



**HAL**  
open science

# Étude spécifique de la problématique du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement

Léo Cordier

► **To cite this version:**

Léo Cordier. Étude spécifique de la problématique du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2021. dumas-03601735


**HAL Id: dumas-03601735**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03601735>**

Submitted on 8 Mar 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Etude spécifique de la problématique du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement

## Mémoire de fin d'étude

Mémoire présenté pour l'obtention du  
diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Léo CORDIER  
Promotion Liège  
2021





# Résumé

La compréhension des mécanismes de formations du sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) permet de confirmer que les canalisations de refoulement sont les zones les plus favorables à la production d' $H_2S$  dans les réseaux d'assainissements. Les exutoires des postes de refoulement sont donc sujets aux problèmes liés au sulfure d'hydrogène. A l'origine de nuisances olfactives, de corrosion du béton et des métaux, le sulfure d'hydrogène est avant tout un gaz extrêmement dangereux pour l'homme. Il est possible de limiter la production de  $H_2S$  grâce à plusieurs types de traitements, toutefois, avant de minimiser les risques liés à ce gaz, il est primordial d'identifier les postes sur lesquels il y a un risque de formation. L'analyse de différents paramètres influençant la production de  $H_2S$  va permettre d'une part de mettre en exergue la complexité de l'évaluation de la production du  $H_2S$ , et d'autre part d'avoir un regard critique sur les méthodes d'évaluation du risque  $H_2S$  utilisées dans les bureaux d'études. Cependant, la faible disponibilité des données contraint fortement l'évaluation du risque  $H_2S$ , c'est pourquoi le bureau d'études SCE a décidé de réaliser une refonte complète de sa méthode d'évaluation du risque  $H_2S$  dans le but de répondre efficacement aux besoins de chaque pôle de l'activité Infrastructure et Aménagement. La nouvelle méthode d'évaluation du risque ( $H_2S$ ), basée sur une approche théorique, est complétée par des observations réelles qui viennent enrichir la précision du diagnostic. La nouvelle méthode d'évaluation du risque permet ainsi de répondre aux objectifs de la société SCE. Celle-ci permet à la fois de formaliser, d'améliorer et de compléter les études liées au risque  $H_2S$ .

# Abstract

Understanding the mechanisms of hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) formations allows us to confirm that backflow pipes are the most favorable areas for  $H_2S$  production in wastewater systems. The outlets of the discharge stations are therefore subject to problems related to hydrogen sulfide. In addition of causing odor nuisance, corrosion of concrete and metals, hydrogen sulfide is above all an extremely dangerous gas for humans. It is possible to limit the production of  $H_2S$  through several types of treatments, however, before minimizing the risks related to this gas, it is essential to identify the sites/workstations/locations/positions on which there is a risk of formation. The analysis of different parameters influencing the production of  $H_2S$  will allow to highlight the complexity of the evaluation of the production of  $H_2S$  on the one hand, and to have a critical look on the methods of evaluation of the  $H_2S$  risk used in the design offices. However, the low availability of data strongly limits the  $H_2S$  risk assessment, which is why SCE design office decided to carry out a complete overhaul of its  $H_2S$  risk assessment method with the aim of effectively meeting the needs of each division of its Infrastructure and Development department. The new  $H_2S$  risk assessment method, based on a theoretical approach, is supported by real-life observations that improve the accuracy of the diagnosis. The new risk assessment method thus makes it possible to meet SCE's objectives. The latter method allows at the same time to formalize, improve and complete the studies related to the  $H_2S$  risk.



# Table des matières

1.	Bibliographie et état de l'art des solutions de lutte contre le sulfure d'hydrogène.....	12
1.1.	Origine de la formation du sulfure d'hydrogène .....	12
1.1.1.	Les mécanismes de formation.....	12
1.1.2.	Les lieux et zones de formations dans les réseaux d'assainissements.....	12
1.2.	Les facteurs favorables à la production de sulfure d'hydrogène .....	13
1.2.1.	Les facteurs influençant la formation de H <sub>2</sub> S.....	13
1.2.2.	Les facteurs influençant la libération de sulfure d'hydrogène dans l'air.....	14
1.3.	Risques et conséquences de la présence d'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement .....	15
1.3.1.	Risque de sécurité sanitaire et nuisances .....	15
1.3.2.	Les nuisances olfactives .....	16
1.4.	Dégradation des ouvrages et des infrastructures.....	17
1.4.1.	Dégradations des bétons et des métaux .....	17
1.4.2.	Impact sur la filière de traitement.....	20
1.5.	Méthode d'évaluation des risques .....	20
1.6.	Solutions et traitements contre la production du H <sub>2</sub> S.....	21
1.6.1.	Ouvrages et infrastructures limitant la production et l'émission du H <sub>2</sub> S .....	21
1.6.2.	Les traitements du H <sub>2</sub> S .....	25
1.7.	Etudes de cas et mise en perspectives .....	31
1.7.1.	Ville de Laval.....	31
1.7.2.	La Rochelle - Porte Dauphine .....	32
2.	Analyse des paramètres influençant la production de H <sub>2</sub> S .....	34
2.1.	Influence de chaque paramètre sur la production de H <sub>2</sub> S.....	34
2.1.1.	Paramètres étudiés .....	34
2.1.2.	Temps de séjour en fonction de la concentration maximale en H <sub>2</sub> S .....	34
2.1.3.	Potentiel redox en fonction de la concentration maximale .....	36
2.1.4.	Concentration moyenne de H <sub>2</sub> S .....	36
2.2.	Evaluation de la méthode de Fayoux.....	36
2.2.1.	Présentation de la méthode.....	36
2.2.2.	Première évaluation .....	37
2.2.3.	Seconde évaluation - non prise en compte des notes sur la vitesse.....	38
2.2.4.	Troisième évaluation – Interpolation linéaire.....	39
2.2.5.	Mise en évidence de l'impact d'une chute accompagnée sur la libération du H <sub>2</sub> S	

2.3.	Etude de l'évolution des temps de séjour .....	41
2.3.1.	Introduction .....	41
2.3.2.	Méthode d'estimation des temps de séjours.....	42
2.3.3.	Analyse de l'évolution des temps de séjours au cours d'une année .....	43
2.3.4.	Corrélation entre les temps de séjour et la production du H <sub>2</sub> S.....	46
2.4.	Evaluation de la méthode SCE.....	47
2.5.	Synthèse .....	47
3.	Elaboration des outils d'évaluation du risque H <sub>2</sub> S .....	48
3.1.	Outils d'évaluation du risque H <sub>2</sub> S - MOE .....	48
3.1.1.	Cheminement de l'évaluation du risque.....	48
3.1.2.	Conseils et indications.....	50
3.1.3.	Interface de l'outil d'évaluation du risque H <sub>2</sub> S .....	53
3.2.	Evaluation du risque H <sub>2</sub> S - HUE .....	55
3.2.1.	Evaluation du risque.....	55
3.2.2.	Hierarchisation des postes à risque H <sub>2</sub> S .....	55
3.2.3.	Outil d'évaluation du risque .....	57
3.2.4.	Test de l'outils et de la méthode d'évaluation du risque.....	59
3.3.	Préconisations de traitement en fonction de la configuration du réseau .....	61

# Table des illustrations

Figure 1 : Formation et émission du H <sub>2</sub> S dans un réseau d'assainissement (Gouello et al. 2012)	12
Figure 2 : Processus de dégradation des bétons	18
Figure 3 : Formation d'acide sulfurique dans une conduite	18
Figure 4 : Schéma d'un poste de refoulement	23
Figure 5 : Conception du réseau selon le type de postes	23
Figure 6 : Schémas d'un poste avec pompage en ligne	23
Figure 7 : Principe de fonctionnement d'un refoulement pneumatique (Source : UFT France)	24
Figure 8 : Schémas d'un regard d'exutoire de refoulement avec chute (A) et sans chute (B) (Astee 2017)	24
Figure 9 : Schéma d'un regard de stripping	25
Figure 10 : Traitement par lavage	28
Figure 11 : Traitement par absorption sur charbon actif	28
Figure 12 : Système de traitement par voie biologique de l'effluent gazeux A-Lit bactérien B-Biolaveur C-Biofiltre	29
Figure 13 : Graphique des concentrations maximales en H <sub>2</sub> S en fonction des temps de séjours de l'ensemble des postes étudiés	35
Figure 14 : Graphique des concentrations moyennes en H <sub>2</sub> S en fonction des temps de séjours de l'ensemble des postes étudiés	35
Figure 15 : Graphique des concentrations maximales en H <sub>2</sub> S en fonction des potentiels RedOx de l'ensemble des postes étudiés	36
Figure 16 : Graphique des concentrations maximales en H <sub>2</sub> S en fonction de la note d'évaluation du risque de Fayoux de l'ensemble des postes étudiés	37
Figure 17 : Interpolation linéaire des notes de Fayoux	39
Figure 18 : Graphique des concentrations maximales en H <sub>2</sub> S en fonction des notes d'évaluation du risque de Fayoux interpolées linéairement et sans prise en compte de la note sur les vitesses de l'ensemble des postes étudiés	40
Figure 19 : Ecoulement accompagnée au refoulement du PR L'AULNAY à Laval	41
Figure 20 : Profils journaliers des temps de séjour sur plusieurs périodes de l'année 2016 sur le PR Envague à Bangor	43
Figure 21 : Evolution des temps de séjour moyen sur les mois de l'année 2016 sur le PR Envague à Bangor et évolution de la pluviométrie mensuelle sur le territoire de Belle-Ile-en-Mer	44
Figure 22 : Evolution des temps de séjour sur plusieurs jours du mois de janvier 2015 sur le PR Envague à Bangor	45
Figure 23 : Evolution des temps de séjour moyen sur le mois de janvier 2015 sur le PR Envague à Bangor et évolution de la pluviométrie journalière sur le mois de janvier 2015 sur le territoire de Belle-Ile-en-Mer	45
Figure 24 : Evolution des temps de séjour et de la concentration en H <sub>2</sub> S du 07/07/2020 au 09/07/2020 à l'exutoire du PR Stade à Changé	46
Figure 25 : Logigramme d'évaluation du risque H <sub>2</sub> S - MOE	49
Figure 26 : Schéma de postes de refoulement en cascade	51
Figure 27 : Schémas de configuration d'un exutoire commun	51
Figure 28 : Interface de la feuille d'évaluation du risque de l'outil d'évaluation du risque MOE	53
Figure 29 : Interface de la feuille synthèse de l'outil d'évaluation du risque H <sub>2</sub> S - MOE	54



Figure 30 : Logigramme d'évaluation du risque H <sub>2</sub> S – HUE.....	55
Figure 31 : Première partie du tableau d'évaluation du risque - Etude.....	57
Figure 32 : Deuxième partie du tableau d'évaluation du risque - Etude.....	58
Figure 33 : Troisième partie du tableau d'évaluation du risque - Etude.....	58
Figure 34 : Quatrième partie du tableau d'évaluation du risque - Etude.....	59
Tableau 1 : Effets liés à une exposition aiguë au H <sub>2</sub> S (Chou 2003; Agnès 2009).....	15
Tableau 2 : Symptômes liées à une exposition subaiguë et chronique au H <sub>2</sub> S (Agnès 2009) .....	16
Tableau 3 : Valeurs limites d'exposition professionnelle du H <sub>2</sub> S (INRS 2014).....	16
Tableau 4 : Classes d'expositions des bétons aux H <sub>2</sub> S définies dans le fascicule FD P18-011 .....	18
Tableau 5 : Nouvelle classe d'exposition préconisées (Gueguen Minerbe, Nour, Chaussadent 2020).....	19
Tableau 6 : Evaluation du risque de formation du H <sub>2</sub> S par Fayoux.....	20
Tableau 7 : Estimation de la production de sulfures selon la valeur de Z.....	21
Tableau 8 : Résultat de la campagne de mesure H <sub>2</sub> S réalisée en 2014 à Laval par ATHEO SOLUTION.....	31
Tableau 9 : Résultat de la campagne de mesure H <sub>2</sub> S réalisée en 2017 à La Rochelle par ATHEO SOLUTION.....	32
Tableau 10 : Résultats des mesures H <sub>2</sub> S réalisées pour différents dosages de réactif au poste Jean Moulin en 2017 à La Rochelle par ATHEO SOLUTION.....	33
Tableau 11 : Tableau d'évaluation du risque de Fayoux.....	37
Tableau 12 : Classement du risque en fonction des notes obtenues par l'évaluation du risque de Fayoux.....	37
Tableau 13 : Caractéristiques des postes étudiés, PR MERCERIES 2 et L'AULNAY à Laval .....	41
Tableau 14 : Niveau de sensibilité selon l'ouvrage à l'exutoire.....	52
Tableau 15 : Niveau de vulnérabilité selon le matériau à l'exutoire.....	52
Tableau 16 : Niveau de sensibilité selon l'ouvrage à l'exutoire.....	56
Tableau 17 : Niveau de sensibilité selon le matériau à l'exutoire.....	56
Tableau 18 : Définition de la classe par croisement de la sensibilité et de la vulnérabilité....	56
Tableau 19 : Résultat de l'évaluation du risque des postes de refoulement de Laval.....	59
Tableau 20 : Préconisation de traitement en fonction de l'environnement au niveau du poste et de son exutoire.....	61

# Symboles et abréviations

## Composés chimiques

$H_2S$	Sulfure d'hydrogène ou hydrogène sulfuré
$S^{2-}$	Ion sulfure
$Fe^{2+}$	Ion fer (II)
$Fe^{3+}$	Ion fer (III)
$Ca(NO_3)_2$	Nitrate de calcium
$SO_4^{2-}$	Ion sulfate
$Cl^-$	Ion chlore
$H_2O_2$	Peroxyde d'hydrogène
$FeCl_3$	Chlorure de fer (III)
$FeS$	Sulfure de fer (II)
$FeSO_4$	Sulfate de fer (II)
$H_2SO_4$	Acide sulfurique
$Fe_2S_3$	Sulfure de fer (III)

## Abréviations

DBO <sub>5</sub>	Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours
STEU	Station de traitement des eaux usées
ICPE	Installations classées pour la protection de l'environnement
DCO	Demande chimique en oxygène
MES	Matières en suspension
VLCT	Valeur limite de courte exposition
VME	Valeur moyenne d'exposition
DN	Diamètre nominal
HMT	Hauteur manométrique
COV	Composés organiques volatiles
Ppm	Parti par million



# Introduction

La baisse de la consommation d'eau, les variations saisonnières de population et la décroissance démographique sont responsables du surdimensionnement des réseaux d'assainissement. Ce surdimensionnement, couplé à l'augmentation des températures dû au dérèglement climatique n'a fait qu'accroître la problématique autour du sulfure d'hydrogène déjà bien ancrée sur de nombreux réseaux d'assainissement. La formation de sulfure d'hydrogène est synonyme de dangers réels pour les exploitants, de nuisances et de détériorations pour l'exploitation de réseaux d'eaux usées et de stations de traitement. Le H<sub>2</sub>S est un gaz toxique pour l'homme, sa production dans les réseaux est donc le risque majeur pour les agents intervenant sur les installations et ouvrages d'assainissement. La tolérance aux nuisances olfactives de la population étant de plus en plus basse, son odeur désagréable est devenue un enjeu de vie en zone urbaine. Le patrimoine d'assainissement est également menacé car le sulfure d'hydrogène est source de dégradation des bétons et des métaux à la fois sur les réseaux mais aussi sur les stations de traitement. Il convient alors d'identifier les solutions les plus pertinentes sur le plan économique et sur le plan environnemental pour lutter contre le H<sub>2</sub>S. L'ensemble des problématiques a créé un besoin d'évaluation du risque de formation du H<sub>2</sub>S, afin de prévenir de ses potentielles conséquences. La compréhension de l'influence des paramètres de l'effluent et du réseau sur la production de H<sub>2</sub>S permettra une critique et une prise de recul sur les méthodes utilisées en bureau d'étude pour évaluer le risque H<sub>2</sub>S. Dans un second temps, la complexité du rôle de chaque paramètre ainsi que leur multiplicité dans le mécanisme de formation du H<sub>2</sub>S mettra en exergue les limites des bureaux d'études dans l'approche du risque. Afin de répondre de manière plus pertinente aux attentes des maîtres d'ouvrage sur l'identification du risque H<sub>2</sub>S dans les réseaux d'assainissement, la méthode d'évaluation du risque de SCE devra être améliorée et formalisée. Cette méthode se basera à la fois sur des données théoriques mais aussi sur des observations réelles pour affiner le plus possible l'étude du risque. La prise en compte de la configuration du réseau dans cette méthode permettra également de conseiller le maître d'ouvrage vis-à-vis des solutions à mettre en place pour minimiser le risque de formation et d'émanation d'H<sub>2</sub>S. Toutefois, le mécanisme de formation de H<sub>2</sub>S étant très complexe, la méthode d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S se voudra être une méthode d'identification des zones à potentiel risque, et ne pourra prétendre à déterminer une quantification de la production d'H<sub>2</sub>S. La méthode d'évaluation du risque devra être adaptée en deux outils d'évaluation du risque en fonction des besoins et des contraintes du pôle Maîtrise d'œuvre et du pôle d'Étude. Cette étude devra donc bénéficier à l'ensemble de l'activité hydraulique de la société pour avoir une meilleure compréhension du phénomène et ainsi être plus pertinent dans l'approche des problématiques liées aux sulfure d'hydrogènes.

# 1. Bibliographie et état de l'art des solutions de lutte contre le sulfure d'hydrogène

## 1.1. Origine de la formation du sulfure d'hydrogène

### 1.1.1. Les mécanismes de formation

Les sulfures sont responsables de la formation de  $H_2S$  dans les eaux usées. La présence de ces sulfures dans les réseaux d'assainissement peut résulter de deux facteurs :

- La décomposition des molécules organiques ainsi que des composés soufrés et des sulfates inorganiques par des bactéries sulfato-réductrices présentent en milieu anaérobie.
- Le déversement d'eaux industrielles contenant des sulfures dans le réseau.

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  $H_2S$ . Le biofilm comprend plusieurs couches dont une couche anaérobie permettant la génération de sulfure.

### 1.1.2. Les lieux et zones de formations 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.

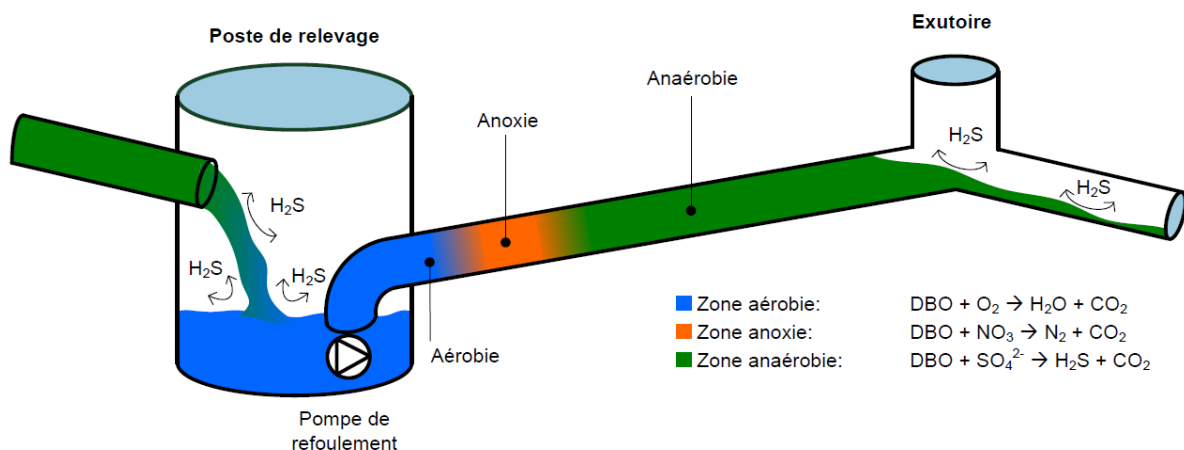


Figure 1 : Formation et émission du  $H_2S$  dans un réseau d'assainissement (Gouello et al. 2012)

Les conduites de refoulement d'eaux usées sont les principaux lieux de formation du H<sub>2</sub>S. Ces conduites étant continuellement en charge elle constitue un milieu anaérobie propice au développement de H<sub>2</sub>S (cf. Figure 1). 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<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S. 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<sub>2</sub>S dans lesquels le gaz se retrouve piégé entre la surface de l'eau et la croûte.

## **1.2. Les facteurs favorables à la production de sulfure d'hydrogène**

Il est important de connaître les facteurs influençant la production de H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S.

### **1.2.1. Les facteurs influençant la formation de H<sub>2</sub>S**

Concentration en matière organique, en DCO, en DBO5 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<sub>2</sub>S.

Concentration en sulfates

Les sulfates étant responsables de la formation des sulfures, leur présence est donc indispensable à la formation du H<sub>2</sub>S.

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

Un temps de séjour important permet au mécanisme de formation de H<sub>2</sub>S 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.

## **1.2.2. 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. (Carrera 2016)

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. (Gouello et al. 2012)

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. (Gouello et al. 2012)

## 1.3. Risques et conséquences de la présence d'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement

### 1.3.1. Risque de sécurité sanitaire et nuisances

#### 1.3.1.1. Le sulfure d'hydrogène : dangers et risques pour l'homme

Le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore d'odeur fétide caractéristique. (INRS 2014). Étant plus lourd que l'air, le H<sub>2</sub>S reste principalement au-dessus de la surface de l'eau dans les réseaux d'assainissement.

Le H<sub>2</sub>S est source de trois types de danger (INRS 2014) :

- 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.

##### 1.3.1.1.1. Toxicité aiguë et sur aiguë sur l'homme

Du fait de son odeur caractéristique le H<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S présente et au-delà d'une concentration d'environ 150 ppm il se produit une paralysie olfactive (cf. Tableau 1). Le sulfure d'hydrogène est donc indétectable au nez pour des concentrations élevées.

**Tableau 1 : Effets liés à une exposition aiguë au H<sub>2</sub>S (Chou 2003; Agnès 2009)**

Concentration en H <sub>2</sub> S (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



### 1.3.1.1.2. Toxicité subaiguë et chronique

La plupart des informations et des études menées sur l'exposition subaiguë et chronique au H<sub>2</sub>S sur l'homme sont limitées. Toutefois certaines mettent en exergue l'apparition de plusieurs symptômes (cf. Tableau 2).

**Tableau 2 : Symptômes liées à une exposition subaiguë et chronique au H<sub>2</sub>S (Agnès 2009)**

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 à 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<sub>2</sub>S dans les réseaux d'assainissement est le risque majeur pour les professionnels intervenant sur le réseau. Le code du travail (art. R.4412-149) précise les valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes dans l'air des lieux de travail en France (cf. Tableau 3). (INRS 2014)

**Tableau 3 : Valeurs limites d'exposition professionnelle du H<sub>2</sub>S (INRS 2014)**

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

<sup>1</sup> VME : Valeur moyenne d'exposition (exposition sur 8h)

<sup>2</sup> VLCT : Valeur limite de courte durée (exposition sur 15 min)

## 1.3.2. 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 (Céline DEBRIEU 2004).

Malgré ces désagréments il n'y a pas de réglementation vis-à-vis du traitement des odeurs en France. 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 (Céline DEBRIEU 2004). 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 (articles 20 et 29)

- 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.

## **1.4. 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 (STEU).

### **1.4.1. Dégradations des bétons et des métaux**

#### **1.4.1.1.1. Dégradation des bétons**

La dégradation des bétons est le résultat d'un processus de plusieurs étapes. Tout d'abord le H<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (cf. Figure 3).

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 (cf. Figure 2).

