

**AGENCE DE L'EAU
ARTOIS PICARDIE
MISSION PICARDIE**

**Université de Picardie
Jules Verne
Diplôme d'Université
Eau & Environnement 1995/96**

H₂S DANS LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT



**POUILLIEUTE Eric
Mai - Juin 1996**

**Stage réalisé sous la direction
de Monsieur MOREAU**

AVANT-PROPOS

La Direction de l'Education Permanente de l'Université de Picardie Jules Verne a créé la formation de 3^e cycle "Eau et Environnement", destinée à apporter une spécialisation dans les problèmes de l'environnement liés à l'eau.

Ce stage d'application d'une durée de 5 semaines, considéré comme une mission d'étude, a été réalisé au sein de l'Agence de l'Eau Artois-Picardie Mission Picardie basée à Amiens.

Ce stage permet d'établir une synthèse sur les problèmes d'H₂S dans les réseaux d'assainissement afin de bien comprendre le phénomène.

L'objectif est d'amorcer une méthodologie de lutte dans le but de l'élaboration d'un suivi par les exploitants.

Cette étude préalable permettra de mettre en pratique le suivi afin de proposer ultérieurement un cahier des charges d'étude " H₂S".

PRESENTATION DE L'AGENCE DE L'EAU

A la suite de la promulgation de la loi sur l'eau du 16 décembre 1964, la gestion de l'eau par bassin hydrographique a entraîné la création de 6 Agences de l'Eau sur le territoire national, afin d'assurer la dépollution et l'équilibre des milieux aquatiques.

Les 6 Agences de l'Eau sont :

- Artois - Picardie
- Seine - Normandie
- Adour - Garonne
- Rhin - Meuse
- Rhône - Méditerranée - Corse

Les Agences de l'Eau sont doublées d'un Comité de Bassin avec lequel elles définissent la politique de l'eau.

• Le Comité de Bassin :

Il regroupe des usagers, des industriels, des élus et des représentants de l'Etat. Véritable "Parlement local de l'Eau", le Comité de Bassin arbitre, en concertation avec les différentes catégories d'usagers, les programmes pluriannuels d'interventions établis par l'Agence de l'Eau.

• Le Conseil d'Administration :

Organe exécutif avec l'Agence de l'Eau, il applique le programme d'interventions. Il oriente la politique générale de l'Agence.

• Le Directeur de l'Agence de l'Eau :

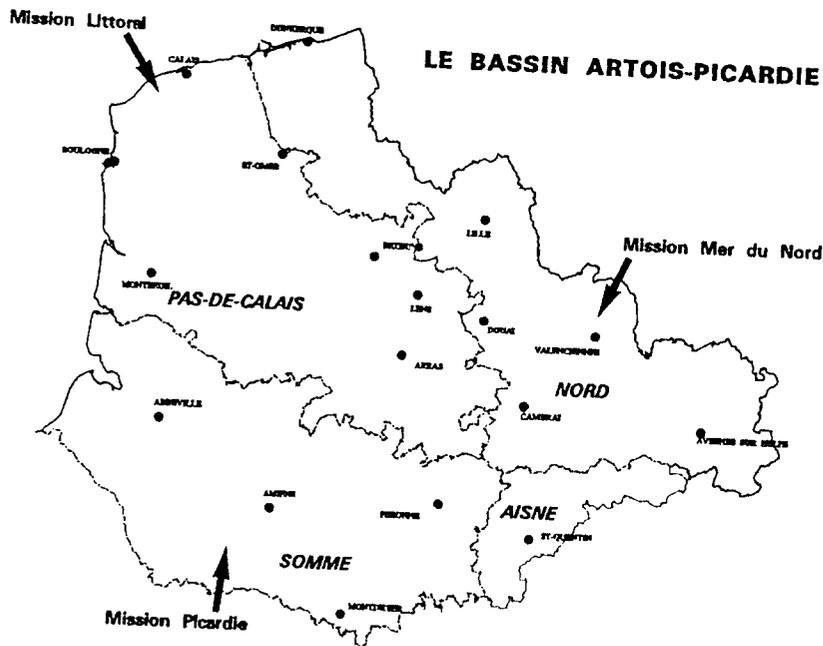
Il est nommé par décret ministériel.

