et techniques visant à pérenniser les infrastructures et à optimiser la gestion environnementale en milieu hyperaride :

1. Modélisation Numérique et Prédictive Dynamique :

Développer ou adapter un modèle informatique prédictif (tel que *WATS* ou *SewerGEMS*) basé sur les équations cinétiques de la théorie du biofilm, en y intégrant les variations thermiques extrêmes spécifiques à la région d'El Oued. Cela permettrait d'anticiper en temps réel les pics d'émission d' H_2S en fonction des saisons.

2. Évaluation Approfondie de la Bio-détérioration des Bétons :

Mettre en place un programme d'étude à long terme pour évaluer le degré de pénétration de l'acide sulfurique (H_2SO_4) dans les structures en béton de la station. Il serait pertinent de tester in situ la durabilité de nouveaux matériaux alternatifs, comme les mortiers à base de ciment d'aluminate ou des revêtements polymères (PVC/Polyéthylène), face à une exposition dépassant la classe critique XA3.

3. Valorisation Énergétique du Biogaz Capté :

Étudier la faisabilité technique et économique de la couverture étanche des ouvrages de tête de la STEP (zones de forte turbulence) afin de capter l'air vicié. Au-delà du simple traitement par biofiltration ou désodorisation chimique, ce gaz pourrait être purifié en vue d'une valorisation énergétique locale (cogénération).

4. Optimisation du Conditionnement Chimique Écoresponsable :

Approfondir les recherches sur l'efficacité comparative et l'impact écologique de l'injection programmée de nitrates de calcium par rapport aux sels de fer (chlorure ferrique).

L'objectif est de définir un protocole de dosage optimal "intelligent" (Smart Dosing) automatisé, asservi aux mesures en continu du potentiel Redox et de la température de l'effluent.

5. Suivi Épidémiologique et Cartographie des Risques Professionnels :

Élaborer un guide de sécurité standardisé et une cartographie numérique des zones à haute toxicité (postes de relèvement, regards d'accès) pour protéger le personnel d'exploitation contre les accidents d'anoxie et les intoxications aiguës, en instaurant un réseau d'alerte basé sur des capteurs connectés (IoT).

Références bibliographiques

GHAMMIT. M, Mémoire de fin d'études d'assainissement, Diagnostic du réseau d'assainissement de la ville de Bou-Ismaïl (W.Tipaza) ENSH 2003.

MARC, S. BECHIR, S. : « Guide technique de l'assainissement ». Edition le moniteur.
Troisième édition, France, 2006

SALAH, B., 1993 « polycopé d'assainissement », école nationale supérieure de l'hydraulique,
BLIDA

TOUAIBIA,B, 2003 , «Cours d'hydrologie »Ecole nationale supérieure de l'hydraulique, BLIDA

BELHOCINE. H, Mémoire de fin d'études d'assainissement, Diagnostic du réseau d'assainissement de la ville de Cherchell (W.Tipaza), ENSH 2002.

Hydrogène Sulfide - Fiche n° 313. In : base de données de sécurité CHE- MINFO. Hamilton, Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité (CCHS), 1994.

Mémoire de fin d'étude, licence sciences et techniques eau et environnement intitulé : « L'impact des sulfures sur le traitement des eaux usées et le milieu naturel ;réalisé par : Loubna Akoudad et Houda Eddayani ,université Cadi Ayyas ;Marrekech ;année 2015

POUILLIEUTE Eric stage realise sous la la direction de monseur Moreau H2S DANS LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT Mai-juin 1996 Université de Picardie Jules Verne

AGNÈS, LANNUZEL, . Risques sanitaires potentiels liés aux postes d'entretien des réseaux d'assainissement. . 2009.

CARRERA, Lucie, 2016. Caractérisation du transfert liquide/gaz du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement. 2016.

CÉLINE DEBRIEU, 2004. LUTTE CONTRE LES ODEURS DE L'ASSAINISSEMENT. FNDAE (éd.). 2004.

CHOU, Selene J., 2003. *Hydrogen sulfide: human health aspects*. Geneva: World Health Organization. Concise international chemical assessment document, 53. ISBN 978-92-4-153053-8.

GOUELLO, Julien, JUNG, Daniel, GERFAUD, Flora, PONTHEUX, Arnaud, PAREZ, Vincent et RENNER, Christophe, 2012. ETUDE DE L'EMISSION DE L'HYDROGENE SULFURE AU SEIN D'UN POSTE DE RELEVEMENT D'UN RESEAU D'ASSAINISSEMENT. ..

GRANDCLERC, Anais, 2017. Compréhension des mécanismes de biodétérioration des matériaux cimentaires dans les réseaux d'assainissement : étude expérimentale et modélisation. 2017.

GUEGUEN MINERBE, M., NOUR, I. et CHAUSSADENT, T., 2020. Devenir des structures en béton en présence d'H₂S – Vers une évolution des classes d'exposition. *Techniques Sciences Méthodes*.

INRS, 2014. *Sulfure d'hydrogène, Fiche toxicologique n°32*. 2014.

JOSÉ VAZQUEZ, 2016. *Hydrologie et Hydraulique des réseaux d'assainissement*. 2016.

SADOWSKI, A. G., 2012. La problématique H₂S : dispositions préventives et curatives. *Techniques Sciences Méthodes*.