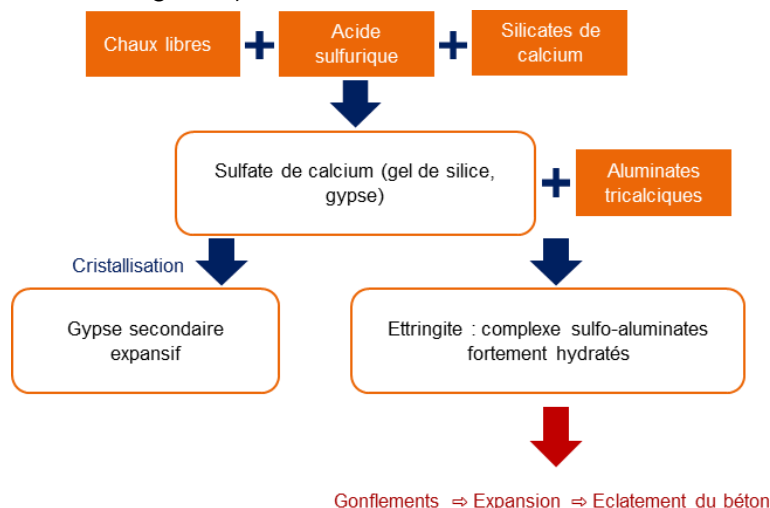


Figure 2 : Processus de dégradation des bétons

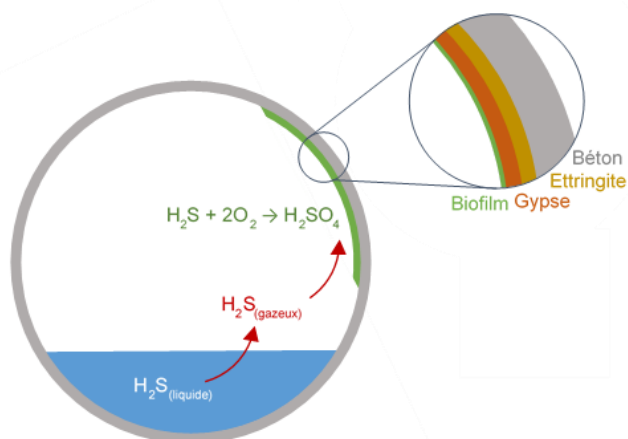


Figure 3 : Formation d'acide sulfurique dans une conduite

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 H<sub>2</sub>S dans le milieu aérien (cf. Tableau 4) (cf. Annexe 9). 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 H<sub>2</sub>S 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 (Herisson et al. 2015). Pour des milieux excédant les concentrations de la classe XA3 l'application de revêtements sur les bétons est préconisée.

Tableau 4 : Classes d'expositions des bétons aux H<sub>2</sub>S définies dans le fascicule FD P18-011

Classe d'exposition	XA1	XA2	XA3
Concentration moyenne de H <sub>2</sub> S (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 (Grandclerc 2017). 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 H<sub>2</sub>S dépassant la classe XA3.

Il a été mis en évidence que l'actuelle définition des classes d'expositions des bétons vis -à - vis du H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S. 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. (Gueguen Minerbe, Nour, Chaussadent 2020). Il a été préconisé d'établir une nouvelle définition des classes d'expositions en fonction du troisième quartile comme suit (cf. Tableau 5) :

**Tableau 5 : Nouvelle classe d'exposition préconisées (Gueguen Minerbe, Nour, Chaussadent 2020)**

Classe d'exposition	XA1	XA2	XA3
Concentration en H <sub>2</sub> S : 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<sub>2</sub>S.

#### 1.4.1.1.2. Corrosion des métaux

Les réactions entre le H<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S et de l'acide sulfurique. Ils ne sont donc pas recommandés s'il y a un risque de présence de H<sub>2</sub>S. Le H<sub>2</sub>S 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<sub>2</sub>S, les appareils électroniques sont également sensibles à la présence de ce gaz.

L'acier inoxydable est faiblement attaqué par le H<sub>2</sub>S 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 (Fonteneau 2008). Les différentes nuances d'inox n'étant pas différentiable 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.

## 1.4.2. 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 STEU.

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. (Maalej 2010; Sadowski 2012). 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. (Sadowski 2012)

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.

## 1.5. Méthode d'évaluation des risques

La méthode communément utilisée dans l'évaluation des risques est celle de Fayoux. Cette méthode s'applique pour les réseaux sous pression. Son analyse consiste à donner une note pour plusieurs facteurs de formations de le  $H_2S$  (cf. Tableau 6) :

- Température
- Temps de séjour
- Vitesse moyenne 24 heures
- Historique de l'effluent

**Tableau 6 : Evaluation du risque de formation du  $H_2S$  par Fayoux**

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 Note – vitesse instantanée 0,6 m/s	1 m/s -	0,8 m/s -	0,6 m/s -	0,4 m/s 10	0,2 m/s 15
Note – vitesse instantanée 1 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

Le résultat obtenu en additionnant l'ensemble permet de caractériser le risque :

0 à 5 : risque nul

5 à 10 : risque faible

10 à 20 : risque important

20 à 30 : risque certain

Cette méthode permet d'avoir un ordre de grandeur et une estimation rapide du risque de formation de H<sub>2</sub>S pour les tronçons sous pression.

La méthode atteint très vite ses limites concernant l'analyse des risques du H<sub>2</sub>S sur l'ensemble ou une partie d'un réseau. En effet, plusieurs facteurs d'influence ne sont pas pris en compte. Le risque concernant le H<sub>2</sub>S est également lié à son émission sous forme gazeuse or la méthode ne prend pas en compte cette dimension. La structure du réseau influe aussi la formation de H<sub>2</sub>S. La méthode proposée par Fayoux paraît incomplète pour déterminer dans sa globalité et de façon optimale les risques liés au H<sub>2</sub>S sur un réseau d'assainissement.

Il est possible d'évaluer la production de sulfures en réseau gravitaire, la méthode suivante permet ainsi de compléter celle de Fayoux s'appliquant uniquement au réseau sous pression. La formule suivante permet ainsi de prévoir de façon qualitative la production de sulfure d'hydrogène. Cette formule est pessimiste pour les petits diamètres, l'optimal est donc de l'appliquer pour les grands diamètres. (Sadowski 2012)

$$Z = 3 \cdot (DBO_5) \cdot 1,07^{T-20} \cdot Pm / (I^{\frac{1}{2}} \cdot Q^{\frac{1}{3}} \cdot b)$$

DBO<sub>5</sub> : La concentration en DBO<sub>5</sub> en mg/L

T : La température de l'effluent en °C

Pm : Le périmètre mouillé en mètre

I : La pente de la conduite en m/m

B : La largeur à la surface en m

Q : Le débit de l'effluent en L/s

Ainsi on estime la quantité de sulfures selon la valeur de Z (cf. Tableau 7) :

**Tableau 7 : Estimation de la production de sulfures selon la valeur de Z**

Valeur de Z	Estimation qualitative de la production de sulfures
< 5000	Pas de sulfures
5000 < et < 7500	Quelques mg/L de sulfures
> 10000	Odeur de sulfures
> 20000	Présence de sulfures dissous en permanence

Ces deux méthodes ne permettent pas de déterminer précisément la production de sulfures, toutefois elles peuvent indiquer les secteurs sensibles à surveiller sur le réseau.

## 1.6. Solutions et traitements contre la production du H<sub>2</sub>S

### 1.6.1. Ouvrages et infrastructures limitant la production et l'émission du H<sub>2</sub>S

#### 1.6.1.1. Ajustement des vitesses d'écoulements

La vitesse est un facteur très influent dans la formation de H<sub>2</sub>S. Une vitesse relativement faible favorise les dépôts et la création de biofilm. Il est nécessaire de satisfaire les conditions d'auto-curage. 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

### **1.6.1.2. 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<sub>2</sub>S. 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<sub>2</sub>S 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.

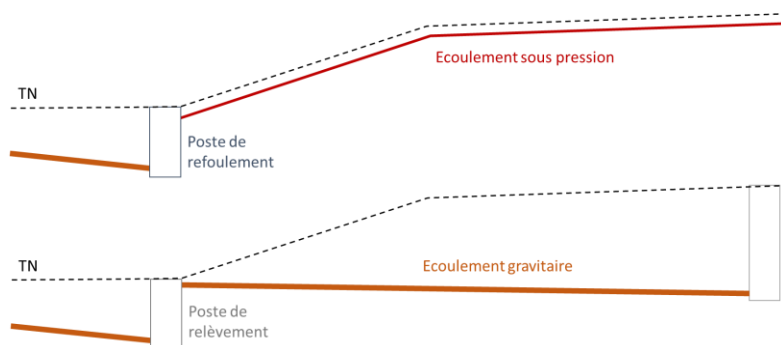
### **1.6.1.3. Choix pertinent d'un système de pompage**

Les conduites de refoulement sont les lieux les plus favorables à la production de H<sub>2</sub>S dans les réseaux. La longueur des canalisations de refoulement couplé aux temps de séjour importants favorise la formation de H<sub>2</sub>S. Afin de réduire la formation de H<sub>2</sub>S dans les réseaux d'assainissement il convient d'opter pour des systèmes de pompes adaptés.

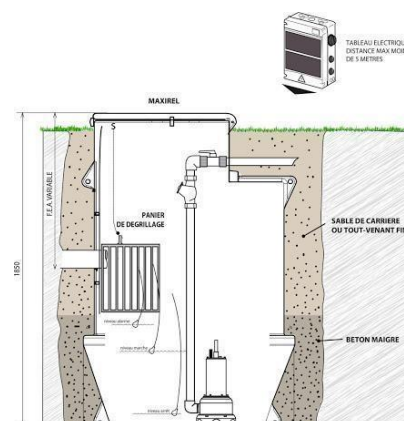
#### **Les postes de relevage**

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 (cf. 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<sub>2</sub>S. 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 5 : Conception du réseau selon le type de postes**

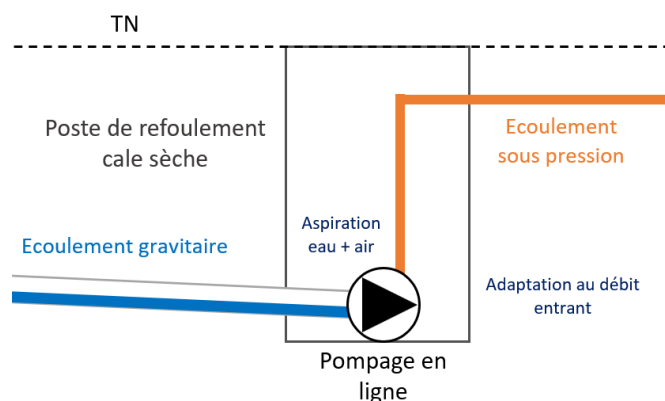


**Figure 4 : Schéma d'un poste de refoulement**

Source : <http://lycee-cherioux.fr/>

## 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 (cf. Figure 6). (José VAZQUEZ 2016). Le pompage en ligne permet de diminuer la formation de H<sub>2</sub>S 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 6 : Schémas d'un poste avec pompage en ligne**

## Le refoulement pneumatique

Le refoulement pneumatique permet le transfert de l'effluent par air comprimé (cf. Figure 7). Ce type de refoulement présente de nombreux avantages concernant la production de H<sub>2</sub>S. De l'air étant injecté dans la conduite de refoulement on évite ainsi la formation de H<sub>2</sub>S. L'installation permet également la vidange de la conduite de refoulement permettant de prévenir d'éventuelles formations 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.



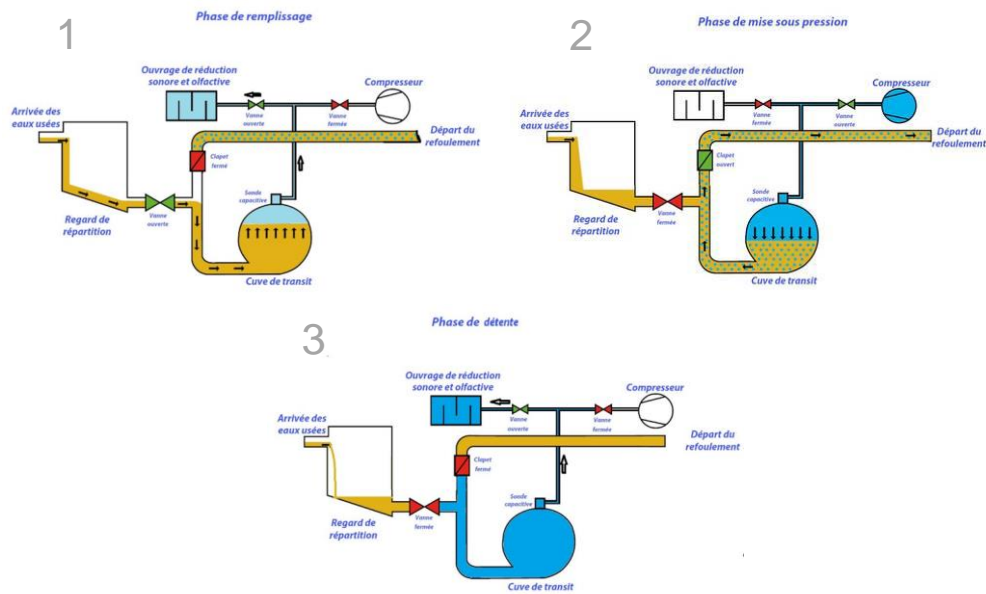


Figure 7 : Principe de fonctionnement d'un refoulement pneumatique (Source : UFT France)

### 1.6.1.4. Ouvrages et installations de protections face au H<sub>2</sub>S

Certains aménagements permettent soit de limiter l'émission de H<sub>2</sub>S 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 H<sub>2</sub>S 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 (cf. Figure 8).

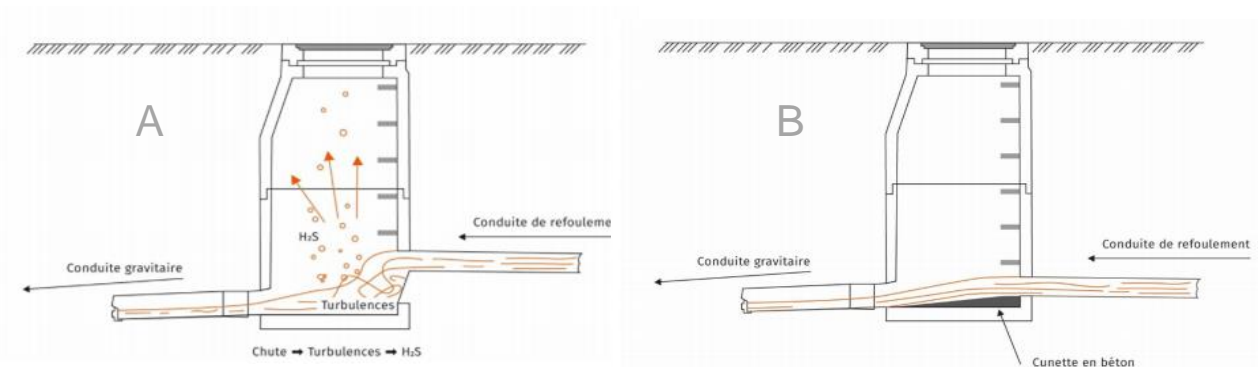


Figure 8 : Schémas d'un regard d'exutoire de refoulement avec chute (A) et sans chute (B) (Astee 2017)

#### 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 (cf. Figure 9). Ces regards doivent être placés à l'amont d'ouvrages sensibles (poste de refoulement, STEU) afin de les protéger des dégradations par le H<sub>2</sub>S. Un système d'aération et de traitement de l'air pollué doit être installé pour traiter le H<sub>2</sub>S 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.

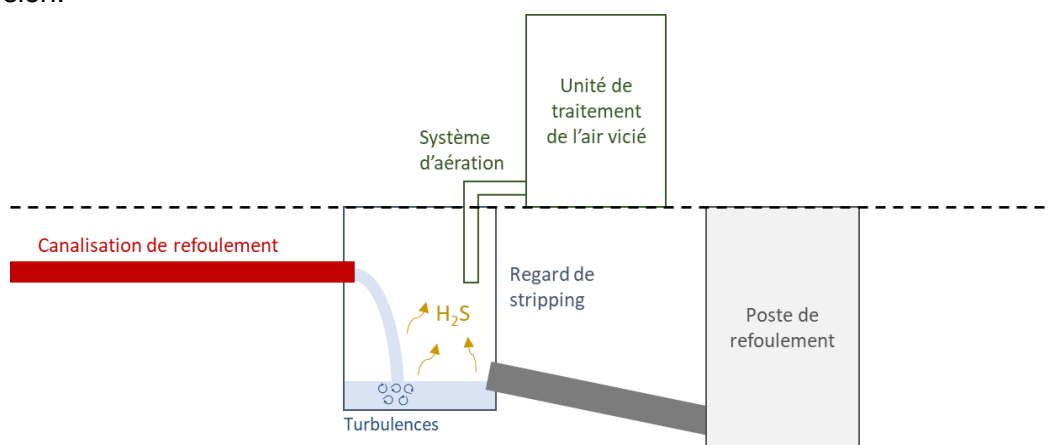


Figure 9 : Schéma d'un regard de stripping

## 1.6.2. Les traitements du H<sub>2</sub>S

### 1.6.2.1. 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.

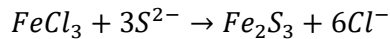
#### Injection de nitrates de calcium Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

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 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ainsi la dose à appliquer pour oxyder 1 g de S<sup>2-</sup> 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<sub>2</sub>S. 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<sub>2</sub>S est élevée, notamment en fin de réseau pour des effluents très septiques. Elle dépend également d'un bon calage de l'injection de réactif.

## 1.6.2.2. Les traitements curatifs

### Injection de chlorure ferrique ou de chlorure ferreux

L'injection de chlorure ferrique a pour objectif de faire précipiter l'ion  $S^{2-}$  avec le fer pour former du sulfure de fer(III) ( $Fe_2S_3$ ). Cette précipitation se traduit par la réaction suivante :

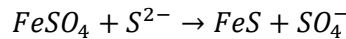


La dose à injecter pour des produits commerciaux est de 13 g ou 9 L/g de  $S^{2-}$ . Ce procédé nécessite une mise en place d'une cuve de stockage spécialement conçue pour les produits corrosifs. De plus, la précipitation engendre une production de boues supplémentaires.

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  $S^{2-}$  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  $S^{2-}$ . 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  $H_2O_2$  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  $H_2O_2$ /g de  $S^{2-}$ . 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 7 : Comparatif des solutions de traitement du H<sub>2</sub>S**

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€ <sup>1</sup> 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€ <sup>1</sup> Coût du réactif 410 €/T
Injection de chlorures ferrique/ferreux	Curative	Traitement efficace du H <sub>2</sub> 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 bêche peut engendrer la corrosion des pompes	
Injection de sulfates ferreux	Curative	Traitement efficace du H <sub>2</sub> 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

<sup>1</sup> Les coûts correspondent à un ordre de grandeur sur des projets réalisés

### 1.6.2.3. 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 H<sub>2</sub>S 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 (cf. Figure 10). 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 Nm<sup>3</sup>/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.

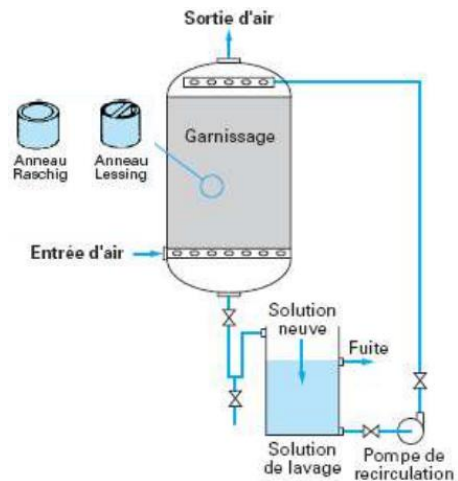


Figure 10 : Traitement par lavage  
Source : UMR CNRS6226, P-F.BIARD

#### Traitement par absorption

Le principe de ce traitement est de piéger les odeurs sur des absorbants (cf. Figure 11). 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.

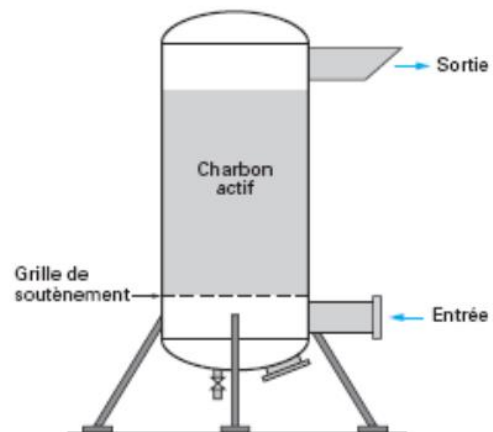


Figure 11 : Traitement par absorption sur charbon actif  
Source : UMR CNRS6226, P-F.BIARD

## 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 (cf. Figure 12) :

- 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%.

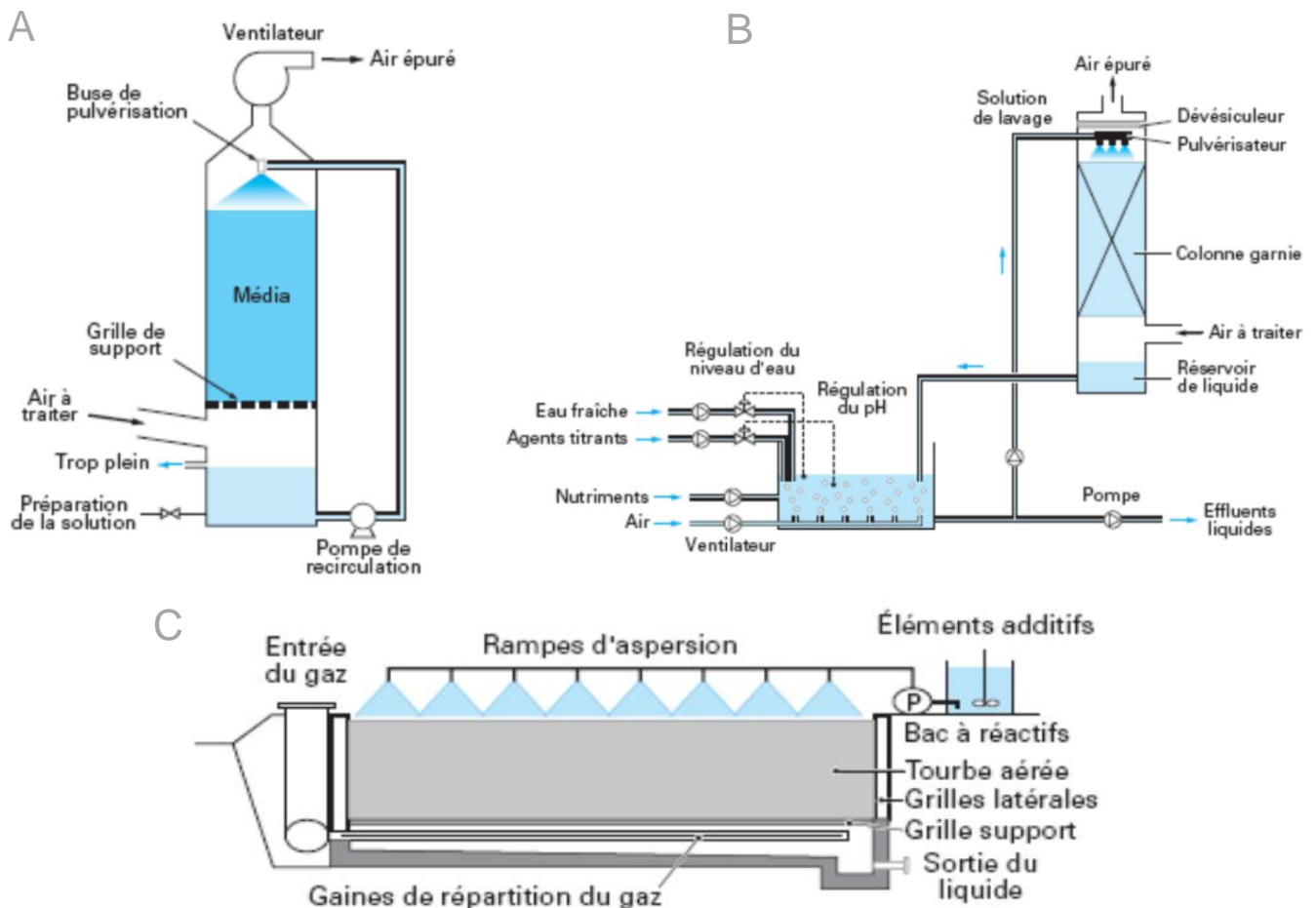


Figure 12 : Système de traitement par voie biologique de l'effluent gazeux A-Lit bactérien B-Biolaveur C-Biofiltre

Source : Ecoles des Mines de Nantes, E.Dumont ; UMR CNRS6226, P-F.BIARD

## 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 bénévoles et volontaires. 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 informés de l'avancement de la situation et d'impliquer les riverains dans la gestion du problème.