L'adoption de la nouvelle loi sur l'eau du 3 janvier 1992 confirme le rôle déterminant des Agences de l'Eau et de leurs Comités de Bassin.

L'innovation majeure de la loi est le principe de gestion globale de la ressource en eau considérée comme un patrimoine.

• L'Agence de l'eau Artois - Picardie :

C'est un établissement public à caractère administratif et financier, créé en 1967. Sa zone de compétence couvre le Nord, le Pas-de-Calais, la Somme et le nord de l'Aisne.



Superficie : 19 580 km²
Population : 4,7 millions d'habitants
Densité moyenne : 240 habitants / km²
2455 communes
Longueur totale des cours d'eau : 5000 km

Placée sous la double tutelle de Ministère de l'Environnement et de celui de l'Economie et des Finances, l'Agence a pour rôle de financer les ouvrages de lutte contre la pollution et l'amélioration de la ressource en eau grâce à des redevances perçues auprès des collectivités et des industriels.

Les différentes directions sont les suivantes :

- Le Secrétariat Général :

Il a en charge l'administration générale de l'Agence. Il s'occupe de la documentation, de la communication et des ressources humaines.

- La Direction administrative et financière :

Elle assure la gestion et la régulation de l'incitation financière et logistique. Elle gère les flux en recettes et en dépenses.

- La Direction "ressources en eau, agriculture" :

Elle a en charge la stratégie d'alimentation en eau et la protection des ressources, et la mise en place de la politique de l'Agence en matière agricole.

- La Direction "lutte contre la pollution" :

Elle est chargée des études et des interventions de lutte contre la pollution des collectivités locales et des industriels.

Elle établit les rapports préparatoires aux SDAGE et aux SAGE.

INTRODUCTION

La collecte des eaux usées jusqu'à la station d'épuration peut parfois s'étendre sur de très longues distances.

En fonction de la topographie du terrain, il y a nécessité de créer des postes et des sections de refoulement en alternance avec des sections gravitaires.

Avec le passage de l'effluent en milieu anaérobie, sa qualité se dégrade et la septicité du milieu augmente.

Dans ces conditions, il est fréquent d'observer la formation de sulfures et le dégagement d'hydrogène sulfuré, qui est à la source de nuisances graves.

Dans une première partie, nous étudierons le principe de formation des sulfures dans les réseaux d'assainissement, en étudiant les paramètres qui entrent en jeu.

Nous dresserons ensuite un rapide bilan de la présence d' H_2S dans les réseaux d'assainissement sur le territoire de la Mission Picardie.

Puis, nous décrirons les nuisances que génère H_2S , à savoir :

- problèmes liés à la sécurité du personnel (incendies, toxicité)
- problèmes liés à la corrosion
- problèmes liés aux mauvaises odeurs : c'est souvent à la suite de plaintes dues à ces odeurs d'oeuf pourri que les exploitants découvrent la présence d' H_2S .

La troisième partie de ce document sera consacrée aux solutions visant à supprimer ces nuisances, par des méthodes préventives ou curatives.

Enfin, nous terminerons par une méthodologie de lutte, l'élaboration d'un suivi et quelques recommandations aux exploitants des réseaux d'assainissement.

1. PRINCIPE DE FORMATION DES SULFURES DANS LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT :

La formation des sulfures s'effectue surtout par voie biologique. Elle est due aux bactéries sulfatoréductrices (anaérobies strictes, Gram négatif) qui se trouvent soit dans l'effluent, soit dans le "biofilm" formé sur les parois des canalisations et des postes de refoulement.

Les bactéries sulfatoréductrices sont des hôtes traditionnels des eaux d'égout, entre 10^3 et 10^{10} bactéries par 100 ml. Elles sont résistantes aux métaux et aux composés organiques basiques, se multiplient de pH 5 à 9,5 ainsi qu'à des températures comprises entre -5 et $+75$ °C.

Ces bactéries ne se développent que dans des milieux à bas potentiel d'oxydoréduction ($E_h < +100$ mV) et leur développement s'accompagne d'une chute de potentiel jusqu'à $E_h = -50$ à -100 mV (POSTGATE, 1979), les potentiels étant exprimés par rapport à l'électrode à hydrogène.

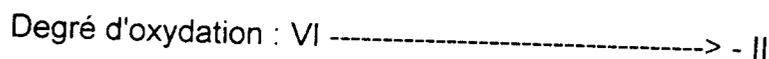
Remarque : Il arrive que les potentiels soient exprimés par rapport à l'électrode Ag/AgCl (E_m). Dans ce cas, à 20 °C : $E_h = E_m + 204$ (mV).

Les bactéries sulfatoréductrices ne se développent qu'en milieu anaérobie, en puisant l'énergie nécessaire dans la matière organique présente, qui sert de source de carbone et de donneur d'électrons. En effet, les bactéries sulfatoréductrices obtiennent leur énergie par l'oxydation d'acides organiques et d'alcools, générés comme produits finaux de plusieurs types de fermentations anaérobies, avec la réduction concomitante des sulfates en sulfures (SMITH, 1992).



Bactéries anaérobies

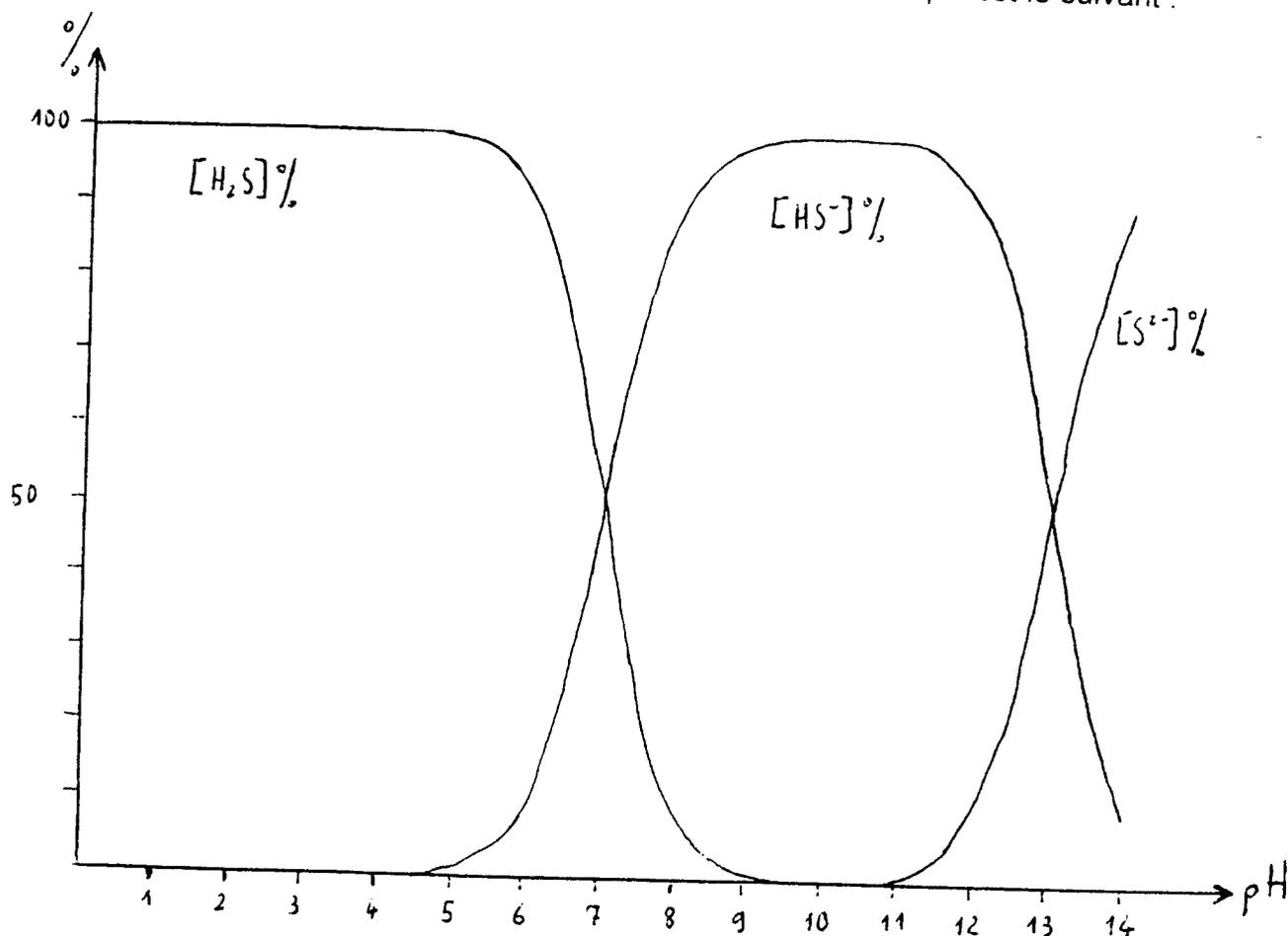
sulfatoréductrices



Seule une petite partie du soufre réduit est assimilée par les bactéries, l'essentiel étant relargué dans l'environnement, sous les formes non dissociées HS^- et S^{2-} selon le pH.

L'ensemble de ces formes, symbolisé par S(-II), ont des constantes de dissociation données par $pK_{a2} = 7$ et $pK_{a1} = 12$ à 15 selon les auteurs, et même $pK_{a1} = 19$ (MYERS).

Le diagramme de répartition¹ de S(-II) en fonction de pH est le suivant :



Au pH de la plupart des eaux usées, S(-II) se répartit entre HS^- et H_2S .

L'acide sulfhydrique (H_2S aqueux) établit un équilibre avec l'atmosphère et l'hydrogène sulfuré (H_2S gazeux).

L'hydrogène sulfuré est responsable des mauvaises odeurs, de la corrosion des tuyaux et s'avère dangereux pour la santé humaine.

Le diagramme de répartition montre que pour éviter le dégazage de H_2S à partir d'un effluent ou d'une boue, il faut augmenter le pH au dessus de 9.

De nombreuses expériences ont déjà été réalisées dans lesquelles les concentrations d' H_2S dans les eaux usées et dans l'atmosphère de la conduite étaient mesurées simultanément.