La communication est un point clé 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.

## 1.7. Etudes de cas et mise en perspectives

Les études de cas présentées par la suite permettent d'avoir une approche plus concrète des enjeux et des problèmes liés aux sulfures d'hydrogène.

### 1.7.1. Ville de Laval

La ville de Laval a été confrontée aux problèmes de H<sub>2</sub>S et a constaté plusieurs désordres sur son réseau d'assainissement. Dans l'optique d'y remédier, la ville a fait appel en 2014 à la Société ATHEO SOLUTION. Une campagne de mesure ainsi qu'un diagnostic H<sub>2</sub>S sur l'ensemble des postes de collecte et sur certains de leurs exutoires ont donc été réalisés. Ce sont au total 23 postes qui ont été diagnostiqués (cf. Tableau 8).

#### 1.7.1.1. Observations

Tableau 8 : Résultat de la campagne de mesure H<sub>2</sub>S réalisée en 2014 à Laval par ATHEO SOLUTION

Poste	H <sub>2</sub> S Moy (ppm)	H <sub>2</sub> S max (ppm)	Sulfure (mg/l)	Nuisance
1	0,83	13	0,7	Légère corrosion
2	0,64	2	0	
3	0,64	2	3	Légère corrosion
4	0	0		
5	0,87	43	0,2	Corrosion
6	5,71	79	0,3	Corrosion, odeurs
7	0,64	8	0,7	Corrosion, odeurs
8	7,92	354	4	Corrosion, odeurs
9	0,01	5	0,4	
10	0,14	12	0,4	
11	0,55	110	5,5	Odeurs
12	0	0	0,2	
13	0,03	2	0,3	
14	1,05	19	3,5	
15	0,01	1	0,4	
16	0,16	1	7,8	Corrosion
17	6,17	109	9	Corrosion, odeurs
18	0,44	15	0,2	
19	1,32	90	0,2	Odeurs
20	0,11	9	0,1	
21	7,26	48	0,9	Corrosion, odeurs
22	1,93	73	3,7	Corrosion, odeurs
23	0,11	5	1,3	Corrosion, odeurs

On constate que les concentrations moyennes H<sub>2</sub>S de l'ensemble des postes n'excèdent pas 10 ppm et qu'environ 70% des postes ont une concentration en H<sub>2</sub>S inférieure à 1 ppm. Bien que les concentrations moyennes soient relativement faibles, on observe sur certains postes



des pics de concentrations. Des valeurs maximales de concentrations autour de 100 ppm ont pu être mesurées. Un poste se démarque nettement avec une concentration maximale s'élevant à plus de 350 ppm, ce qui représente un risque potentiellement mortel. La présence d'odeurs et de corrosion semble systématique pour des concentrations maximales supérieures à 40 ppm mais peut toutefois apparaître pour de plus faibles concentrations. Les problèmes de corrosions se sont manifestés sur environ 50% des postes de la ville tandis que les problèmes d'odeur sur 43% des postes.

### 1.7.1.2. Analyses

La mesure de concentration maximale de H<sub>2</sub>S est un bon indicateur pour prévenir d'éventuelles futures dégradations qui doit tout de même s'accompagner d'une mesure de concentration moyenne car les pics de concentrations peuvent être très ponctuels. Cette observation rejoint directement celles de l'article « Devenir des structures en béton en présence d'H<sub>2</sub>S –Vers une évolution des classes d'exposition » qui préconise d'utiliser le 3<sup>ème</sup> quartile c'est-à-dire la valeur séparant les 75% des données inférieures des 25 % des données supérieures comme indicateur de classe d'exposition.

Les valeurs de concentration des sulfures ne permettent pas d'établir une corrélation évidente entre la concentration de sulfure et la production d'H<sub>2</sub>S. Aux vues des valeurs du tableau il apparaît que même une faible concentration de sulfure permet une production conséquente d'H<sub>2</sub>S.

Sur 7 des 23 postes, des risques majeurs pour l'homme sont avérés. Ces 7 postes ont une concentration en H<sub>2</sub>S pouvant entraîner des dommages oculaires sérieux. Le poste où il a été observé une concentration maximale de 354 ppm présente un risque d'œdème pulmonaire et un risque mortel. Ce réseau d'assainissement peut être source de graves séquelles liées au H<sub>2</sub>S.

## 1.7.2. La Rochelle - Porte Dauphine

Des problèmes liés au H<sub>2</sub>S ont été constatés sur une partie du réseau de La Rochelle. Le tronçon étudié permet de transférer les eaux du PR Jean Moulin jusqu'à la STEP Port-Neuf par l'intermédiaire de plusieurs postes de refoulements. La commune a fait appel à la Société ATHEO SOLUTION pour réaliser une campagne de mesure et 'un diagnostic H<sub>2</sub>S sur les différents postes de refoulement ainsi que sur leurs exutoires respectifs. Le schéma de la portion de réseau étudiée est placé en annexe 2.

### 1.7.2.1. Observations

**Tableau 9 : Résultat de la campagne de mesure H<sub>2</sub>S réalisée en 2017 à La Rochelle par ATHEO SOLUTION**

Points de mesures	H <sub>2</sub> S Moy (ppm)	H <sub>2</sub> S Max (ppm)
PR Jean Moulin	11,21	52
Exutoire Jean Moulin	50,5	146
PR Aqueduc	0,96	16
PR Porte Dauphine	12,2	47
Exutoire porte Dauphine	37,2	145

Le PR Jean Moulin possède une unité de traitement au nitrate de calcium. Les mesures précédentes (cf. Tableau 9) ont été réalisées sans traitement afin d'évaluer l'efficacité du traitement.

Les mesures prouvent une forte concentration en H<sub>2</sub>S à l'exutoire du PR Jean Moulin. Cet exutoire collecte à la fois les eaux du PR Jean Moulin mais aussi celle du PR Treich Laplène. Cela induit un fort dégagement de gaz au niveau de cet exutoire. On constate logiquement de fortes dégradations et des nuisances olfactives au niveau et à l'aval de cet exutoire.

Le H<sub>2</sub>S produit dans la canalisation de refoulement du PR Jean Moulin se dégage jusqu'au PR Porte Dauphine. Ainsi le PR Porte Dauphine subit de fortes corrosions. On a de nouveau une production de H<sub>2</sub>S dans la canalisation de refoulement de ce PR. Et donc à l'aval, et au niveau de l'exutoire du refoulement on a un dégagement important de H<sub>2</sub>S qui conduit à une dégradation des ouvrages ainsi qu'une production d'odeur.

Le PR Jean Moulin collecte des effluents ayant une septicité avancée, en effet le potentiel RedOx mesuré au niveau du poste est de -88 mV.

**Tableau 10 : Résultats des mesures H<sub>2</sub>S réalisées pour différents dosages de réactif au poste Jean Moulin en 2017 à La Rochelle par ATHEO SOLUTION**

	Sans traitement	Dosage 1 = 181 l/j		Dosage 2 = 369 l/j		Dosage 3 = 588 l/j	
Point de mesure	H <sub>2</sub> S Moy (ppm)	H <sub>2</sub> S Moy (ppm)	Abattement (%)	H <sub>2</sub> S Moy (ppm)	Abattement (%)	H <sub>2</sub> S Moy (ppm)	Abattement (%)
Exutoire Jean Moulin	50,5	28,16	44	15,07	70	4,1	92
PR Porte Dauphine	12,2	5,97	51	2,39	80	0,28	98
Exutoire porte Dauphine	37,2	34,33	8	33,45	10	22,33	40

Un traitement au niveau du PR Jean Moulin permet d'abattre efficacement le H<sub>2</sub>S au niveau de son exutoire ainsi qu'au niveau du PR porte Dauphine. En revanche, il n'est pas efficace à l'exutoire du PR Porte Dauphine. Cela est dû au refoulement du PR Porte Dauphine qui est une zone de formation du H<sub>2</sub>S. L'injection de nitrate de calcium ne peut couvrir un traitement sur plusieurs postes de refoulement (cf. Tableau 10).

Selon ATHEO SOLUTION une partie du réactif est consommée directement dans la bache du PR Jean Moulin par les effluents du fait de leur septicité avancée. La quantité de réactif consommée est d'environ 15 à 20 %. Ainsi lors d'un traitement chimique il convient de prendre en compte la septicité des effluents et donc dans certains cas cela revient à surestimer la quantité injectée pour être certain d'abattre le H<sub>2</sub>S.

## 2. Analyse des paramètres influençant la production de H<sub>2</sub>S

La compréhension du mécanisme de formation de H<sub>2</sub>S nous permet de mieux appréhender le phénomène et de cibler ses zones de productions. Toutefois, afin d'identifier un potentiel risque H<sub>2</sub>S au niveau des postes de refoulement nous allons étudier l'influence des paramètres de l'effluent et du réseau sur la production de H<sub>2</sub>S. L'impact de ces différents paramètres va pouvoir nous éclairer sur la pertinence des méthodes d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S proposées par Fayoux mais aussi par le bureau d'étude SCE.

Plusieurs campagnes de mesures H<sub>2</sub>S ont été compilées pour obtenir une base de données comprenant à la fois les caractéristiques de chaque poste de refoulement, les paramètres physico-chimiques de l'effluent aux postes de refoulement et à leurs exutoires ainsi que la concentration moyenne et maximale de H<sub>2</sub>S dans le ciel gazeux des exutoires (cf. Annexe 10). L'ensemble des postes étudiés appartient à des réseaux d'assainissement de trois agglomérations distinctes, Laval, Saint-Brieuc et La Rochelle. Un total de 84 postes de roulement, sur lesquels des mesures H<sub>2</sub>S ont été effectuées, a pu être compilé. Toutefois certaines mesures pouvant être manquantes sur certains postes, il a fallu exclure 36 postes de l'étude.

### 2.1. Influence de chaque paramètre sur la production de H<sub>2</sub>S

#### 2.1.1. Paramètres étudiés

Les différents paramètres étudiés sont :

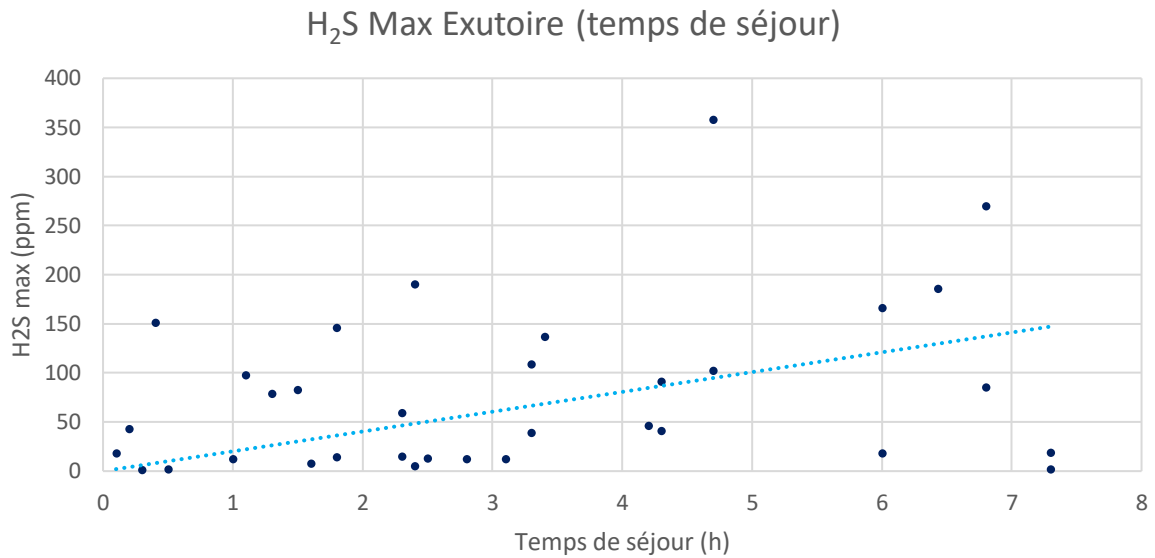
- Le temps de séjour : Le temps de séjour a été calculé grâce au débit moyen journalier et aux caractéristiques de la conduite de refoulement (diamètre et longueur).
- Le potentiel redox de l'effluent au poste de refoulement.
- La température de l'effluent au poste de refoulement.
- Concentration moyenne et maximale en H<sub>2</sub>S à l'exutoire du poste de refoulement.

La formation du H<sub>2</sub>S étant multifactorielle, il est difficile d'évaluer l'influence de chaque paramètre sur la production du H<sub>2</sub>S indépendamment les uns des autres.

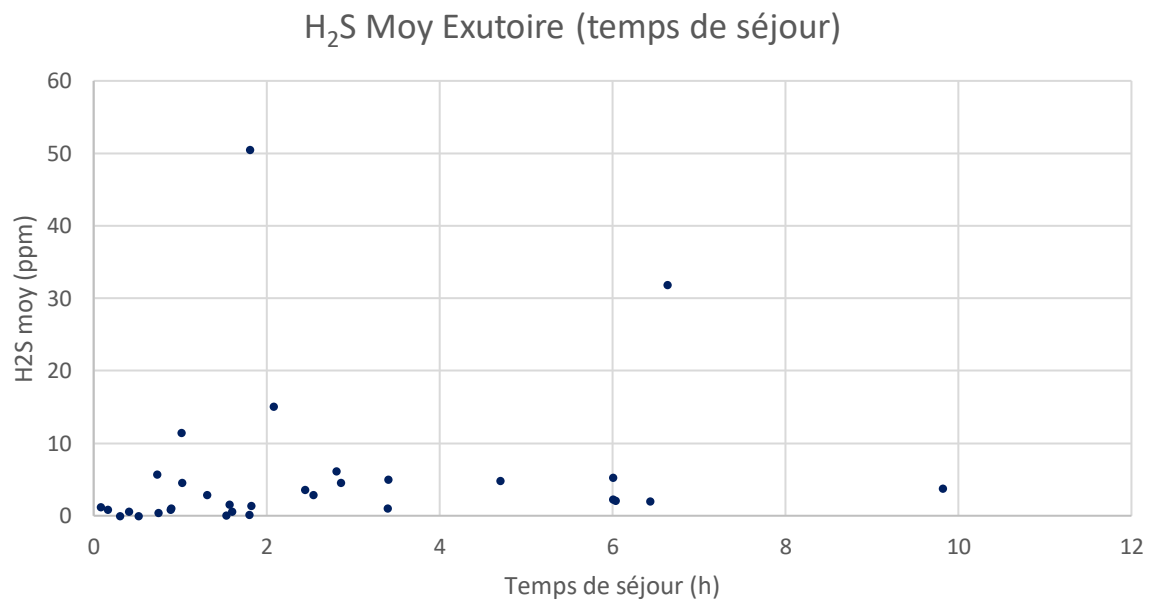
#### 2.1.2. Temps de séjour en fonction de la concentration maximale en H<sub>2</sub>S

La répartition des points (cf. Figure 13) montre qu'il n'y a pas de corrélation linéaire entre le temps de séjour dans la canalisation de refoulement et la concentration maximale de H<sub>2</sub>S à l'exutoire. On observe tout de même que pour des temps de séjour supérieurs à 2h, les concentrations maximales de H<sub>2</sub>S sont dans la majeure partie des cas supérieures à 40 ppm. La concentration de H<sub>2</sub>S a tendance à augmenter avec les temps de séjour. Cependant il s'avère qu'en dessous de 2h certaines concentrations sont très élevées.

L'analyse des résultats obtenus est critiquable car les temps de séjour utilisés sont le temps de séjour moyen. Or le temps de séjour fluctue pendant la journée. Ainsi la concentration maximale de H<sub>2</sub>S mesurée ne correspond pas forcément au temps de séjour maximal observé dans la journée. Cette critique sera confirmée par la suite.

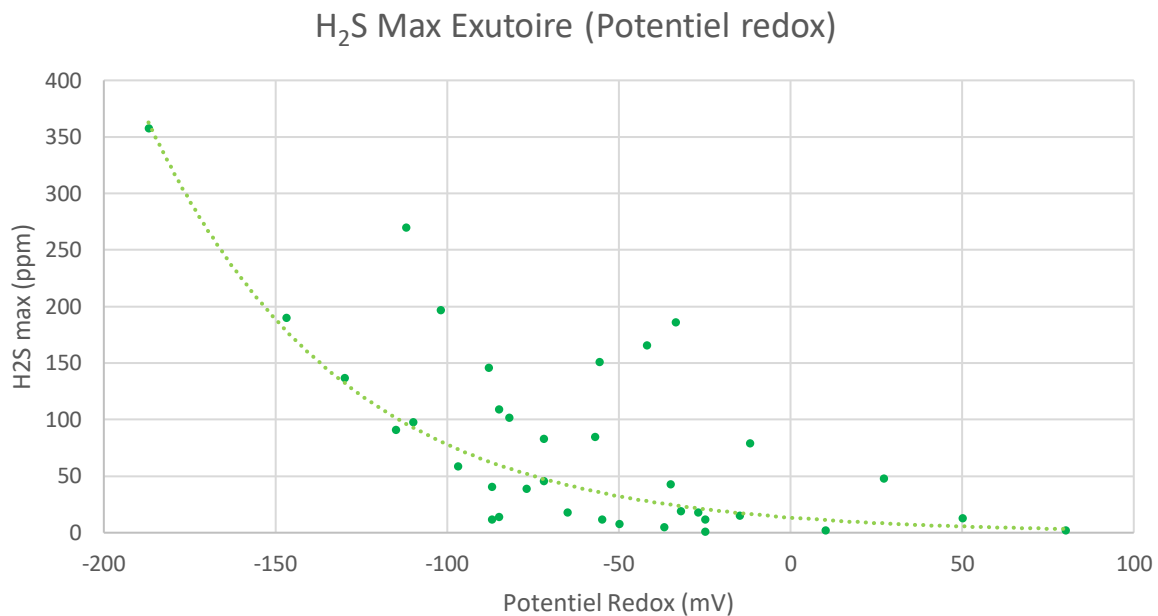


**Figure 13 : Graphique des concentrations maximales en H<sub>2</sub>S en fonction des temps de séjours de l'ensemble des postes étudiés**



**Figure 14 : Graphique des concentrations moyennes en H<sub>2</sub>S en fonction des temps de séjours de l'ensemble des postes étudiés**

## 2.1.3. Potentiel redox en fonction de la concentration maximale



**Figure 15 : Graphique des concentrations maximales en H<sub>2</sub>S en fonction des potentiels RedOx de l'ensemble des postes étudiés**

Une corrélation est également difficile à établir entre le potentiel redox et la concentration maximale de H<sub>2</sub>S (cf. Figure 15). Néanmoins plus le potentiel redox est faible plus la concentration de H<sub>2</sub>S a tendance à augmenter. Pour des valeurs positives de potentiel redox la concentration de H<sub>2</sub>S a tendance à être faible. Le potentiel redox traduit la septicité de l'effluent, ainsi des effluents frais en tête de réseau seront moins susceptibles de produire du H<sub>2</sub>S que des effluents septiques en fin de réseau.

## 2.1.4. Concentration moyenne de H<sub>2</sub>S

Afin d'exploiter correctement les concentrations moyennes mesurées il est nécessaire d'avoir une plus grande période de mesure couplée à des mesures en continue du débit et du potentiel redox. Les graphiques obtenus avec les valeurs moyennes de concentration de H<sub>2</sub>S sont placés en annexe 4. Les concentrations moyennes de H<sub>2</sub>S en fonction des différents paramètres ne permettent pas de dégager une tendance.

## 2.2. Evaluation de la méthode de Fayoux

### 2.2.1. Présentation de la méthode

La méthode de Fayoux permet d'attribuer une note à chaque paramètre afin de définir le risque de production du H<sub>2</sub>S dans les conduites de refoulement. On rappelle le tableau de Fayoux (cf. Tableau 11) déjà évoqué paragraphe 1.5.

**Tableau 11 : Tableau d'évaluation du risque de Fayoux**

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 Note – vitesse instantanée 0,6 m/s	1 m/s -	0,8 m/s -	0,6 m/s -	0,4 m/s 10	0,2 m/s 15
Note – vitesse instantanée 1 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

L'addition de ces notes permet d'obtenir le niveau de risque H<sub>2</sub>S (cf. Tableau 12) :

**Tableau 12 : Classement du risque en fonction des notes obtenues par l'évaluation du risque de Fayoux**

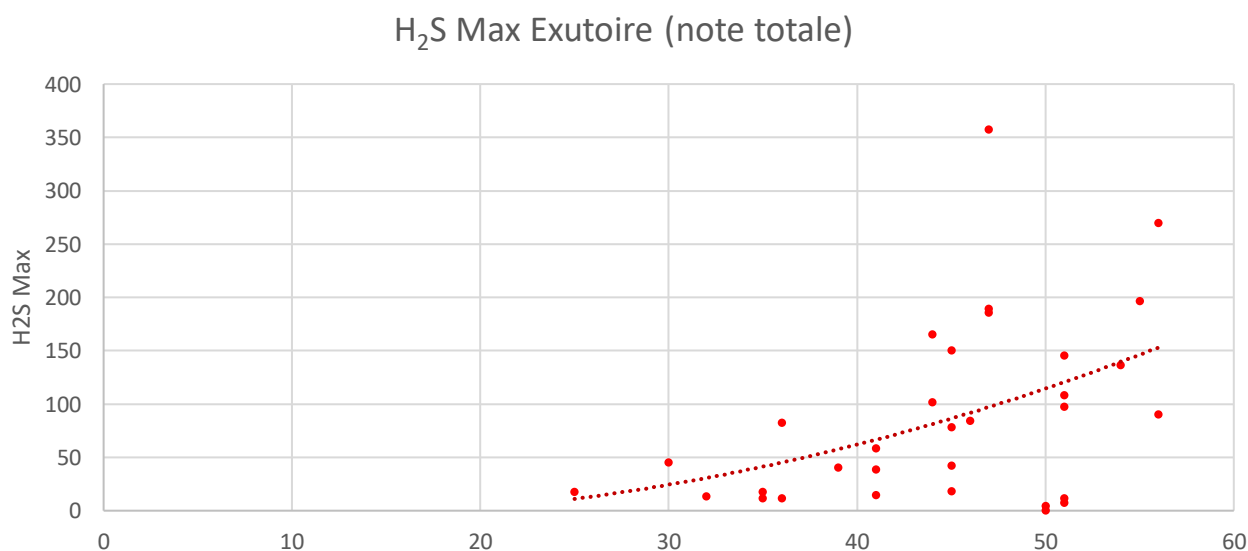
Risque	Risque nul	Risque faible	Risque important	Risque certain
Note	0-5	5-10	10-20	20-30

## 2.2.2. Première évaluation

La première évaluation consiste à appliquer la méthode de Fayoux. Le graphique suivant (cf. Figure 16) présente la répartition des notes de chaque poste de refoulement en fonction de la concentration maximale en H<sub>2</sub>S mesuré à l'exutoire des postes.

L'ensemble des postes étudiés ont une note supérieure à 25, signifiant un risque certain selon Fayoux. Or on constate que certaines valeurs de concentration maximale en H<sub>2</sub>S sont inférieures à 15 ppm et donc ne traduisent pas un risque important de formation du H<sub>2</sub>S.

La tendance d'évolution des notes est plutôt cohérente. Cependant pour certaines concentrations maximales de H<sub>2</sub>S la note n'est pas cohérente. Par exemple pour les postes avec la note de 51, on a des mesures de 8 ppm, 98 ppm et 146 ppm.



**Figure 16 : Graphique des concentrations maximales en H<sub>2</sub>S en fonction de la note d'évaluation du risque de Fayoux de l'ensemble des postes étudiés**

On peut déduire trois conclusions de ces observations :

- Soit la méthode est très pessimiste et donc tend à prévoir un risque systématique notamment lorsque le potentiel redox est négatif.
- Soit la méthode est obsolète.
- Soit la méthode surévalue le potentiel oxydoréducteur de l'effluent dans les réseaux.

Le défaut de la méthode est également l'attribution d'une notation restrictive. En effet un potentiel redox de -10 mv aura la même note qu'un potentiel redox de -90 mv. Il faut peut-être établir une meilleure répartition des notes.

### **2.2.3. Seconde évaluation - non prise en compte des notes sur la vitesse**

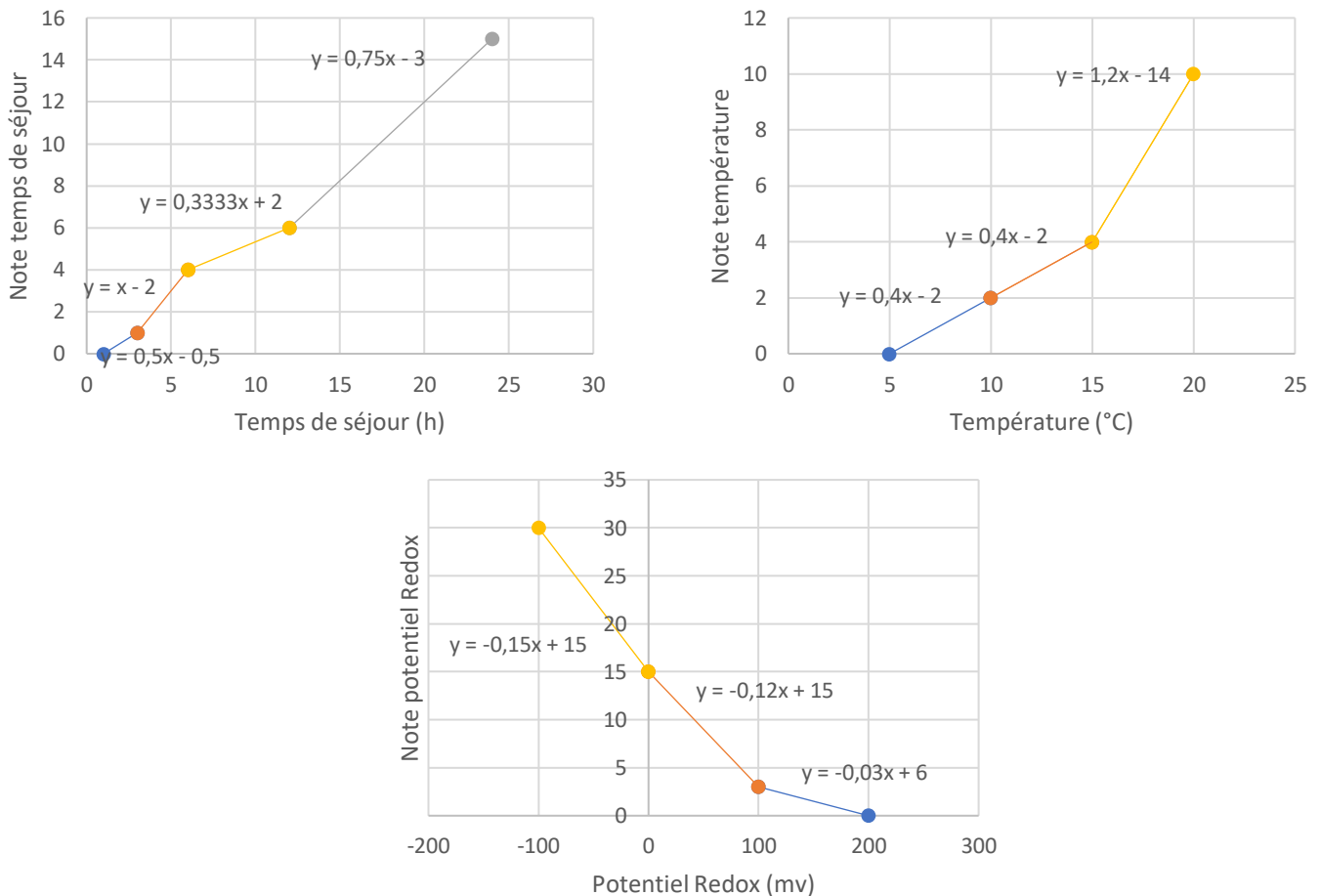
Cette méthode reprend les notes précédentes en y soustrayant les notes liées à la vitesse instantanée et moyenne. Cette seconde évaluation est uniquement réalisée dans l'optique d'effectuer une interpolation linéaire des notes de chaque paramètre. La note liée aux vitesses est définie par deux paramètres (vitesse instantanée et vitesse moyenne), ainsi il n'est pas possible d'effectuer une interpolation linéaire sur ces notes. Le graphique de répartition des notes est en annexe 4.

Toutefois, l'analyse de ces notes confirme les conclusions précédentes. En effet, sans l'évaluation de la note sur les vitesses on obtient déjà des valeurs supérieures à 20 témoignant selon Fayoux d'un risque certain de production du H<sub>2</sub>S. On constate que pour les postes de refoulement ayant une note supérieure à 20, il y a, à la fois des concentrations d'H<sub>2</sub>S maximales très élevées mais aussi des concentrations très faibles. Pour les postes dont la note est 35 on a des mesures de concentration maximale de H<sub>2</sub>S à 1 ppm, 19 ppm ou 151 ppm.

## 2.2.4. Troisième évaluation – Interpolation linéaire

### linéaire

On reprend la méthode de Fayoux tout en appliquant une interpolation linéaire entre chaque palier de notation de chaque paramètre (cf. Figure 17). On ne prend pas en compte la note sur les vitesses car on ne peut pas réaliser d'interpolation linéaire sur ces notes.



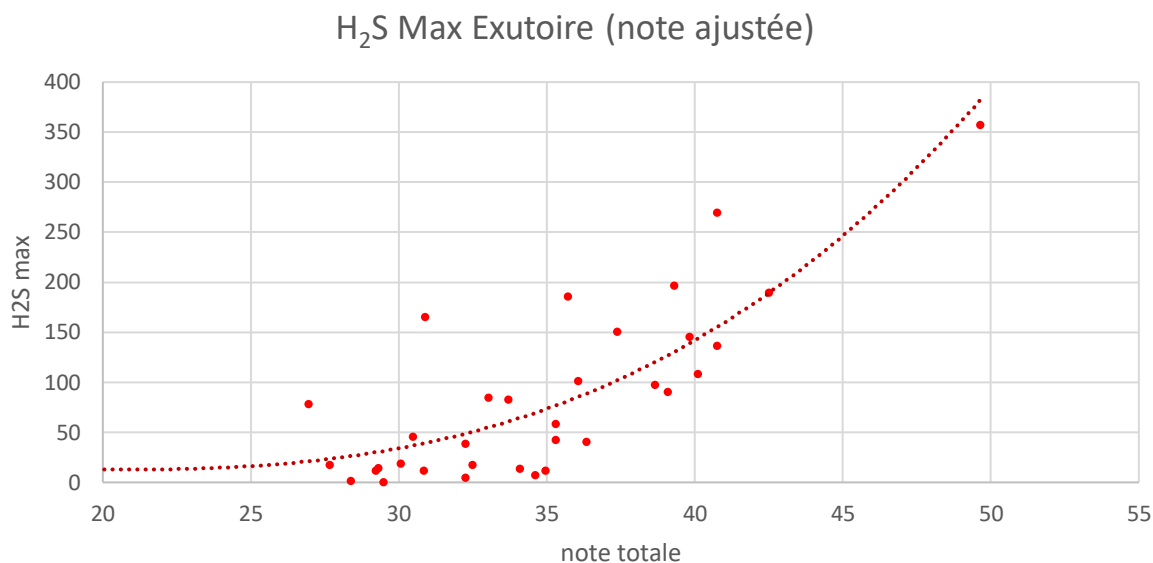
**Figure 17 : Interpolation linéaire des notes de Fayoux**

Cette interpolation linéaire par palier, permet d'obtenir une répartition plus pertinente des notes.

Deux modifications ont été apportées par rapport à la méthode de Fayoux :

- Sur la température : Les températures supérieures à 20°C suivent l'équation de la fonction affine des notes comprises entre 10 et 20. En effet, attribuer une note de 20 à toutes les températures supérieures à 20°C est trop excluant.
- Sur le potentiel redox : Les potentiels redox inférieurs à -100 mv suivent l'équation de la fonction affine des notes comprises entre 15 et 30.





**Figure 18 : Graphique des concentrations maximales en H<sub>2</sub>S en fonction des notes d'évaluation du risque de Fayoux interpolées linéairement et sans prise en compte de la note sur les vitesses de l'ensemble des postes étudiés**

On observe une homogénéisation des notes de 25 à 50 (cf. Figure 18). On a parfois des écarts importants entre les valeurs de concentrations pour des notes similaires. Le problème mentionné précédemment, lié aux temps de séjour moyen, influe peut-être sur la répartition des notes et ne permet pas d'obtenir une corrélation entre les notes et les concentrations de H<sub>2</sub>S mesurées. Les concentrations sont supérieures à 100 ppm pour la majorité des notes supérieures à 35. Cette dernière notation permet d'obtenir une meilleure répartition des notes et constitue donc une meilleure approche dans l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S

Nous avons pu démontrer les limites de la notation de Fayoux au niveau de l'attribution de la notation. De plus, elle est difficile à mettre en place car elle demande des données très souvent manquantes sur les postes de refoulement (température de l'effluent, potentiel oxydoréducteur), et donc les bureaux d'études ne peuvent pas y avoir accès. Un moyen de les obtenir est la pose de sondes, toutefois la réalisation d'une campagne de mesure H<sub>2</sub>S plutôt qu'une campagne de mesures de température et de potentiel redox semble plus pertinente si l'on souhaite connaître le risque H<sub>2</sub>S.

## 2.2.5. Mise en évidence de l'impact d'une chute accompagnée sur la libération du H<sub>2</sub>S

L'impact d'une chute accompagnée ou d'un élément casse chute en sortie de refoulement a pu être mis en évidence sur un poste de l'étude. Ce poste a des caractéristiques très favorables à la formation de H<sub>2</sub>S dans sa conduite de refoulement pourtant les valeurs de concentrations maximales et moyennes mesurées à l'exutoire sont très faibles.

**Tableau 13 : Caractéristiques des postes étudiés, PR MERCERIES 2 et L'AULNAY à Laval**

PR	Temps de séjour	Potentiel redox	Température de l'effluent	H <sub>2</sub> S moy	H <sub>2</sub> S max
MERCERIE 2	4,1 h	-55 mV	20,5°C	0,16 ppm	1 ppm
L'AULNAY	4,7 h	80 mV	18.8 °C	2 ppm	0,64 ppm

Avec de telles valeurs de temps de séjour, les concentrations de H<sub>2</sub>S moyennes et maximales devraient être bien supérieures aux valeurs mesurées à l'exutoire (cf. Tableau 13). De plus les effluents arrivant au PR MERCERIE 2 sont déjà septiques, tandis que ceux arrivants au PR L'AULNAY se dégradent dans la conduite de refoulement chutant de 80 mV à -115 mV.

La chute accompagnée limite très probablement le dégazage du H<sub>2</sub>S, d'autant plus que la quantité de sulfures dissous dans l'effluent est importante 7,8 mg/l au poste MERCERIE 2.

Même si une chute accompagnée à l'exutoire permet de limiter le dégagement de gaz, elle ne fait que déplacer le problème à l'aval du réseau. Le dégazage se fera effectivement tout au long du réseau gravitaire et sera accentué à la prochaine turbulence. La chute accompagnée est intéressante dans le cas d'une faible production de H<sub>2</sub>S, à la suite d'un traitement préventif par exemple, ou bien dans le cas de la mise en place d'un traitement curatif à l'exutoire. En effet, cette chute va limiter la dispersion d'odeurs. Le constat d'un tel dispositif de chute accompagnée doit également engager la visite des regards plus à l'aval de l'exutoire.



**Figure 19 : Ecoulement accompagné au refoulement du PR L'AULNAY à Laval**

## 2.3. Etude de l'évolution des temps de séjour

### 2.3.1. Introduction

D'après les graphiques des concentrations maximales et moyennes en fonction des temps de séjours établis précédemment, on peut légitimement s'interroger sur le réel impact du temps de séjour sur le dégagement d'H<sub>2</sub>S. Revenons sur ce qui peut influencer un temps de séjour, lui-même dépendant du débit de pompage, du volume de canalisation et du nombre de démarrages de pompe :

- En réseau unitaire : L'apport d'eaux pluviales dans le réseau induit une augmentation de volume de l'effluent entraînant une réduction des temps de séjour.
- En réseau séparatif : L'apport d'eaux claires parasites par l'infiltration en nappe haute ou d'origine météorologique dans le réseau induit une augmentation de volume de l'effluent entraînant une réduction des temps de séjour.
- Les fluctuations de populations : Les volumes d'effluents dans le réseau sont directement liés à la population présente sur le bassin de collecte.
- Les habitudes de consommation des usagers influent directement sur l'évolution des temps de séjour.

- La présence d'industries, d'hôpitaux ou d'activités liées au tourisme sur le bassin de collecte influe sur l'évolution des temps de séjour car leurs profils de consommations sont différents des profils de consommations des usagers.

L'objectif est de montrer l'évolution du temps de séjour au cours d'une journée sur différentes périodes de l'année afin de mettre en exergue l'insuffisance de considérer seulement le temps de séjour moyen.

## 2.3.2. Méthode d'estimation des temps de séjours

### 2.3.2.1. Estimation des temps de séjour moyen journaliers

La plupart du temps on calcule des temps de séjour moyen journalier grâce au débit moyen journalier. Le temps de séjour s'exprime en heure.

$$TDS_{mj} = \frac{V_{cana}}{Q_{mj}} \times 24$$

$TDS_{mj}$  : Temps de séjour moyen journalier

$V_{cana}$  : Volume de la canalisation de refoulement en m<sup>3</sup>

$Q_{mj}$  : Débit moyen journalier en m<sup>3</sup>/j

### 2.3.2.2. Estimation des temps de séjours sur de plus faibles pas de temps

L'estimation rigoureuse des temps de séjour sur des pas de temps plus faibles nécessite les horaires de démarrage et d'arrêt des pompes, le volume de la canalisation de refoulement ainsi que le débit de pompage. Pour un volume entrant dans une canalisation de refoulement, son temps de séjour correspond à :

$$TDS = t_{sortie} - t_{entrée}$$

$TDS$  : Temps de séjour (h)

$t_{sortie}$  : Horaire d'entrée de l'effluent dans la canalisation

$t_{entrée}$  : Horaire de sortie de l'effluent de la canalisation

En raisonnant en termes de volumes, l'effluent pompé à l'instant  $t_{entrée}$ , sortira de la canalisation lorsque le volume pompé après son entrée sera égal au volume de la canalisation. Ainsi pour estimer un temps de séjour il faut connaître les horaires de démarrage et d'arrêt sur les heures suivantes ainsi que le débit de pompage et le volume de canalisation.

Lorsque les horaires de démarrage et d'arrêt des pompes ne sont pas connus, on peut estimer le temps de séjour sur les volumes pompés avec une approximation des heures de démarrage des pompes. L'erreur due à cette approximation est faible si le pas de temps de mesure du

volume est faible (15 min, 5 min, 1 min) car elle est écrasée par la grandeur des temps de séjour. Pour un pas de temps de 1 à 5 min l'erreur est tellement faible que seuls les volumes pompés sur le pas de temps suffisent à estimer le temps de séjour. Pour un pas de temps d'une minute l'erreur maximale est inférieure à 2 min et pour 5 min l'erreur maximale est inférieure à 10 min. (Programme d'estimation du temps de séjour grâce aux volumes pompés en annexe 6).

Pour la suite les temps de séjour ont été estimés sur un pas de temps de 15 min.

## 2.3.3. Analyse de l'évolution des temps de séjours au cours d'une année

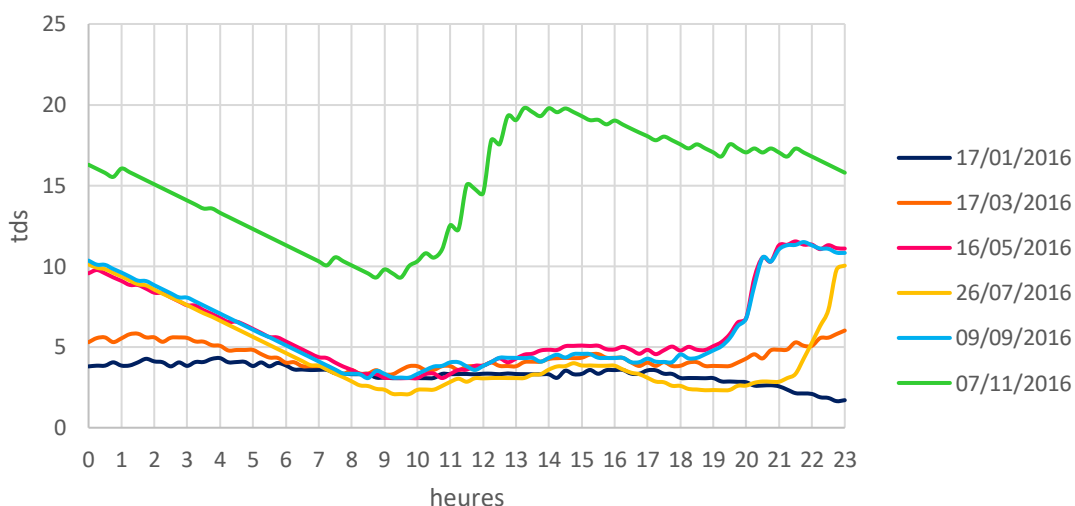
### 2.3.3.1. Contexte du poste de refoulement étudié

L'autosurveillance sur les débits du PR Envague sur la commune de Bangor à Belle-Ile-en-Mer a permis l'estimation des temps de séjour sur un pas de temps de 0,25 h soit 15 min et de montrer l'évolution des temps de séjours sur plusieurs journées à différents mois de l'année.

Le territoire de Belle-Ile-en-Mer est fortement touristique. Pendant 9 mois de l'année la population est composée principalement de résidents insulaires. Les périodes de vacances sont synonymes d'une augmentation très forte de population dû à l'afflux de vacanciers. L'île voit sa population multipliée par 8 en période estivale. Le réseau d'assainissement est totalement séparatif.

### 2.3.3.2. Evolution du temps de séjour sur plusieurs jours d'une année

Dans un premier temps l'objectif est de mettre en évidence l'influence des fluctuations de populations au cours de l'année. Ainsi six journées ont été sélectionnées, pour lesquelles il n'y a pas eu d'événements pluvieux les jours précédents. Bien sûr en période de nappes hautes, il y a toujours une forte probabilité d'avoir des ECP dans le réseau de collecte.



**Figure 20 : Profils journaliers des temps de séjour sur plusieurs périodes de l'année 2016 sur le PR Envague à Bangor**

La différence des profils de temps de séjour souligne l'évolution des temps de séjour sur les différentes saisons de l'année (cf. Figure 20). Un temps de séjour similaire sur différentes périodes de l'année à parfois des origines différentes. Par exemple un faible temps de séjour

moyen en juillet est dû à l'augmentation estivale de la population tandis qu'un faible temps de séjour moyen en janvier est dû à l'apport d'ECP dans le réseau (cf. Figure 21).

Au mois de janvier jusqu'au mois de mars, on se situe en période de nappe haute ce qui est notamment dû aux évènements pluvieux du début d'année. L'infiltration probable d'ECP explique la courbe des temps de séjours qui sont majoritairement les plus faibles pour la journée de janvier et de mars.

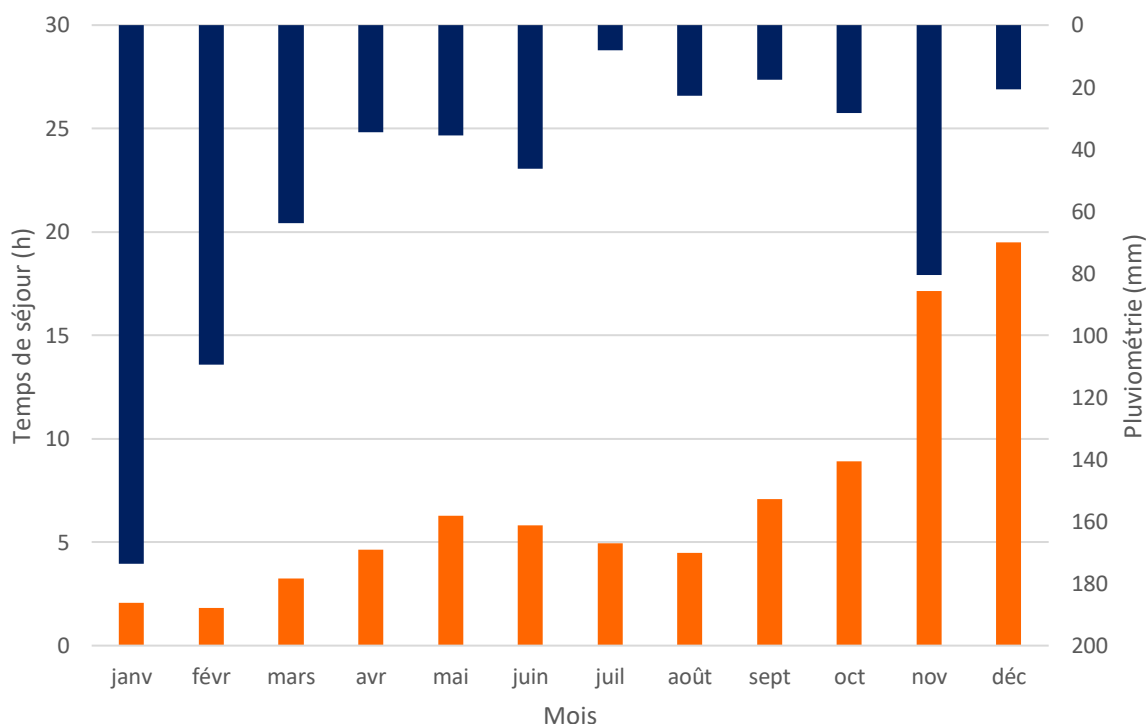
La journée de juillet, où la population de l'île est la plus élevée, a des temps de séjour faibles en journée. On remarque une différence des habitudes de consommation par rapport aux journées de mai et septembre car les temps de séjour restent faibles jusqu'à 22 h.

On observe des temps de séjour plus élevés pour les jours du mois de mai et septembre. Le mois de mai comportant de nombreux jours fériés, c'est un mois propice à l'afflux de vacanciers.

Enfin sur la journée de novembre on a des temps de séjour très élevés. Cela s'explique par de faibles précipitations sur les mois précédents ainsi que par le retour à la normale de la population.

Ce profil de temps de séjour est bien spécifique aux territoires touristiques. Ici il est davantage accentué car on se situe sur une île. Pour les zones à faible attraction touristique le temps de séjour pendant les périodes estivales a tendance à augmenter à cause des départs des vacanciers.

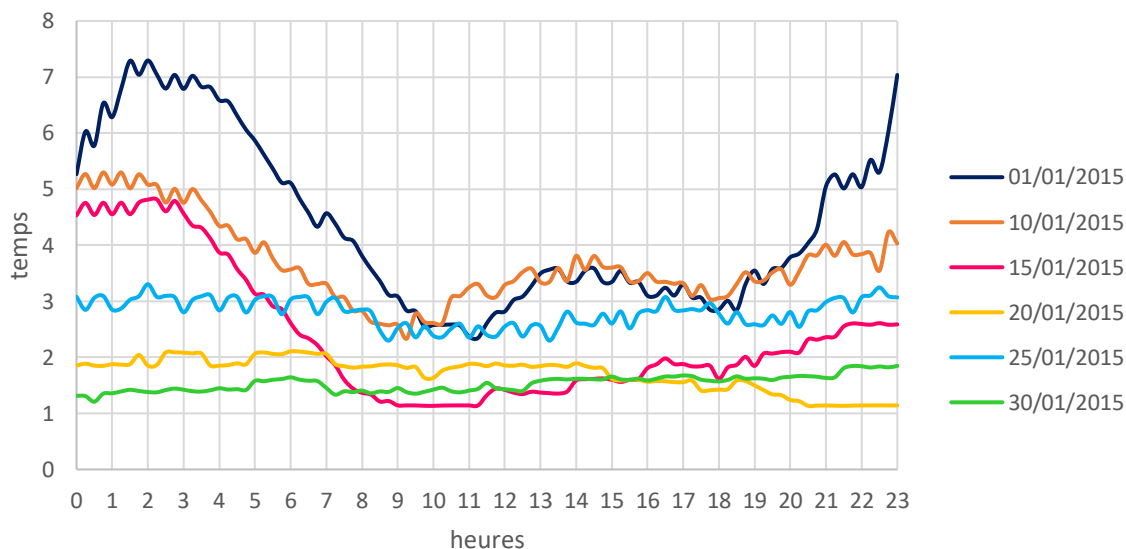
Il est important de tirer pour enseignements de ces profils saisonniers, qu'un poste d'injection de traitement anti-H<sub>2</sub>S doit être adapté et automatisé en fonction des profils types permettant de caler au plus proche du besoin d'injection de produits.



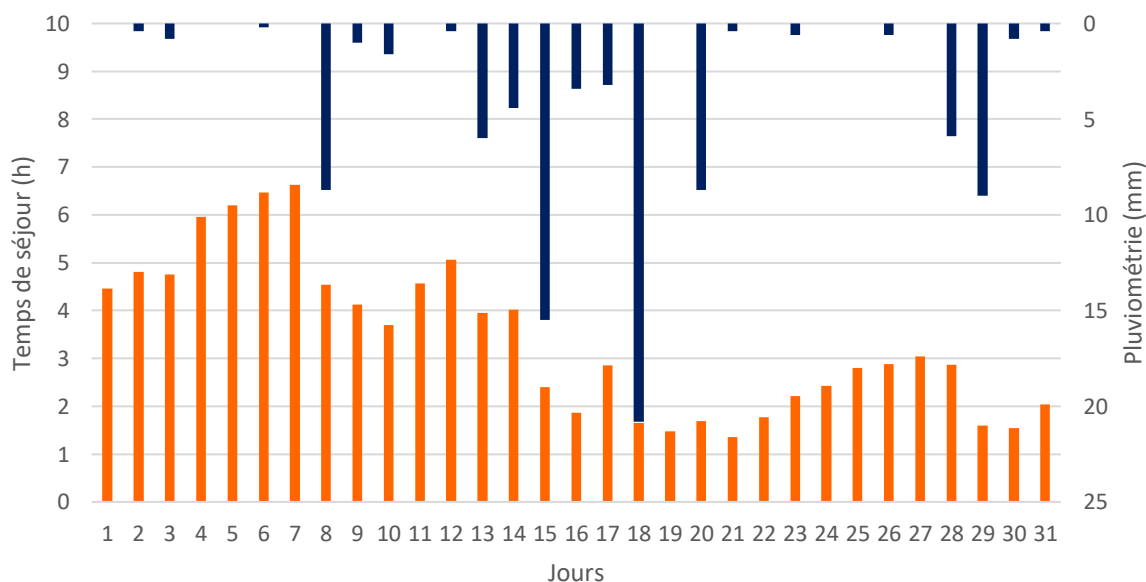
**Figure 21 : Evolution des temps de séjour moyen sur les mois de l'année 2016 sur le PR Envague à Bangor et évolution de la pluviométrie mensuelle sur le territoire de Belle-Ile-en-Mer**

### 2.3.3.3. Evolution des temps de séjours sur plusieurs jours d'un mois

Afin de visualiser l'impact des ECP sur les temps de séjour on étudie différents profils journaliers sur le mois de janvier 2015 (cf. Figure 22).



**Figure 22 : Evolution des temps de séjour sur plusieurs jours du mois de janvier 2015 sur le PR Envague à Bangor**



**Figure 23 : Evolution des temps de séjour moyen sur le mois de janvier 2015 sur le PR Envague à Bangor et évolution de la pluviométrie journalière sur le mois de janvier 2015 sur le territoire de Belle-Ile-en-Mer**

On constate l'influence directe des événements pluvieux sur les temps de séjours (cf. Figure 23). Pour deux journées de ce mois de janvier on observe des écarts pour les temps de séjour maximum d'environ 6h. Les graphiques des temps de séjour prouvent bien la complexité d'évaluation des temps de séjour. Les événements pluvieux impactent les temps de séjours

de plusieurs manières : Mauvais raccordement des eaux pluviales, infiltrations d'ECP, ressuyage.

On a démontré l'importance de prendre en considération les temps de séjour de temps sec pour estimer le plus fort risque de formation de H<sub>2</sub>S. Les évènements pluvieux doivent être également pris en compte dans l'approche du calage de l'injection de traitement anti-H<sub>2</sub>S.

## 2.3.4. Corrélation entre les temps de séjour et la production du H<sub>2</sub>S

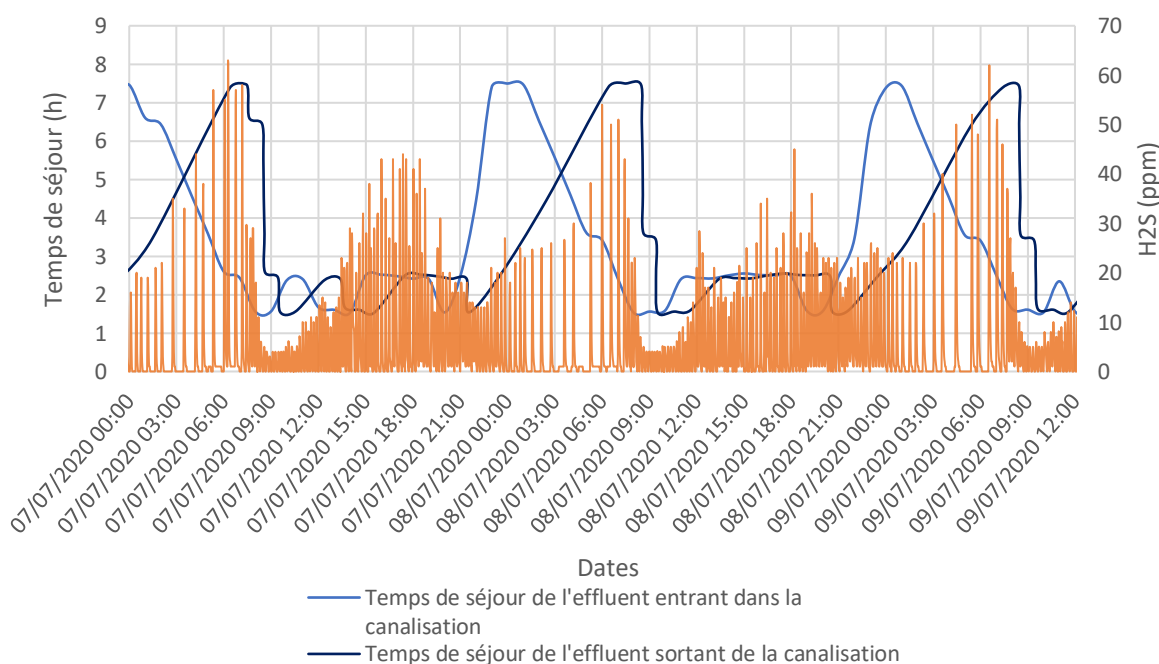
L'objectif est de montrer que l'évolution des temps de séjour au cours d'une journée influe sur l'évolution des concentrations de H<sub>2</sub>S. On étudie sur plusieurs journées la concentration de H<sub>2</sub>S et le temps de séjour horaire.

Les temps de séjour suivent un profil cyclique atteignant des valeurs maximales entre 22h et 1h. Afin de montrer l'influence des temps de séjours sur la production de H<sub>2</sub>S, il faut déterminer l'heure de sortie du volume d'eau entrant dans la canalisation à une heure donnée.

$$h_{\text{sortie}} = h_{\text{entrée}} + TDS$$

On obtient ainsi une courbe des temps de séjour de l'effluent sortant de la canalisation plus pertinente à étudier car le H<sub>2</sub>S est dégagé lorsque l'effluent sort de la canalisation.

Le profil des concentrations de H<sub>2</sub>S coïncide avec le profil des temps de séjours de l'effluent sortant de la canalisation prouvant l'influence des temps de séjour sur la formation de H<sub>2</sub>S (cf. Figure 24). L'effluent séjourne longtemps dans la canalisation dû à la faible consommation



**Figure 24 : Evolution des temps de séjour et de la concentration en H<sub>2</sub>S du 07/07/2020 au 09/07/2020 à l'exutoire du PR Stade à Changé**

d'eau pendant la nuit et donc à la faible activité du pompage. Ainsi, à l'élévation du temps et de la fréquence de pompage, on observe une forte émanation du H<sub>2</sub>S à l'exutoire.

## 2.4. Evaluation de la méthode SCE

La mise en évidence de l'influence de multiples paramètres, et plus précisément celle du temps de séjour sur la formation du H<sub>2</sub>S, permettent désormais de poser un regard critique sur les méthodes appliquées par SCE pour évaluer le risque H<sub>2</sub>S.

Que ce soit pour des études de maîtrise d'œuvre ou bien de schéma directeur d'assainissement, l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S se fait uniquement par l'intermédiaire du temps de séjour. Cette approche est succincte car elle n'utilise qu'un seul paramètre de la méthode de Fayoux. Cette méthode concise s'explique par le manque de données disponibles en bureau d'études.

La méthode d'évaluation du risque de SCE estime s'il y a un risque de production de H<sub>2</sub>S ou non selon le temps de séjour :

- Temps de séjour strictement inférieur à 4h : Il n'a pas de risque H<sub>2</sub>S
- Temps de séjour supérieur à 4h : Il y a un risque H<sub>2</sub>S

Le temps de séjour est calculé grâce au débit journalier lorsque la donnée est disponible. Si la donnée n'est pas disponible on approche le temps de séjour grâce au débit journalier estimé sur la consommation annuelle d'AEP. Le temps de séjour estimé peut donc être très éloigné du temps de séjour pouvant engendrer la plus forte production de H<sub>2</sub>S dans l'année. La méconnaissance des diamètres des canalisations de refoulement peut être également facteur d'une mauvaise estimation des temps de séjour.

La méthode de SCE permet d'identifier les postes à risque car au-delà de 4h la probabilité de formation de H<sub>2</sub>S est importante. Cependant, elle est optimiste concernant les postes dont le temps de séjour est inférieur à 4h et qui pourraient potentiellement présenter un risque H<sub>2</sub>S lié aux autres paramètres d'influence.

## 2.5. Synthèse

L'étude de l'influence des différents paramètres de formation du H<sub>2</sub>S a permis de mettre en évidence la complexité de l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S. Toutefois le travail d'interpolation linéaire sur la méthode de Fayoux a montré une répartition intéressante des notes qui demanderait à être complétée par l'étude d'un plus grand panel de poste. La contrainte majeure dans la possibilité d'utiliser la méthode de Fayoux est la faible disponibilité des données en bureau d'études. Ainsi, l'étude du temps de séjour, paramètre le plus accessible, a permis de mettre en évidence son influence sur la formation de H<sub>2</sub>S, mais aussi de mettre en garde sur l'utilisation des temps de séjours moyens dans l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S. La méthode d'évaluation du risque de SCE basée uniquement sur les temps de séjour s'adapte à la contrainte du manque de données, toutefois elle doit être améliorée et complétée pour répondre plus précisément aux besoins du maître d'ouvrage.



# 3. Elaboration des outils d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S

L'évaluation de la méthode d'évaluation du risque mis en place par SCE a permis de montrer ses limites. Le bureau d'études a donc besoin d'une nouvelle méthode et d'un nouvel outil d'analyse du risque H<sub>2</sub>S pour satisfaire au mieux les besoins du maître d'ouvrage, ainsi que pour formaliser et consolider son approche vis-à-vis du risque H<sub>2</sub>S dans l'ensemble de ses agences.

Les échanges réalisés avec les différents chargés d'études, notamment Amandine GUTIG, François DELAVEAU et Héloïse MONNIER-CESBRON ont permis de définir des attentes et des besoins différents dans chaque pôle, qui sont HUE (Hydraulique Urbaine Etude) et MOE H&T (Maîtrise d'œuvre hydraulique et traitement) de l'activité IEA (infrastructure et aménagement). Le maître d'œuvre a pour rôle de conseiller le maître d'ouvrage, en ce sens l'outil d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S doit être le plus exhaustif possible pour à la fois prévenir d'un éventuel risque H<sub>2</sub>S mais aussi orienter sur le choix le plus pertinent du traitement à mettre en place. L'évaluation du risque H<sub>2</sub>S en maîtrise d'œuvre intervient sur un secteur très localisé du réseau car les études menées concernent la plupart du temps la réhabilitation d'un poste de refoulement. Cela permet au maître d'œuvre d'avoir la possibilité de collecter le maximum d'informations que doit pouvoir gérer l'outil d'évaluation du risque. En étude schéma directeur d'assainissement l'objectif est d'identifier les postes présentant un risque H<sub>2</sub>S sur l'ensemble du réseau et de pouvoir établir une hiérarchisation des postes sur lesquels il est nécessaire de minimiser le risque H<sub>2</sub>S. L'évaluation concerne l'intégralité des postes du réseau, ainsi l'évaluation du risque doit être simplifiée par rapport à l'évaluation du risque en maîtrise d'œuvre. La divergence des besoins et des contraintes dans chaque pôle implique la création de deux outils d'évaluation du risque reposant sur des bases similaires.

## 3.1. Outils d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S - MOE

### 3.1.1. Cheminement de l'évaluation du risque

Le cheminement de l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S est traduit par le logigramme suivant (cf. Figure 25).

L'ensemble des paramètres de l'étude va permettre d'estimer le risque H<sub>2</sub>S. L'estimation s'appuie à la fois sur la théorie et sur des observations réelles. Les observations réelles sont nécessaires pour éprouver la théorie. L'objectif est d'établir un logigramme d'évaluation du risque. On ne peut établir une estimation de la quantité de H<sub>2</sub>S formée. Ainsi on scinde notre évaluation du risque en deux résultats : Faible risque de formation de H<sub>2</sub>S et Risque avéré de formation de H<sub>2</sub>S.

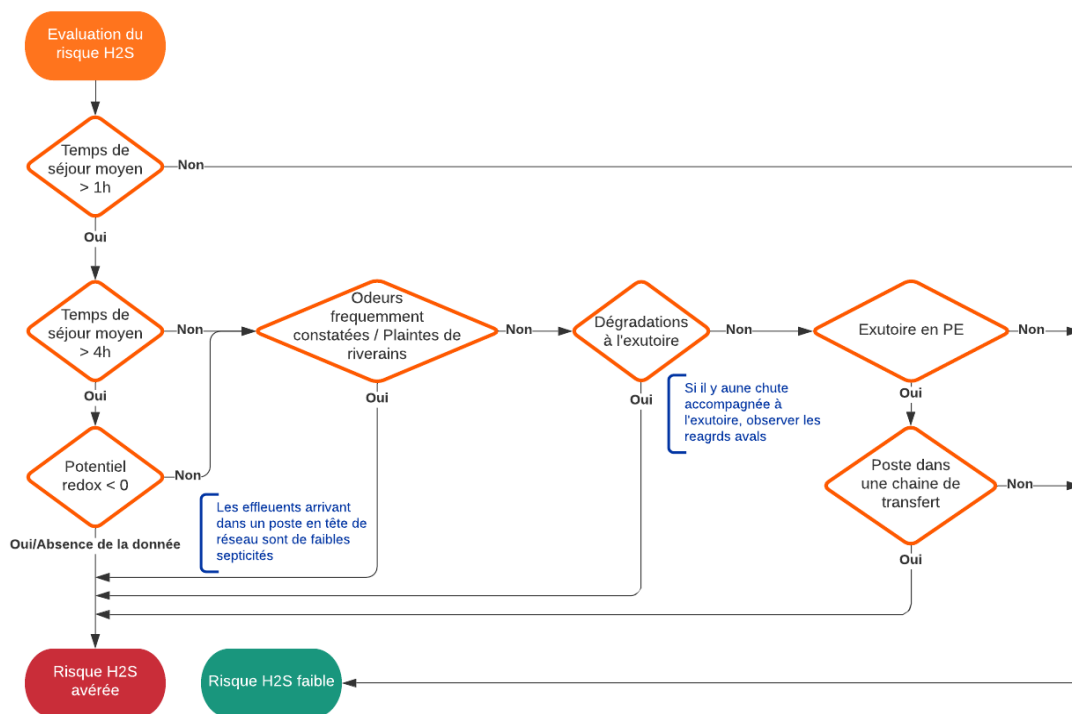


Figure 25 : Logigramme d'évaluation du risque H2S - MOE

### Décision 1

Le temps de séjour est le premier paramètre d'évaluation du risque. Il oriente le cheminement du logigramme. Pour un temps de séjour moyen journalier inférieur à 1h le risque est systématiquement faible. Ce choix s'appuie également sur l'analyse de Fayoux qui donne une note 0 pour un temps de séjour de 1h. Entre 1h et 4h on a besoin d'observations réelles pour affiner l'évaluation du risque. Enfin un temps de séjour supérieur à 4h témoigne d'un risque systématique sauf si le potentiel RedOx est positif. Le choix d'opter pour un temps de séjour de 4h repose sur le fait que la valeur soit utilisée fréquemment dans les bureaux d'études.

### Décision 1 bis

Le potentiel d'oxydoréduction informe sur la septicité de l'effluent. Plus ce potentiel est faible, plus le risque de formation de H<sub>2</sub>S est important. Un potentiel d'oxydoréduction positif limite fortement le risque de production de H<sub>2</sub>S. Cette donnée n'est pas essentielle dans l'évaluation du risque, toutefois sa disponibilité peut permettre d'affiner l'étude.

### Décision 2

Dans le cas où l'on ne peut déterminer le risque grâce au temps de séjour, on continue l'évaluation du risque grâce aux observations. Le H<sub>2</sub>S étant un gaz lourd se situant la plupart du temps à la surface de l'eau, sa détection par l'odorat dans l'air ambiant est probablement significative d'une forte émanation de H<sub>2</sub>S et donc d'un risque avéré. Ce critère doit être validé par des odeurs couramment constatées ou par des plaintes de riverains.

### Décision 3

Si ce critère n'est pas constaté on s'intéresse à la présence de dégradations à l'exutoire. La présence de dégradation étant très souvent liée à la corrosion des bétons par l'acide sulfurique, issu du H<sub>2</sub>S, elle témoigne d'une forte probabilité de production de H<sub>2</sub>S.

## Décision 4

Lorsque le matériau du regard est en PE, on ne pourra pas observer de dégradations liées au H<sub>2</sub>S sur le regard. Ainsi la décision précédente portée sur l'observation de dégradations peut être invalidée.

## Décision 5

Si le poste de refoulement est l'exutoire de son poste amont, les postes forment une chaîne de postes en cascade. Une chaîne de poste en cascade limite la réoxygénation de l'effluent et donc favorise la formation de H<sub>2</sub>S tout au long de la chaîne. L'exutoire de la chaîne de refoulement sera sujet à un risque important de libération de H<sub>2</sub>S.

## 3.1.2. Conseils et indications

Les conseils et indications sont issus de l'ensemble des paramètres de l'évaluation du risque et d'autres paramètres complémentaires. Ils permettent d'aborder le risque H<sub>2</sub>S à travers tous ses aspects et d'orienter le maître d'ouvrage sur les dispositions à mettre en œuvre pour lutter contre le risque H<sub>2</sub>S.

### 3.1.2.1. Auto-curage

La condition d'auto-curage est vérifiée par le biais de la vitesse instantanée. On se place dans les conditions minimales pour satisfaire l'auto-curage, soit lorsqu'une seule pompe du poste est en marche.

$$V_i = \pi * \frac{\left(\frac{D}{2000}\right)^2 Q_p}{3600 * 24}$$

$V_i$  Vitesse instantanée (m.s<sup>-1</sup>)

$D$  Diamètre de la canalisation de refoulement (mm)

$Q_p$  Débit nominal d'une pompe (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>)

L'auto-curage est vérifié pour une vitesse instantanée supérieure ou égale à 0,7 m.s<sup>-1</sup>. Un auto-curage non-respecté favorise la formation du biofilm et donc augmente le risque de formation de H<sub>2</sub>S dans la conduite de refoulement. Lors de la réhabilitation d'un poste il est nécessaire de vérifier la condition d'auto-curage.

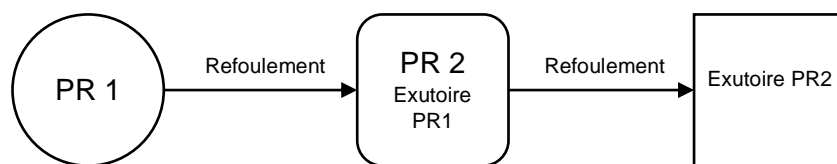
### 3.1.2.2. La chute accompagnée à l'exutoire

La présence d'une chute accompagnée ou d'une installation casse-chute limite la libération du H<sub>2</sub>S à l'exutoire. La chute accompagnée exige une observation des regards avals pour le constat de dégradation. La chute accompagnée peut être une solution envisageable anti-H<sub>2</sub>S.

### 3.1.2.3. Poste de refoulement en cascade

Une chaîne de poste en cascade (cf. Figure 26) limite la réoxygénation de l'effluent et donc favorise la formation du H<sub>2</sub>S tout au long de la chaîne. L'exutoire de la chaîne de refoulement sera sujet à un risque important de libération du H<sub>2</sub>S. Afin de limiter le nombre d'installations de traitement anti-H<sub>2</sub>S on privilégiera, lorsque l'environnement le permet, la mise en place de

chute accompagnée tout au long de la chaîne pour limiter l'émanation du H<sub>2</sub>S couplée à la mise en place d'un traitement curatif à l'exutoire du dernier poste de la chaîne.



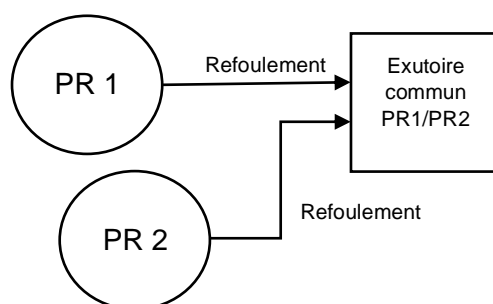
**Figure 26 : Schéma de postes de refoulement en cascade**

### 3.1.2.4. Habitations à proximité de l'exutoire

La présence d'habitations à proximité de l'exutoire induit un risque de nuisance olfactive. Cette donnée est importante à prendre en compte surtout dans la réhabilitation ou la pose d'un nouveau poste. Ce paramètre engage les options de traitements sur le poste et ou à l'exutoire ainsi que la possibilité de ventilation de l'ouvrage. A noter que pour un traitement d'odeur par épuration de l'air vicié il est nécessaire d'avoir une emprise au sol suffisante. Ce traitement est envisageable sur un exutoire commun. La pose d'un regard ventilé peut être intéressante dans le cas d'habitations très éloignées de l'exutoire. Elle permettra l'aération du regard ainsi que du réseau aval pour chasser le H<sub>2</sub>S du ciel gazeux.

### 3.1.2.5. Exutoire commun à d'autres postes de refoulement

Un poste de refoulement peut partager son exutoire avec d'autres postes (cf. Figure 27), dans ce cas il faut prendre en compte les autres postes ayant ce même exutoire pour établir le risque H<sub>2</sub>S. Si tous les postes ont un faible risque H<sub>2</sub>S, on ne préconise aucun traitement. Si un seul des postes présente un risque H<sub>2</sub>S avéré on privilégiera un traitement amont, c'est-à-dire préventif, sur ce poste. Toutefois, si l'évaluation du risque met en évidence des odeurs fréquemment constatées ou bien des dégradations au niveau de l'exutoire, on ne pourra identifier précisément la canalisation responsable de la production d'H<sub>2</sub>S. Ainsi si plusieurs postes sont sujet au risque H<sub>2</sub>S uniquement dû au temps de séjour on privilégiera un traitement aval, c'est-à-dire curatif, au niveau de l'exutoire. On peut toutefois être limité par l'implantation de l'exutoire (regard placé sur la voirie), ne permettant pas l'installation de l'unité de traitement.



**Figure 27 : Schémas de configuration d'un exutoire commun**

### 3.1.2.6. Sensibilité de l'exutoire

La sensibilité de l'exutoire correspond à sa nature. Elle peut être de trois type : STEU, Poste de refoulement, regard simple.

Les STEU sont les ouvrages les plus sensibles du système d'assainissement. L'émission de H<sub>2</sub>S se fait majoritairement au niveau des prétraitements. Les risques liés aux H<sub>2</sub>S sont plus importants au niveau des STEU en raison de la spécificité de l'ouvrage.

- ⇒ Processus de traitement : La dégradation des prétraitements peut nuire à leur bon fonctionnement. La présence de sulfures dissous dans l'effluent peut affaiblir la décantation et favoriser le développement de micro-organismes filamenteux.
- ⇒ Génie Civil et ouvrages : La réhabilitation du génie civil ainsi que des infrastructures de traitements lors d'une dégradation par le H<sub>2</sub>S sont très coûteuses.
- ⇒ Sécurité des agents : La fréquence de maintenance et de surveillance des installations étant plus importante que sur le poste de refoulement du réseau, les agents sont davantage exposés aux dangers du gaz.

Les postes de refoulement sont des ouvrages sensibles car leur dégradation peut nuire au bon fonctionnement du transfert d'effluent et engendre d'importants coûts de réhabilitation.

On classe la sensibilité selon trois catégories : forte, moyenne, faible ; chacune correspondant à une nature différente de l'exutoire (cf. Tableau 14).

**Tableau 14 : Niveau de sensibilité selon l'ouvrage à l'exutoire**

Nature de l'exutoire	Sensibilité
STEU	1
Poste de refoulement	2
Regard simple	3

La sensibilité de l'exutoire doit alerter le maître d'ouvrage sur l'importance de mettre en place des installations anti-H<sub>2</sub>S à mettre en place. Dans le cas d'une sensibilité forte et d'un risque H<sub>2</sub>S avéré on préconise systématiquement soit un traitement préventif au niveau du poste, soit un regard de stripping à l'aval du poste avec traitement de l'air vicié (souvent présent sur les stations).

### 3.1.2.7. Vulnérabilité de l'ouvrage

La vulnérabilité de l'ouvrage se traduit par le type de matériau constituant l'exutoire. Elle met en évidence le risque de dégradation de l'ouvrage. Ainsi, moins le matériau de l'exutoire est résistant plus sa vulnérabilité est forte (cf. Tableau 15). Dans la majeure partie des postes étudiés on aura un exutoire en béton classique. Les bétons de type XA3 ainsi que les résines seront davantage présents au niveau des STEU. Les mortiers à base d'aluminate de calcium sont la plupart du temps utilisés pour des réhabilitations.

**Tableau 15 : Niveau de vulnérabilité selon le matériau à l'exutoire**

Matériau	Vulnérabilité aux attaques chimiques H <sub>2</sub> S
Béton classique (XA1, XA2) ou amiante ciment	Forte
Béton XA3	Modérée
Béton à base d'aluminate de calcium	Faible
Béton + résine	Faible
PE	Nulle

La vulnérabilité met en évidence la nécessité d'un traitement, en effet pour des regards en PE on peut s'interroger sur la pertinence de la mise en place d'installations anti-H<sub>2</sub>S sachant que le regard sera très faiblement impacté par le H<sub>2</sub>S, tandis que pour les regards en béton la corrosion sera très active et donc la dégradation significative.

### 3.1.3. Interface de l'outil d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S

#### 3.1.3.1. Présentation de l'outil

L'outil utilise l'interface Microsoft Excel. Il se compose d'une feuille « synthèse » qui correspond à l'interface d'accueil de l'utilisateur ainsi que de grilles d'évaluations du risque H<sub>2</sub>S pour chaque poste que l'on souhaite étudier.

#### 3.1.3.2. Grille d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S

La grille d'évaluation H<sub>2</sub>S est une feuille Excel interactive. La grille permet de compléter tous les paramètres établis précédemment pour évaluer le risque H<sub>2</sub>S, définir la priorisation de l'ouvrage et conseiller le maître d'ouvrage.

The interface is split into two main areas: **Paramètres** (Parameters) on the left and **Résultats** (Results) on the right.

**Paramètres** section:

- Données essentielles** (Essential data): Longue urde refoulement (m), Diamètre de refoulement (mm), Débit moyen journalier NBTS (m<sup>3</sup>/j), Débit nominal de pompage (m<sup>3</sup>/h).
- Caractéristiques de l'effluent** (Effluent characteristics): Temps de séjour (h), Supérieur à 3h, Inférieur à 1h, Potentiel oxydoreducteur (mV), Inférieur à 0, Autocurage, Vitesse instantanée (m/s), Vitesse instantanée >0,7.
- Caractéristiques de l'exutoire** (Outlet characteristics): Présence d'une chute accompagnée, L'exutoire est-il un PR?, Exutoire commun à plusieurs PR, Présence de dégradations, Odeurs fréquemment constatées par les riverains ou l'exploitant, Présence d'habitations à proximité, STEU à l'exutoire?, Matériau du regard d'entrée.
- Caractéristiques du PR** (Structure characteristics): Prestil un exutoire?, Mesure H<sub>2</sub>S à l'exutoire, Campagne de mesure H<sub>2</sub>S réalisée à l'exutoire, Concentration maximale H<sub>2</sub>S (ppm), Concentration moyenne H<sub>2</sub>S (ppm).

**Résultats** section:

- Risque H<sub>2</sub>S**: Lancer l'évaluation du risque, Sensibilité (Faible, Forte), Vulnérabilité (Faible, Forte), Remarques.
- Recommandations**
- Photo exutoire**
- Remarques et conseils**

Figure 28 : Interface de la feuille d'évaluation du risque de l'outil d'évaluation du risque MOE

La grille est scindée en trois parties (cf. Figure 28) :

- Paramètres de l'étude

Les paramètres sont classés en quatre catégories :

- Données essentielles : Cette catégorie regroupe les données de base dans notre étude (Longueur du refoulement, diamètre du refoulement, débit moyen journalier NBTS, débit nominal de pompage).
- Caractéristiques de l'effluent : Cette catégorie regroupe les données directement liées à l'effluent (Temps de séjour, Potentiel d'oxydoréduction, vitesse moyenne et instantanée).

- Caractéristiques de l'exutoire : Cette catégorie regroupe tous les paramètres en lien avec l'exutoire.
- Caractéristiques du poste de refoulement : Cette catégorie regroupe tous les paramètres en lien avec le poste de refoulement

Cette répartition permet de se repérer efficacement dans la grille d'évaluation. Une répartition en fonction de l'importance des paramètres dans l'évaluation du risque n'est pas pertinente car elle ne force pas à être le plus exhaustif possible.

- Evaluation du risque et priorité du poste

Cette partie sert à afficher le résultat de l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S ainsi que la priorité du poste.

- Remarques

Les remarques servent à guider et conseiller le maître d'ouvrage.

### 3.1.3.3. Feuille synthèse

La feuille synthèse est l'interface principale de cet outil car elle comporte (cf. Figure 29) :

- La gestion des grilles d'évaluation du risque : Permet d'ajouter ou de supprimer une grille d'évaluation d'un poste.
- Les tableaux de synthèse pour chaque poste étudié, comportant les informations de l'étude.
- Les recommandations sur l'utilisation de l'outil.
- Un rappel des paramètres sensibilité et vulnérabilité.

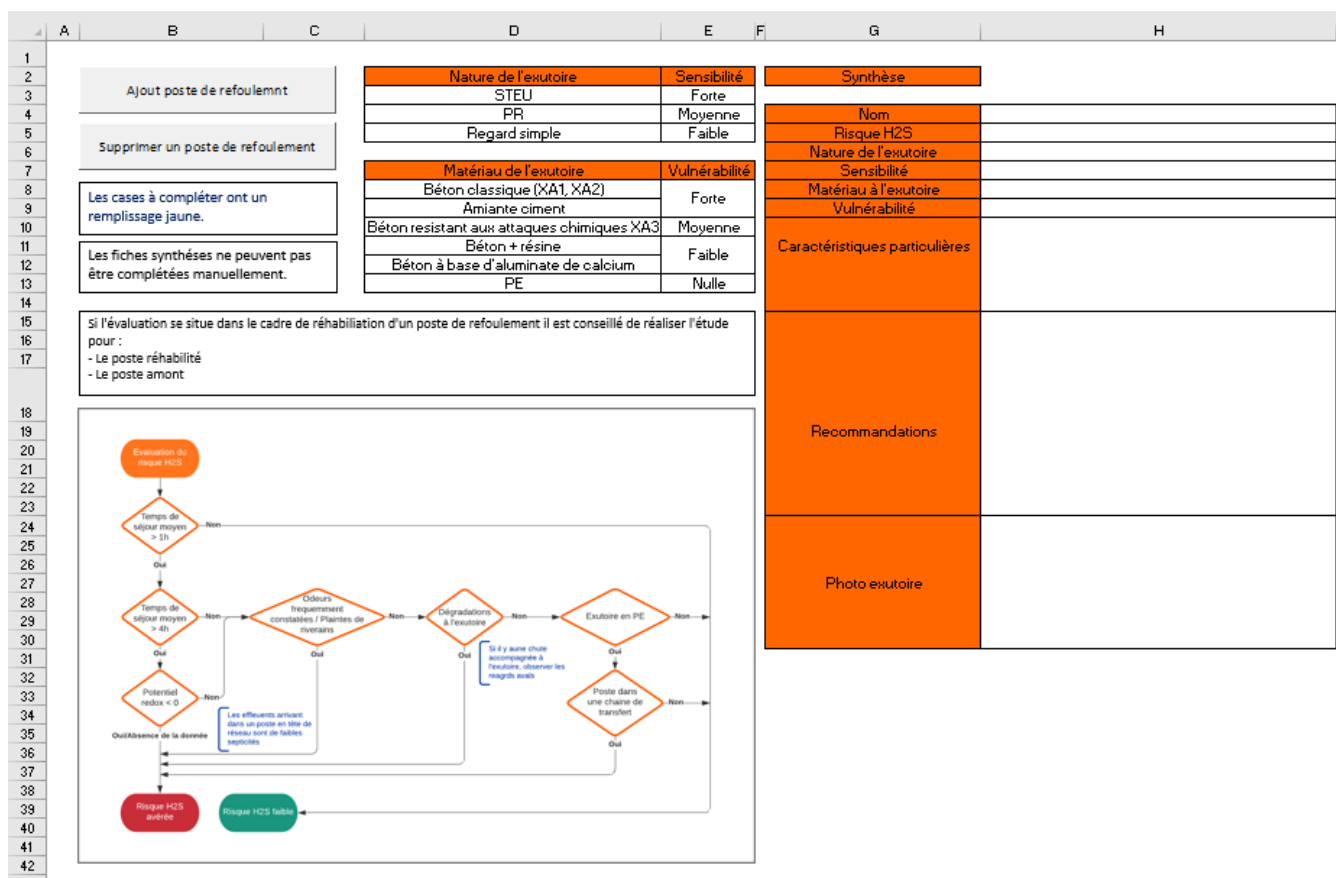


Figure 29 : Interface de la feuille synthèse de l'outil d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S - MOE

## 3.2. Evaluation du risque H<sub>2</sub>S - HUE

### 3.2.1. Evaluation du risque

Le cheminement de l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S est traduit par le logigramme suivant (cf. Figure 30).

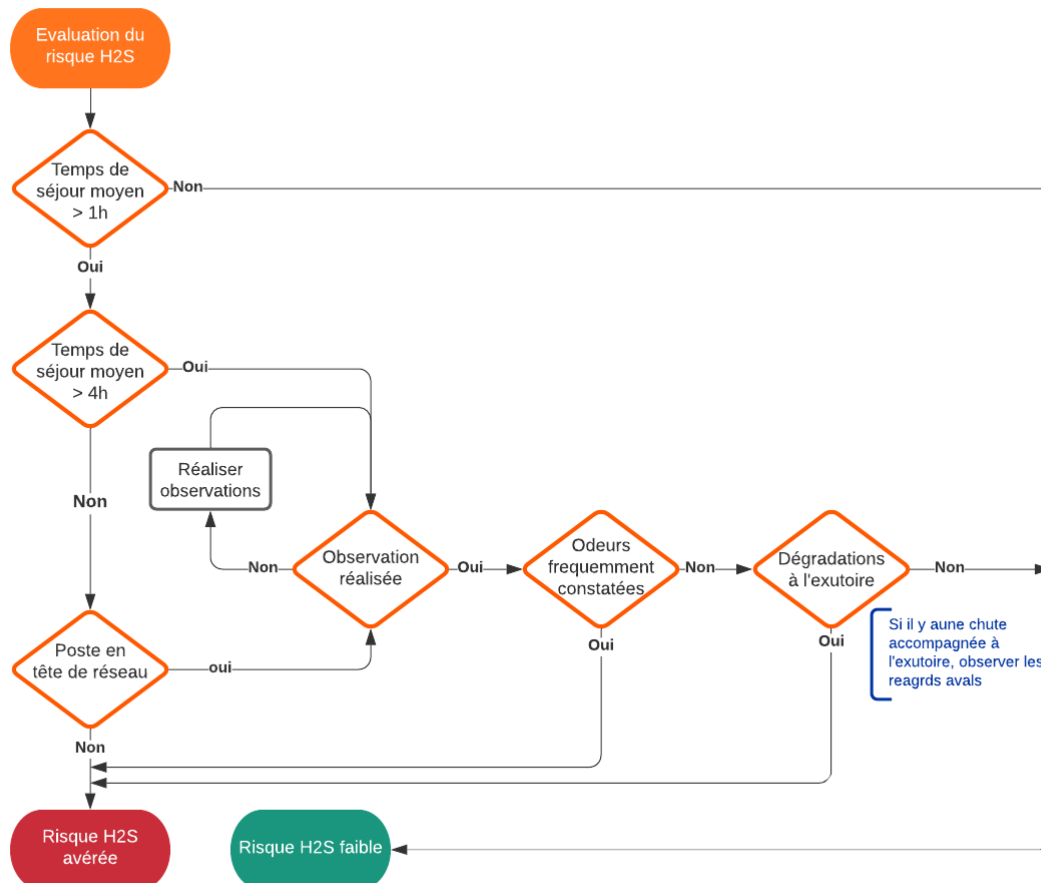


Figure 30 : Logigramme d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S – HUE

Le cheminement de l'évaluation du risque H<sub>2</sub>S est très similaire au cheminement de l'évaluation du risque MOE (paragraphe 3.1.1)

### 3.2.2. Hiérarchisation des postes à risque H<sub>2</sub>S

#### 3.2.2.1. Critères de hiérarchisation

On étudie la totalité du réseau, il est donc primordial d'établir une méthode de hiérarchisation des postes les plus à risque. La faible quantité de données ne nous permet pas de quantifier le risque de formation de H<sub>2</sub>S et donc d'établir un classement du risque H<sub>2</sub>S. Le classement sera donc effectué en fonction de la sensibilité de l'exutoire, de sa vulnérabilité ainsi que de son importance.



La sensibilité de l'exutoire correspond à sa nature. Elle peut être de trois types : STEU, Poste de refoulement, regard simple. La sensibilité se traduit par l'impact que peut engendrer une dégradation sur l'ouvrage à l'exutoire (cf. Tableau 16).

**Tableau 16 : Niveau de sensibilité selon l'ouvrage à l'exutoire**

Nature de l'exutoire	Sensibilité
Regard simple	A
Poste de refoulement	B
STEU	C

La vulnérabilité de l'ouvrage se traduit par le type de matériau constituant l'exutoire. Elle met en évidence le risque de dégradation de l'ouvrage. Ainsi, moins le matériau de l'exutoire est résistant, plus sa vulnérabilité est forte (cf. Tableau 17).

**Tableau 17 : Niveau de sensibilité selon le matériau à l'exutoire**

Matériau	Vulnérabilité
PE	1
Béton résistant aux attaques chimiques	2
Béton classique ou amiante ciment	3

**Tableau 18 : Définition de la classe par croisement de la sensibilité et de la vulnérabilité**

	1	2	3
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3
C	C1	C2	C3

La sensibilité et la vulnérabilité nous donnent la classe du poste. La sensibilité est prioritaire sur la vulnérabilité (cf. Tableau 18). La classe C3 est la plus prioritaire tandis que la classe A1 est la moins prioritaire. La classe C1 est prioritaire sur la classe B3. Sur un réseau d'assainissement la plupart des postes sont classés en classe A3, c'est-à-dire avec un regard simple en béton à l'exutoire. Plusieurs postes peuvent avoir la même classe, il faut donc ajouter un dernier critère de classification, l'importance du poste.

L'importance du poste correspond au volume qu'il refoule par rapport aux autres postes. Plus le poste est important plus le réseau à son aval doit être protégé. On détermine l'importance comme suit :

$$Importance = \frac{Q_{mj\ poste}}{Q_{mj\ entrée\ STEU}} \times 100$$

$Importance$	Importance du poste dans le réseau (%)
$Q_{mj\ poste}$	Débit moyen journalier du poste NBTS
$Q_{mj\ entrée\ STEU}$	Débit moyen journalier en entrée de station NBTS

Ce rapport permet d'avoir une appréciation claire de l'importance du poste. De plus, il facilite le calcul de la hiérarchisation des postes.

### 3.2.2.2. Méthode de hiérarchisation

La méthode de hiérarchisation des postes repose sur le calcul d'une note basée sur nos trois critères et respectant leur priorité.

Pour le calcul on associera simplement des dizaines à différentes classes de sensibilité, soit A=10, B=20, C=30. La vulnérabilité correspondra aux unités allant de 1 à 3. Enfin, l'importance étant un pourcentage, elle correspond aux décimales. Ainsi, la priorité des critères est bien respectée.

On additionne ensuite les notes des trois critères. Enfin il reste juste à trier les notes dans l'ordre croissant.

Par exemple, un poste avec un regard simple en béton à l'exutoire a une classe A3. Son importance est de 5%. Le poste a donc une note de 13,05.

### 3.2.3. Outil d'évaluation du risque

L'outil utilise l'interface Microsoft Excel. Il se compose d'une feuille « Evaluation risque H<sub>2</sub>S » qui correspond à l'interface d'utilisation. Une feuille masquée nommée « Feuille de travail » sert uniquement à l'évaluation du risque et ne doit pas être modifiée.

L'interface se présente sous forme d'un tableau à compléter, ce format est optimal pour traiter un grand nombre de postes.

La première partie du tableau (cf. Figure 31) comporte :

Les valeurs à compléter :

- Nom du PR.
- Longueur du refoulement.
- Diamètre du refoulement.
- Débit moyen journalier NBTS.
- Débit d'une pompe.

Les valeurs calculées à partir des valeurs complétées : Temps de séjour, vitesse instantanée.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Nom du PR	Longueur refoulement (m)	Diamètre refoulement (mm)	Débit moyen journalier NBTS (m <sup>3</sup> /j)	Débit d'une pompe (m <sup>3</sup> /h)	temps de séjour (h)		vitesse instantanée (m/s)		Observation de l'exutoire
1										
2	AMBROISE PARE	86	90	60	10,0	0,22	≤ 1	0,44	< 0,7	pas nécessaire
3	ZI DES TOUCHES	171	160	520	50,0	0,16	≤ 1	0,69	< 0,7	pas nécessaire
4	BASE NAUTIQUE	644	200	379	45,0	1,28	> 1 et ≤ 4	0,40	< 0,7	réalisée
5	MERCERIES 1	15	110	10	9,1	0,34	≤ 1	0,27	< 0,7	pas nécessaire
6	RIBAUDIERES	272	90	26	8,0	1,60	> 1 et ≤ 4	0,35	< 0,7	réalisée
7	BEUCHERIE	656	110	11	21,6	13,60	> 4	0,63	< 0,7	pas nécessaire
8	COMMUNICATION	552	90	42	22,0	2,01	> 1 et ≤ 4	0,96	≥ 0,7	réalisée
9	SAINT MARTIN	48	63	2	5,0	1,80	> 1 et ≤ 4	0,45	< 0,7	réalisée
10	SAINT PIERRE	89	63	9	16,2	0,74	≤ 1	1,44	≥ 0,7	pas nécessaire
11	GAMBETTA	147	200	30	43,0	3,69	> 1 et ≤ 4	0,38	< 0,7	réalisée
12	GRENOUX	325	90	97	8,0	0,51	≤ 1	0,35	< 0,7	pas nécessaire
13	GUICHERON	827	90	48	21,6	2,63	> 1 et ≤ 4	0,94	≥ 0,7	réalisée
14	POTERIE	135	110	11		2,80	> 1 et ≤ 4			réalisée
15	L'AULNAY	497	90	16	21,6	4,74	> 4	0,94	≥ 0,7	pas nécessaire
16	LES BOZEES	460	90	79	21,0	0,89	≤ 1	0,92	≥ 0,7	pas nécessaire
17	PONT AU CHAT	710	125,0	21,4	21,6	9,77	> 4	0,49		pas nécessaire
18										
19										
20										

Figure 31 : Première partie du tableau d'évaluation du risque - Etude

La deuxième partie du tableau (cf. Figure 32) est dédiée aux observations et aux caractéristiques du poste et de l'exutoire. La majeure partie des données est à choisir sous forme d'une liste déroulante. L'observation de l'exutoire est indiquée automatiquement en fonction des paramètres entrés :

- Temps de séjour : > 4h et Poste de refoulement en tête de réseau : non → Pas nécessaire.
- Temps de séjour : > 4h et Poste de refoulement en tête de réseau : oui → à mener.
- Temps de séjour : < 1h → Pas nécessaire.
- Temps de séjour : > 4h et < 1h → à mener.

Si l'utilisateur informe la dégradation à l'exutoire, l'observation indique : réalisée

	A	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	Nom du PR	Observation de l'exutoire	Dégradation à l'exutoire	Odeurs fréquemment constatées à l'exutoire	Type d'exutoire	Exutoire commun à d'autre PR	Spécifier le nom de l'exutoire	Matériau à l'exutoire	Traitement H2S déjà installé	Poste de refoulement en tête de réseau
1										
2	AMBROISE PARE	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
3	ZI DES TOUCHES	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
4	BASE NAUTIQUE	réalisée	oui	oui	Regard simple	oui		Béton	non	non
5	MERCERIES 1	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
6	RIBAUDIERES	réalisée	oui	oui	Regard simple	non		Béton	non	non
7	BEUCHERIE	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
8	COMMUNICATION	réalisée	non	non	Regard simple	non		Béton	non	non
9	SAINT MARTIN	réalisée	non		Regard simple	non		Béton	non	non
10	SAINT PIERRE	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
11	GAMBETTA	réalisée	non	oui	Regard simple	non		Béton	non	non
12	GRENOUX	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
13	GUICHERON	réalisée	non		Regard simple	non		Béton	non	non
14	POTERIE	réalisée	oui	oui	Regard simple	non		Béton	non	non
15	L'AULNAY	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
16	LES BOZEES	pas nécessaire			Regard simple	non		PE	non	non
17	PONT AU CHAT	pas nécessaire			Regard simple	non		Béton	non	non
18										
19										
20										

Figure 32 : Deuxième partie du tableau d'évaluation du risque - Etude

Pour compléter l'analyse l'utilisateur peut également informer si l'exutoire est en commun et s'il y a un traitement déjà mis en place.

La suite du tableau (cf. Figure 33) constitue l'évaluation du risque. L'évaluation du risque suit la logique du logigramme établi précédemment. Le type d'exutoire, le matériau ainsi que le débit d'entrée de la station doivent être complétés pour obtenir les critères nécessaires à la hiérarchisation.

	A	S	T	U	V	W	X	Y
	Nom du PR	Risque H2S	Classe		Débit poste/Débit entrée sation	Remarques		Débit entrée de sation (m3/j)
1								
2	AMBROISE PARE	risque H2S faible	0	0	0,3%	autocurage non respecté		18000
3	ZI DES TOUCHES	risque H2S faible	0	0	2,9%	autocurage non respecté		
4	BASE NAUTIQUE	risque H2S avéré	A	3	2,1%	autocurage non respecté		
5	MERCERIES 1	risque H2S faible	0	0	0,1%	autocurage non respecté		
6	RIBAUDIERES	risque H2S avéré	A	3	0,1%	autocurage non respecté		
7	BEUCHERIE	risque H2S avéré	A	3	0,1%	autocurage non respecté		
8	COMMUNICATION	risque H2S faible	0	0	0,2%	autocurage respecté		
9	SAINT MARTIN	risque H2S faible	0	0	0,0%	autocurage non respecté		
10	SAINT PIERRE	risque H2S faible	0	0	0,1%	autocurage respecté		
11	GAMBETTA	risque H2S avéré	A	3	0,2%	autocurage non respecté		
12	GRENOUX	risque H2S faible	0	0	0,5%	autocurage non respecté		
13	GUICHERON	risque H2S faible	0	0	0,3%	autocurage respecté		
14	POTERIE	risque H2S avéré	A	3	0,1%			
15	L'AULNAY	risque H2S avéré	A	3	0,1%	autocurage respecté		
16	LES BOZEES	risque H2S faible	0	0	0,4%	autocurage respecté		
17	PONT AU CHAT	risque H2S avéré	A	3	0,1%			
18								
19								
20								

Figure 33 : Troisième partie du tableau d'évaluation du risque - Etude

Enfin dans la dernière partie du tableau (cf. Figure 34) on a le bouton de commande pour classer les postes ainsi que le tableau de classification des postes. Un graphique secteur permet d'avoir un retour sur le nombre de postes avec ou sans risque, ainsi que le nombre de postes à observer.

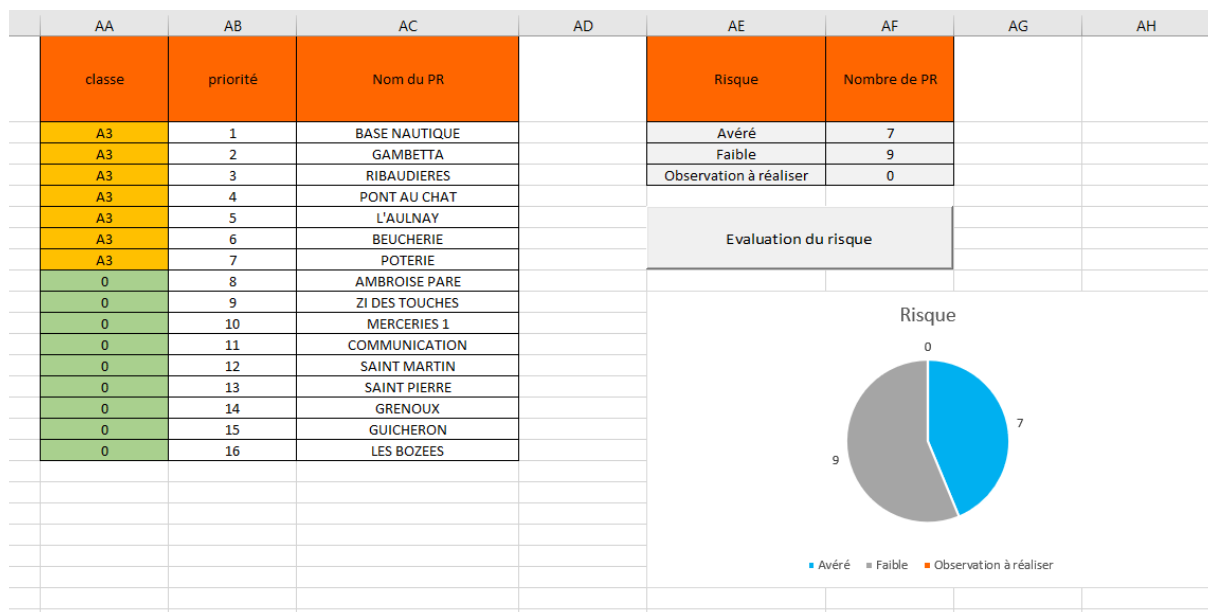


Figure 34 : Quatrième partie du tableau d'évaluation du risque - Etude

### 3.2.4. Test de l'outils et de la méthode d'évaluation du risque

Tableau 19 : Résultat de l'évaluation du risque des postes de refoulement de Laval

Evaluation du risque			Rapport ATHEO SOLUTION	
Classe	Priorité	Nom du PR	Concentration maximale H <sub>2</sub> S	Nuisances
A3	1	BASE NAUTIQUE	79	Corrosion, odeurs
A3	2	GAMBETTA	110	Odeurs
A3	3	RIBAUDIERES	8	Corrosion, odeurs
A3	4	PONT AU CHAT	142	Absence de donnée
A3	5	L'AULNAY	2	Légère, corrosion
A3	6	BEUCHERIE	354	Corrosion, odeurs
A3	7	POTERIE	109	Corrosion, odeurs
0	8	AMBROISE PARE	0	
0	9	ZI DES TOUCHES	43	
0	10	MERCERIES 1	1	
0	11	COMMUNICATION	13	
0	12	SAINT MARTIN	12	Légères corrosion
0	13	SAINT PIERRE	15	
0	14	GRENOUX	5	
0	15	GUICHERON	2	
0	16	LES BOZEES	19	Corrosion, odeurs

L'objectif est désormais d'analyser l'évaluation du risque mis au point pour savoir si elle est cohérente avec les résultats observés réellement. On applique l'outil sur l'agglomération de Laval étudiée au paragraphe 1.7.1.

La simulation de l'outil du risque H<sub>2</sub>S HUE sur les postes de Laval est cohérente avec les mesures de concentration de H<sub>2</sub>S relevées par ATHEO SOLUTION en 2014 (cf. Tableau 19).

On remarque quelques postes qui permettent de mettre en évidence l'outil d'évaluation du risque.

- PR L'AULNAY

Malgré un temps de séjour de 4h de légères corrosions observées à l'exutoire, la concentration en H<sub>2</sub>S à l'exutoire est faible (2 ppm). Cette faible mesure est due à la chute accompagnée présente à l'exutoire. Il y a donc tout de même un risque mais à l'aval de l'exutoire. De plus l'outil préconise l'inspection des regards aval à l'exutoire, non réalisée en 2014, qui aurait peut-être permis la constatation de corrosion et ainsi confirmation du risque H<sub>2</sub>S.

- PR LES BOZEES

Le temps de séjour calculé est de 0,89h. Les débits moyens journaliers n'ont pas été calculés sur une période de nappe basse temps sec, ainsi les temps de séjour calculés ne sont pas les plus dégradants vis-à-vis du risque H<sub>2</sub>S. Dans cette évaluation du risque les valeurs de temps de séjour proches des valeurs de classification du risque (1h et 4h) peuvent donc être contestées.

- PR ZI LES TOUCHES

Ce poste est le cas qui interroge le plus l'évaluation du risque. Des dégradations ont été constatées dans le poste témoignant de la présence d'H<sub>2</sub>S dans la bache du poste. En effet, une concentration maximale de 30 ppm a été mesurée au niveau du poste. Ce constat associé au temps de séjour très court du poste (0,16h), prouve que l'origine de la formation du H<sub>2</sub>S n'est pas liée au poste de refoulement. Le poste collecte des effluents industriels de température élevées (24°C) probablement à l'origine de cette production de H<sub>2</sub>S.

L'évaluation du risque dans son ensemble est pertinente, il est nécessaire de bien prendre en considération tous les paramètres pour mener à bien l'étude. L'utilisation des débits moyen journaliers de nappe sec est primordiale pour l'évaluation du risque. Lorsque l'inspection de l'exutoire est à mener, la présence d'un écoulement accompagné doit alerter sur le fait de mener des observations plus complètes à l'aval de l'exutoire. Il faut également être vigilant sur la nature des effluents collectés qui peuvent déjà avoir une forte concentration en sulfure.

### 3.3. Préconisations de traitement en fonction de la configuration du réseau

La mise en place d'un traitement anti-H<sub>2</sub>S dépend à la fois de la configuration du réseau mais aussi de l'environnement autour du poste et de son exutoire.

#### Environnement autour du poste et de son exutoire

La mise en place d'une installation anti-H<sub>2</sub>S nécessite de prévoir une emprise au sol pour l'aménagement d'une cuve de stockage et de prévoir une aire de stationnement pour le réapprovisionnement des cuves par camion. L'absence de tels emplacements contraint forcément la mise en place d'un traitement sur le poste ou sur son regard d'arrivée. C'est le premier critère de choix de traitement.

**Tableau 20 : Préconisation de traitement en fonction de l'environnement au niveau du poste et de son exutoire**

	PR	Exutoire	Traitement
Environnement favorable à la mise en place d'une installation	Oui	Non	Préventif au niveau du poste
	Non	Oui	Curatif à l'exutoire
	Oui	Oui	Dépendant de la configuration du réseau
	Non	Non	Protection du génie civil et mise en place d'une chute accompagnée à l'exutoire

#### Configuration du réseau

Lorsque l'environnement ne contraint pas le choix du traitement, le choix du traitement sera orienté pour un exutoire commun ou non à plusieurs postes. On privilégiera la mise en place d'un traitement curatif si l'exutoire est commun afin de limiter la multiplication des points d'injections sur le réseau.

La création d'une chute accompagnée est recommandée pour lors de la mise en place d'un traitement curatif à l'exutoire afin de limiter la libération du H<sub>2</sub>S dans l'air.



# Conclusion

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  $H_2S$ . Cette analyse a également permis d'analyser la méthode d'évaluation du risque de Fayoux. La méthode de Fayoux paraît de prime abord obsolète car elle classe l'ensemble des postes de l'étude en risque élevé alors que certains postes forment peu de  $H_2S$ . De plus, la répartition de certaines notes n'est pas du tout cohérente. L'interpolation linéaire sur chaque palier de notation de chaque paramètre de la méthode permet d'obtenir une répartition beaucoup plus cohérente des notes et tend à définir une méthode plus pertinente dans son application. Finalement, l'inconvénient majeur de la méthode de Fayoux réside dans le fait que les données nécessaires pour son application ne sont la plupart du temps pas disponibles. L'analyse plus spécifique de l'évolution des temps de séjour a mis en évidence les fluctuations des temps de séjour en fonction des différentes périodes de l'année, dues aux variations de population, à l'infiltration d'eaux claires parasites dans le réseau et des habitudes de consommation. Ces fluctuations doivent alerter sur le choix 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  $H_2S$ . Enfin, cette étude a mis en exergue les limites de la méthode d'évaluation du risque utilisée par le bureau d'études SCE, basée uniquement sur le temps de séjour. La méthode répond à la contrainte de disponibilité des données, et identifie les postes probablement les plus à risque. Toutefois, elle ne permet pas d'identifier correctement le risque pour les postes dont le temps de séjour est inférieur à 4h.

Afin de combler les lacunes de la méthode d'évaluation utilisée par SCE, deux nouvelles méthodes d'évaluation du risque associées à deux outils ont été créées. Le choix de s'orienter vers deux méthodes et donc deux outils réside dans le fait que les attentes et les contraintes du pôle maîtrise d'œuvre et du pôle étude de l'activité infrastructure et aménagement de la



société différent. L'outil pour le pôle maîtrise d'œuvre doit être le plus exhaustif possible afin de conseiller au mieux le maître d'ouvrage tandis que l'outil pour le pôle étude doit être plus efficace pour traiter l'ensemble des postes du réseau et doit permettre de hiérarchiser les postes. Les deux méthodes s'appuient sur une approche théorique, basée sur les temps de séjour, confortée par des observations réelles effectuées lorsque la première approche ne suffit pas à identifier le risque. La méthode établie permet ainsi d'identifier le risque H<sub>2</sub>S mais en aucun cas elle ne peut quantifier la formation de H<sub>2</sub>S qui nécessiterait une plus grande disponibilité des données.

La démarche établie tout au long de l'étude a mené à l'atteinte des objectifs du bureau d'étude SCE, à savoir une connaissance plus approfondie du sulfure d'hydrogène et une nouvelle méthode d'évaluation du risque H<sub>2</sub>S plus aboutie et pouvant être formalisée et généralisée à l'ensemble des agences.

# Bibliographie

- AGNÈS, LANNUZEL, 2009. Risques sanitaires potentiels liés aux postes d'entretien des réseaux d'assainissement. . 2009. P. 104.
- CARRERA, Lucie, 2016. Caractérisation du transfert liquide/gaz du sulfure d'hydrogène dans les réseaux d'assainissement. . 2016. P. 194.
- 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.
- INRS, 2014. Fiche Toxicologique n°32.
- FONTENEAU, I., 2008. L'inox, une solution pour réduire les coûts de maintenance. *Techniques Sciences Méthodes*. 2008. No. 6, p. 56-64. DOI 10.1051/tsm/200806056.
- GOUELLO, Julien, JUNG, Daniel, GERFAUD, Flora, PONTHEUX, Arnaud, PAREZ, Vincent et RENNERT, Christophe, 2012. ETUDE DE L'EMISSION DE L'HYDROGENE SULFURE AU SEIN D'UN POSTE DE RELEVEMENT D'UN RESEAU D'ASSAINISSEMENT. . 2012. P. 18.
- GRANDCLERC, Anais, 2017. Compréhension des mécanismes de biodétérioration des matériaux cimentaires dans les réseaux d'assainissement : étude expérimentale et modélisation. . 2017. P. 395.
- GUEGUEN MINERBE, M., NOUR, I. et CHAUSSADENT, T., 2020. Devenir des structures en béton en présence d'H<sub>2</sub>S – Vers une évolution des classes d'exposition. *Techniques Sciences Méthodes*. 20 octobre 2020. No. 10, p. 45-50. DOI 10.36904/tsm/202010045.
- HERISSON, J., GUÉGUEN-MINERBE, M., VAN HULLEBUSCH, É., SAUCIER, F., BOURGIER, V. et CHAUSSADENT, T., 2015. Conditions sévères de biocorrosion en réseau d'assainissement : résistance de différents matériaux cimentaires. *Techniques Sciences Méthodes*. Novembre 2015. No. 11, p. 23-34. DOI 10.1051/tsm/201511023.
- INRS, 2014. *Sulfure d'hydrogène, Fiche toxicologique n°32*. 2014.
- JOSÉ VAZQUEZ, 2016. *Hydrologie et Hydraulique des réseaux d'assainissement*. 2016.
- MAALEJ, Talal, 2010. Caractérisation d'une source de polluant en aéraulique à partir d'inversion de mesures de concentration. . 2010. P. 149.
- SADOWSKI, A. G., 2012. La problématique H<sub>2</sub>S : dispositions préventives et curatives. *Techniques Sciences Méthodes*. 2012. No. 1/2, p. 37-52. DOI 10.1051/tsm/201201037.

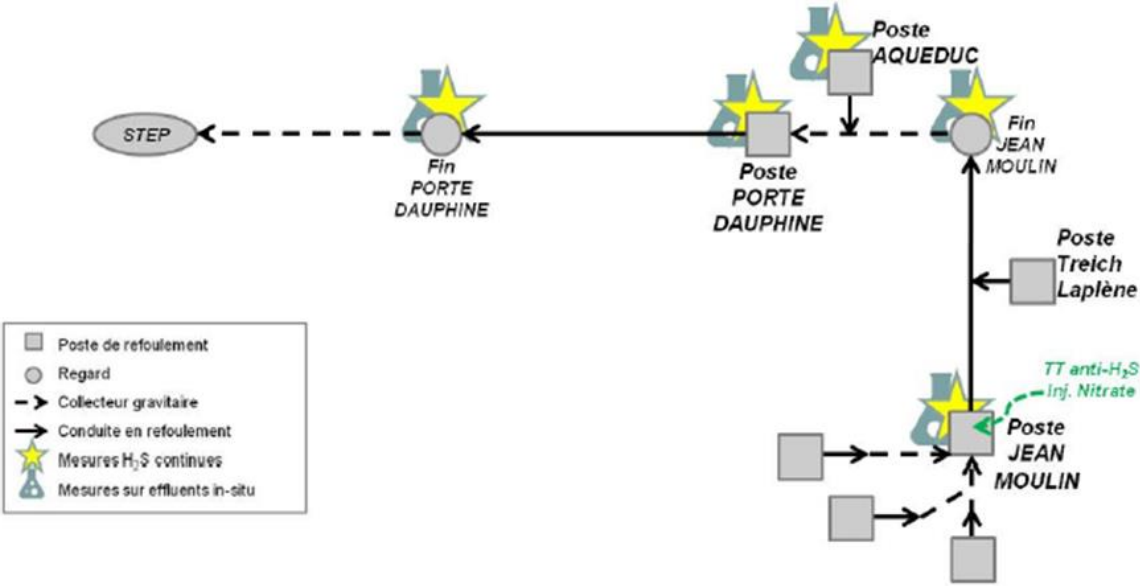


# Annexes

## Annexe 1 : Comparatif des systèmes de pompage

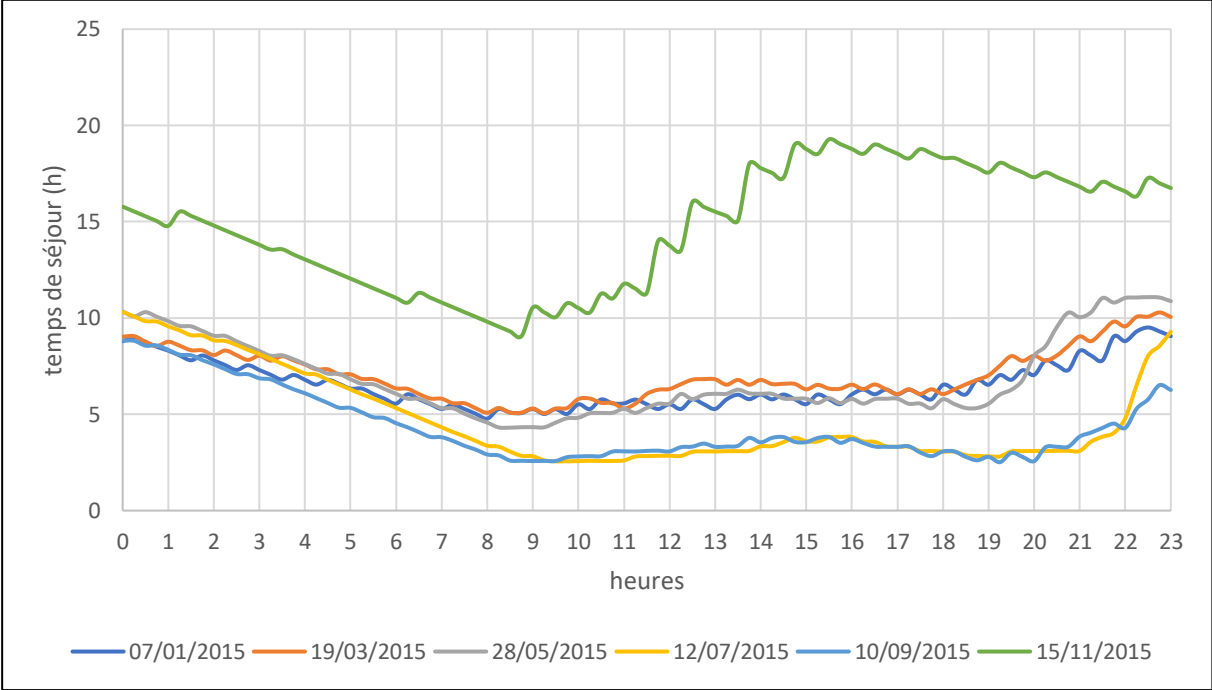
Solutions de pompages	Avantages	Inconvénients
Poste de relevage	<p>Canalisation de refoulement de longueur relativement faible</p> <p>Production faible de H<sub>2</sub>S</p>	<p>Dégradation de la pompe plus rapide car plongée dans un milieu agressif</p> <p>Application plus limitée par rapport à un poste de refoulement, car adaptée à des longueurs courtes de refoulement</p> <p>Entretien plus contraignant</p> <p>Intervention dangereuse liées à la possibilité de présence de H<sub>2</sub>S dans le poste de refoulement</p>
Pompage en ligne	<p>Pompage d'eau et d'air évitant la formation de H<sub>2</sub>S dans la conduite de refoulement</p> <p>Ne nécessite pas de protection anti-bélier</p>	<p>HMT et débits limités</p> <p>Possibilité de création de poche d'air au niveau des points hauts</p> <p>Exploitation complexe</p>
Refoulement pneumatique	<p>Injection d'air dans la conduite de refoulement évitant ainsi la formation de H<sub>2</sub>S</p> <p>Vidange complète de la canalisation de refoulement possible évitant la formation de dépôts et de H<sub>2</sub>S</p> <p>Ne nécessite aucune protection antibélier</p> <p>Maîtrise des temps de séjours</p> <p>Adapté à des profils accidentés</p>	<p>Complexité supérieure de l'installation</p> <p>Génie civil important et investissement important</p> <p>Consommation d'énergie importante : 3 à 4 fois plus qu'un PR classique</p> <p>Nuisance sonore dû à la décompression des gaz</p> <p>Surdimensionnement du diamètre de refoulement</p>

# Annexe 2 : Schéma de la zone d'étude de la campagne de mesure réalisée par ATHEO SOLUTIONS à La Rochelle

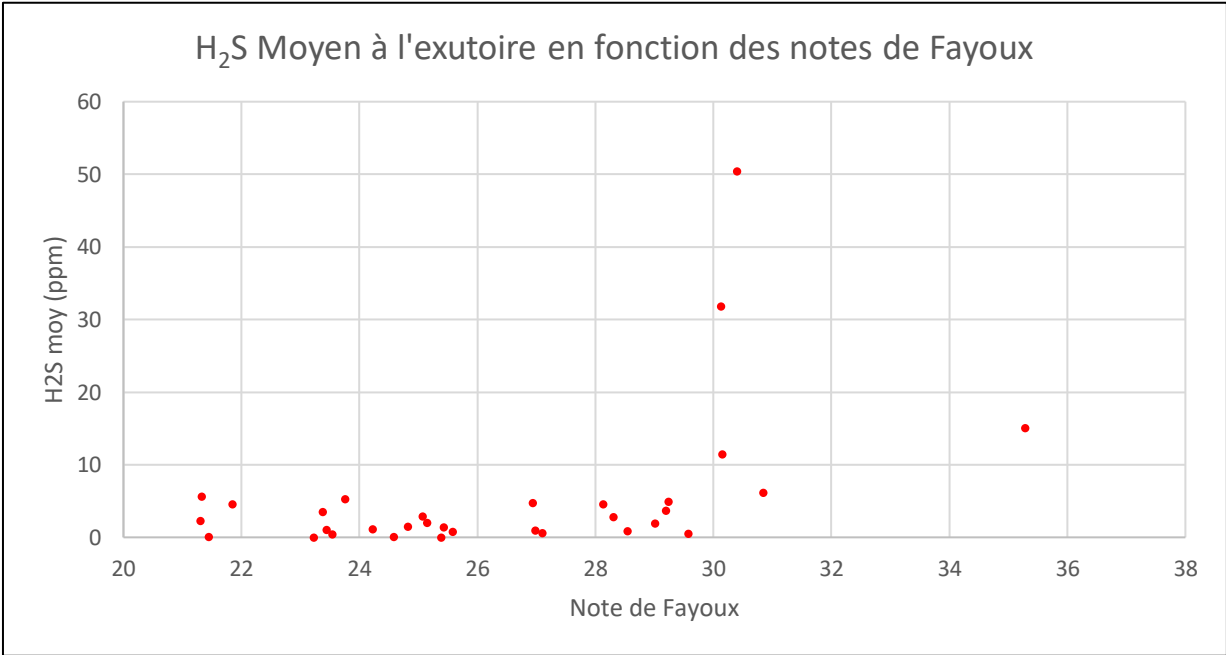
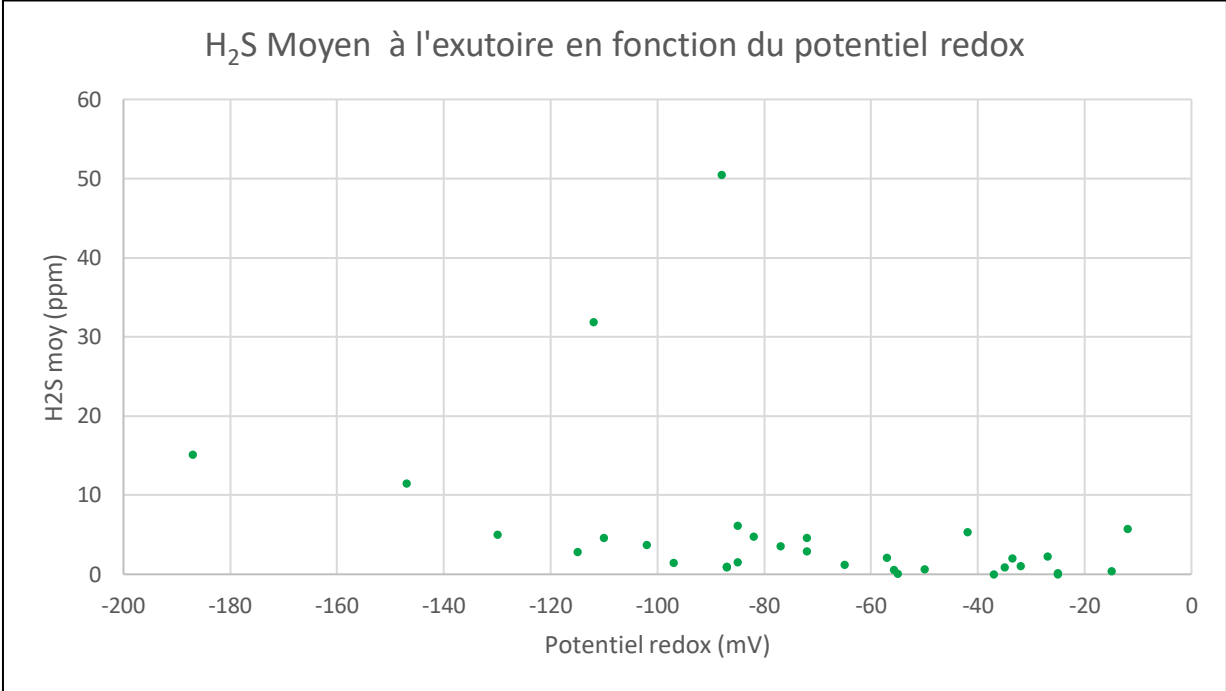


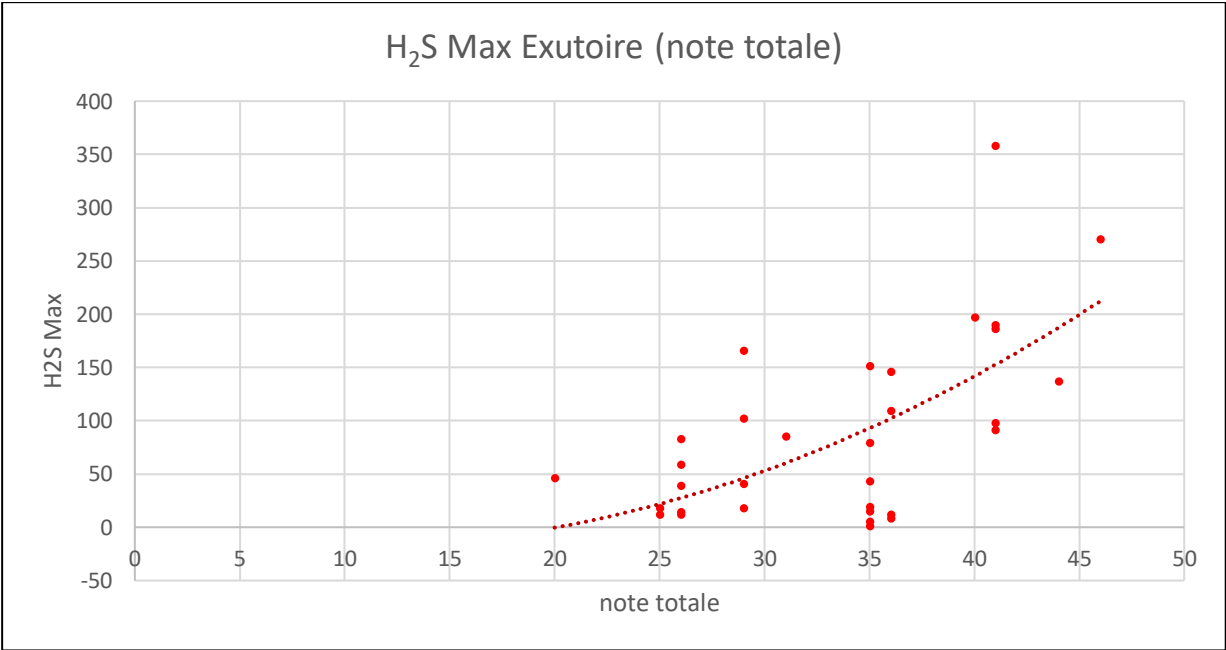
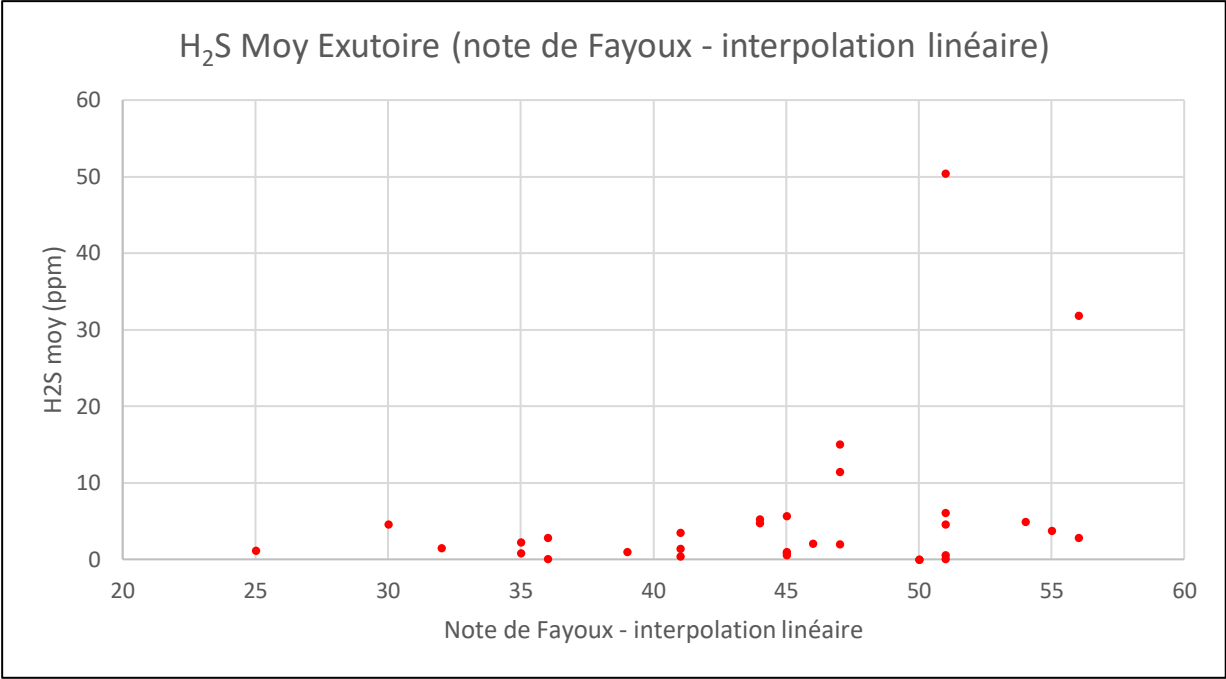
*Principe du réseau d'assainissement et des analyses*

### Annexe 3 : Profils journaliers des temps de séjours à plusieurs périodes de l'année 2015, PR Envague à Bangor



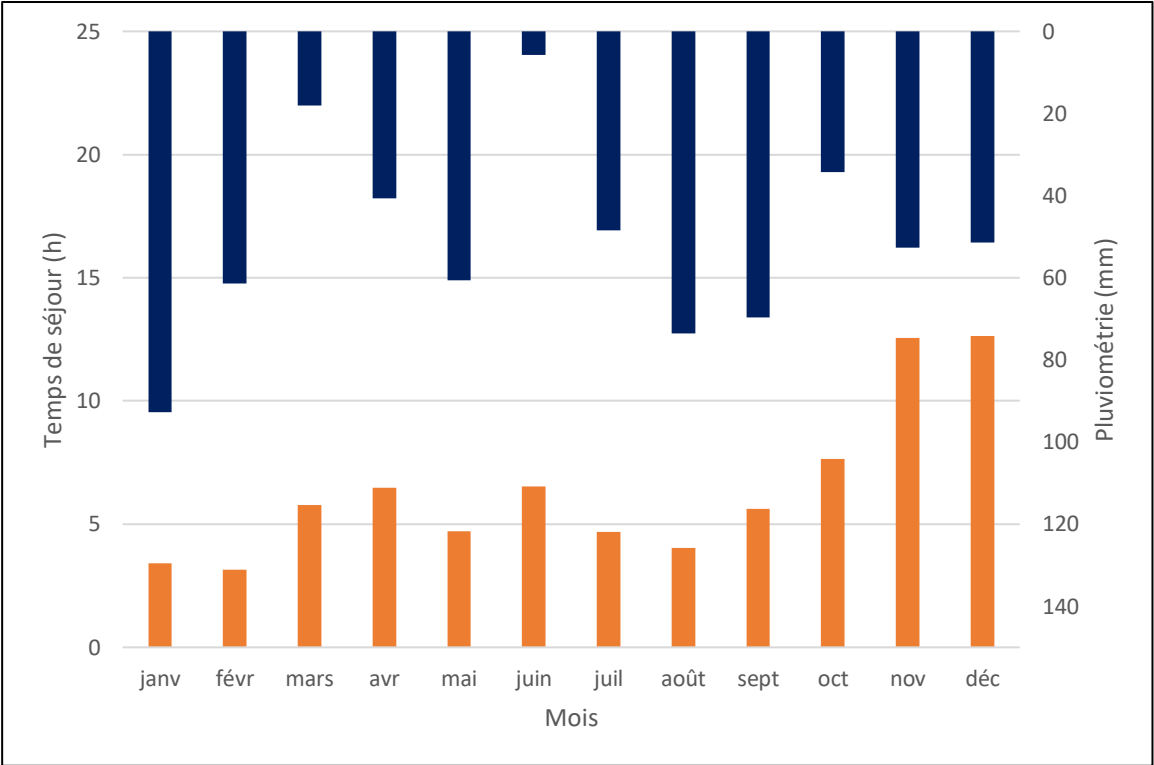
# Annexe 4 : Graphiques des concentrations en H<sub>2</sub>S en fonctions de différents paramètres







### Annexe 5 : Evolution des temps de séjour moyen sur les mois de l'année 2015 sur le PR Envague à Bangor et évolution de la pluviométrie mensuelle sur le territoire de Belle-Ile-en-mer



## Annexe 6 : Programme VBA d'évaluation des temps de séjours à partir du volume

```

Sub temps_de_sejour()
k = 4
pas_de_temps = Cells(1, 11)
V_cana = Cells(1, 2)
While Cells(k, 1) <> ""
    V = Cells(k, 2)
    i = k
    While V < V_cana
        i = i + 1
        V = V + Cells(i, 2)
    Wend
    Cells(k, 3) = (i - k) * pas_de_temps
    k = k + 1
Wend
End Sub

```

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3	Date	Volume pompé (m3)	Temps de séjour (h)		Volume canalisation de refoulement	73.63	m3
4	01/01/2020 00:00	3.64	0.65		Diamètre	500	mm
5	01/01/2020 00:01	3.42	0.65		Longueur	375	m
6	01/01/2020 00:02	3.53	0.65				
7	01/01/2020 00:03	3.42	0.75		Pas de temps	1	min
8	01/01/2020 00:04	3.19	0.73			0.0167	h
9	01/01/2020 00:05	0.00	0.73				
10	01/01/2020 00:06	0.08	0.72				
11	01/01/2020 00:07	0.00	0.70				
12	01/01/2020 00:08	0.15	0.68				
13	01/01/2020 00:09	0.04	0.67				
14	01/01/2020 00:10	4.54	0.65				
15	01/01/2020 00:11	4.43	0.65				
16	01/01/2020 00:12	4.28	0.75				
17	01/01/2020 00:13	3.91	0.77				
18	01/01/2020 00:14	0.15	0.77				
19	01/01/2020 00:15	0.00	0.75				
20	01/01/2020 00:16	0.04	0.73				
21	01/01/2020 00:17	0.15	0.72				
22	01/01/2020 00:18	3.72	0.70				
23	01/01/2020 00:19	3.57	0.80				
24	01/01/2020 00:20	3.53	0.78				
25	01/01/2020 00:21	3.46	0.78				
26	01/01/2020 00:22	3.27	0.78				
27	01/01/2020 00:23	0.00	0.87				

**Annexe 7 : Photos de l'impact de la corrosion liée au H<sub>2</sub>S,  
STEU de Sainte-Marie de Ré**



**Annexe 8 : Photos de l'impact de la corrosion liée au H<sub>2</sub>S, exutoire de postes de refoulement à Laval et Saint-Brieuc**



## Annexe 9 : Ciments préconisés dans la composition des bétons selon les classes d'exposition au H<sub>2</sub>S définies dans le fascicule FD P18-011

Classe d'exposition	Agressivité de l'environnement	Concentration moyenne H <sub>2</sub> S en milieu homogène (en ppm)	Ciments préconisés
XA1	Faible	< 0.1	<p>CEM II/BS, CEM II/B-V , CEM II/B-P,CEM II/B-Q , CEM II/B-M(S-V)</p> <p>CEM III/A conformes aux norme NF EN 197-1 et NF EN 197-4</p> <p>Ciments conformes aux normes NF P 15-317 ou NF P 15319</p> <p>CEM IV/A et B conformes a la norme NF EN 197-1</p> <p>Ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1</p>
XA2	Modérée	≥ 0.1 et ≤ 10	<p>CEM II/B S, CEM II/B-V, CEM II/B-P, CEM II/B-Q , CEM II/B-M(S-V)</p> <p>CEM III/A conformes aux norme NF EN 197-1 et NF EN 197-4</p> <p>Ciments conformes aux normes NF P 15-317 ou NF P 15-319</p> <p>CEM IV/ B conformes à la norme NF EN 197-1</p> <p>Ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1</p> <p>CEM V conformes à la norme NF P 15-319 (ES)</p>
XA3	Forte	> 10 et ≤ 200	<p>CEM III/A,B,C , CEM V/A et B conformes à la norme NF P 15-319</p> <p>Ciments sursulfatés conformes à la norme NF P 15-313</p> <p>Ciments d'aluminates de calcium conformes à la norme NF EN 14647</p> <p>CEM IV /B conformes à la norme NF EN 197-1</p>

## Annexe 10 : Postes de refoulement étudié pour l'analyse des paramètres d'influence de la production du H<sub>2</sub>S

Nom PR	Localisation	Temps de séjour (h)	Vitesse moyenne (m/s)	Vitesse instantanée (m/s)	Température (°C)	Potentiel redox PR	H <sub>2</sub> S Moy (ppm) Exutoire	H <sub>2</sub> S Max (ppm) Exutoire	Note température	Note température linéarisée	Note temps de séjour	Note temps de séjour linéarisée	Note potentiel redox	Note potentielle redox linéarisée	Note vitesse effluent	Note Fayoux	note Fayoux linéarisée
ZI DES TOUCHES	LAVAL	0,2	0,30	0,69	24,2	-35	0,87	43	20	15,04	0	0,00	15	13,5	10	35	28,54
BASE NAUTIQUE	LAVAL	0,7	0,25	0,71	20,1	-12	5,71	79	20	10,12	0	0,00	15	11,2	10	35	21,32
MERCERIES 1	LAVAL	0,3	0,01	0,27	20,6	-25	0,01	1	20	10,72	0	0,00	15	12,5	15	35	23,22
RIBAUDIERES	LAVAL	1,6	0,05	0,35	21,5	-50	0,64	8	20	11,8	1	0,30	15	15	15	36	27,10
BOURG	LA MEAUGON	6,0	0,06	0,30	16,2	-57	2,08	85	10	5,44	6	4,01	15	15,7	15	31	25,15
PLERNEUF	TREMUSON	9,8	0,05		14,3	-102	3,76	197	4	3,72	6	5,27	30	20,2	15	40	29,19
CHAPELLE	PLOUFRAGAN	6,0	0,00	1,03	15,5	-27	2,3	18	10	4,6	4	4,00	15	12,7	6	29	21,30
PONT GRALE	PLERIN	6,6	0,05	0,83	15,6	-112	31,9	270	10	4,72	6	4,21	30	21,2	10	46	30,13
SAINT MARTIN	LAVAL	1,8	0,01	0,45	21,4	-25	0,14	12	20	11,68	1	0,40	15	12,5	15	36	24,58
SAINT PIERRE	LAVAL	0,7	0,03	1,44	21,7	-15	0,44	15	20	12,04	0	0,00	15	11,5	6	35	23,54
DOUVENANT	SAINT BRIEUC	0,1	0,63	0,40	18,1	-65	1,2	18	10	7,72	0	0,00	15	16,5	0	25	24,22
GRENOUX	LAVAL	0,5	0,18	0,35	21,4	-37	0,01	5	20	11,68	0	0,00	15	13,7	15	35	25,38
JEAN MOULIN	LA ROCHELLE	1,8	0,23		21	-88	50,5	146	20	11,2	1	0,40	15	18,8	15	36	30,40
POTERIE	LAVAL	2,8	0,01	0,38	21,2	-85	6,17	109	20	11,44	1	0,90	15	18,5	15	36	30,84
LA PERRINE	PORDIC	1,8	0,12		16,1	-97	1,42	59	10	5,32	1	0,41	15	19,7	15	26	25,43
NOUELLES	PLERIN	0,9	0,24	0,71	17,4	-87	0,85	12	10	6,88	0	0,00	15	18,7	10	25	25,58
PIERRRE LOTI	PORDIC	1,3	0,11	1,00	18,1	-72	2,9	83	10	7,72	1	0,15	15	17,2	10	26	25,07
ROSIARES HAUT	PLERIN	1,0	0,21	1,06	16,2	-147	11,5	190	10	5,44	1	0,00	30	24,7	6	41	30,14
SOUS LA TOUR	PLERIN	1,0	0,15	0,74	17,6	-110	4,62	98	10	7,12	1	0,01	30	21	10	41	28,13
TOURNEMINE	PLERIN	1,5	0,03	0,88	16,4	-55	0,09	12	10	5,68	1	0,26	15	15,5	10	26	21,44
VILLE AU BEAU	PLOUFRAGAN	6,0	0,00		16,3	-42	5,31	166	10	5,56	4	4,00	15	14,2	15	29	23,76
VILLE CROHEN	PLERIN	1,6	0,09	1,29	16,7	-85	1,57	14	10	6,04	1	0,28	15	18,5	6	26	24,82
MAURICE NOGUES	SAINT BRIEUC	2,4	0,06		15,8	-77	3,57	39	10	4,96	1	0,72	15	17,7	15	26	23,38
PONT DES ILES	PLOUFRAGAN	3,4	0,00	0,94	15,7	-130	4,99	137	10	4,84	4	1,40	30	23	10	44	29,24
LES BOZEES	LAVAL	0,9	0,14	0,92	20,2	-32	1,05	19	20	10,24	0	0,00	15	13,2	10	35	23,44
LE GOUTY	SAINT BRIEUC	2,5	0,04		16,7	-115	2,87	91	10	6,04	1	0,77	30	21,5	15	41	28,31
RUE D'EN BAS	SAINT JULIEN	2,9	0,12	0,97	14,3	-72	4,62	46	4	3,72	1	0,93	15	17,2	10	20	21,85
VILLE HUET	PLERIN	3,4	0,06	0,70	17,4	-87	1	41	10	6,88	4	1,40	15	18,7	10	29	26,98
PORTE GORIN	SAINT JULIEN	4,7	0,00		16,7	-82	4,8	102	10	6,04	4	2,70	15	18,2	15	29	26,94
SAINT HALORY	PORDIC	2,1	0,03	1,11	16,7	-187	15,1	358	10	6,04	1	0,54	30	28,7	6	41	35,28
BRAIE	NOTRE DAME DE MONTS	0,4	0,29	0,99	23,33	-55,75	0,57	151	20	13,996	0	0,00	15	15,575	10	15	29,57
PLAGE	NOTRE DAME DE MONTS	6,4	0,02	1,32	21,26	-33,53	2,01	186	20	11,512	6	4,14	15	13,353	6	21	29,01

## Annexe 11 : Tableau comparatif des traitements de l'air vicié

Solution de traitement	iriAvantages	Inconvénients	Coût	Domaine d'application	Performance
Traitement par lavage	<p>Possibilité de traiter de gros débits</p> <p>Présente de bons rendements</p> <p>Grande adaptabilité</p> <p>Possibilité de régulation</p> <p>Procédé le plus utilisé</p>	<p>Utilisation de produits dangereux pour l'homme et l'environnement</p> <p>Nécessite des purges de déconcentration</p> <p>Utilisation de produit consommable induisant un coût de fonctionnement</p> <p>Pollution liquide devant être traitée spécifiquement</p>	Coût opératoires important		Bonne performance pour les composés soufrés
Traitement par voie biologique	<p>Le pH du lit bactérien est ajustable dû à un écoulement d'eau permanent</p> <p>Facilité d'utilisation</p> <p>Acceptabilité des variations de flux</p> <p>Traitement des composés organiques volatiles</p> <p>Pas d'utilisation de produits dangereux</p> <p>Coût peu élevé</p>	<p>Surveillance du biofiltre afin d'éviter la formation de chemins préférentiel du gaz dans le filtre</p> <p>Pas de traitement des molécules non biodégradables</p> <p>Pas de régulation possible</p> <p>Possibilité d'encombrement des filtres</p> <p>Forte concentration des polluants odorants</p> <p>Occupation du sol importante</p> <p>Possibilité de dessèchement de la tourbe</p>	Coût d'investissements et de fonctionnement peu élevés	Débit inférieur à 20 000 Nm <sup>3</sup> /h	<p>Filtre à tourbe : Capacité épuratoire de 5 à 30 g/h/m<sup>3</sup> de réacteur pour les composés soufrés. Ce filtre n'est pas adapté pour les autres composés</p> <p>Filtre à ruissellement : Capacité épuratoire de 50 à 400 g/h/m<sup>3</sup> de réacteur pour l'ensemble des composés présent dans l'effluent gaz de station.</p> <p>Le rendement épuratoire du biofiltre est supérieur à 99% pour le H<sub>2</sub>S.</p>

<p>Traitement par absorption</p>	<p>Acceptabilité des variations de flux</p> <p>Facilité d'utilisation et de maintenance</p>	<p>Saturation de l'absorbant progressive qui doit être régénéré ou changer régulièrement</p> <p>Présence d'humidités</p> <p>Auto-ignition pour les fortes concentrations</p>		<p>Ouvrages décentralisés (postes de refoulements, bassins de stockage)</p> <p>Débits inférieurs à 2500 Nm<sup>3</sup>/h pour de faibles concentrations</p> <p>Préconisé en finition de désodorisations biologique</p>	<p>Charbon actif : Rendement épuratoire entre 90% et 99% en fonction de l'humidité pour les composés soufrés. Peu efficace pour les autres composés.</p> <p>Minéral imprégné : Rendement épuratoire supérieur à 99% pour les composés soufrés et azotés.</p>
<p>Traitement par incinération</p>	<p>Efficacité vis-à-vis de la dépollution des gaz très chargés et à haut pouvoir calorifique</p> <p>Rentable uniquement en présence d'un four d'incinération à proximité du site</p> <p>Facilité d'utilisation</p>	<p>Possibilité de dégradation du catalyseur par les composés soufrés</p> <p>Surveillance de l'installation</p> <p>Présence de composés minéraux</p>	<p>Très onéreuse et énergivore</p>	<p>Petits débits inférieurs à 2500 Nm<sup>3</sup>/h et de forte consommation (2 à 5 g/m<sup>3</sup>)</p>	<p>Thermique : Pas d'information sur les performances</p> <p>Catalytique : Rendement épuratoire des composés soufrés de 98%. Rendement supérieur ou égale à 95% pour les autres composés.</p>