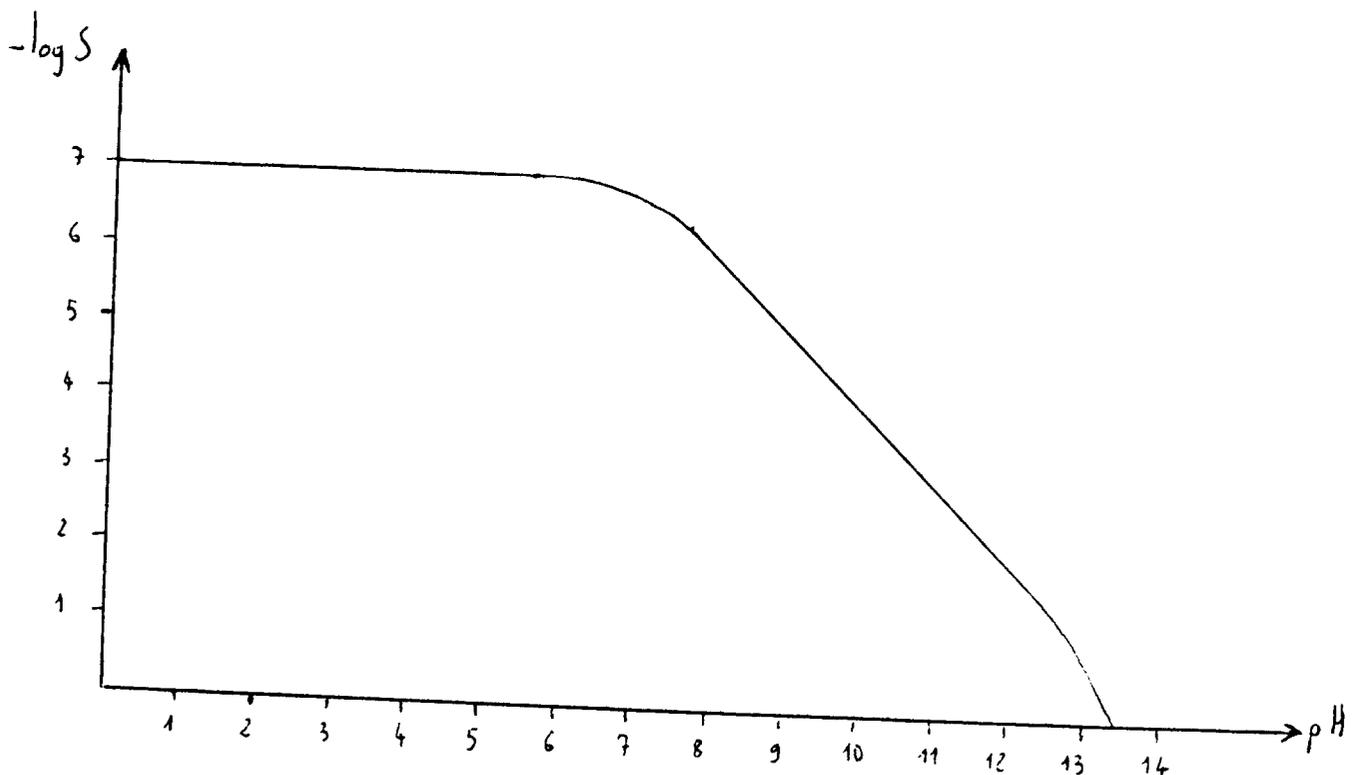
¹ Pour plus d'informations, voir annexe 2.

Comme l'avaient déjà réalisé POMEROY et BOWLUS (1946), il est manifeste que dans tous ces tests, la concentration en H_2S dans l'air évolue rapidement et dans le même sens que la concentration en H_2S dans l'effluent.

Néanmoins, les calculs de la quantité de gaz qui devrait théoriquement être dans l'air s'il était en équilibre avec la phase liquide (loi de HENRY) ont montré que la quantité réellement présente ne correspondait en général qu'à 2 à 20 % de la concentration d'équilibre. Ceci indique un rapide enlèvement de H_2S de l'atmosphère, par oxydation des canalisations.

En fait, seules des conditions très turbulentes sont propices à l'établissement de l'équilibre de la loi de HENRY.

On peut représenter le diagramme de solubilité² de H_2S en fonction du pH :



Cas où $P_{H_2S} = 1$ ppm et coefficient de Henry $K = 0,1$ mole l^{-1} atm $^{-1}$

Lorsque le pH est inférieur à 7, la solubilité totale est rapidement réduite et seule la forme H_2S aqueux demeure en solution. C'est le domaine de validité de la loi de HENRY.

² Pour plus d'informations, voir annexe 3.

De nombreux facteurs influencent la formation d' H_2S . Pour une bonne compréhension de ce phénomène, les différents paramètres sont indissociables, ce qui augmente la difficulté d'analyse. On peut citer les paramètres suivants :

- Temps de séjour :

A partir d'un temps de séjour supérieur à 2 heures dans un refoulement ou une canalisation gravitaire en charge, l'effluent est considéré suffisamment septique pour permettre la formation des sulfures.

- Température :

Comme tout processus biologique, l'augmentation de la température favorise le développement des bactéries sulfatoréductrices. De plus, cela accélère la consommation d'oxygène par les bactéries et diminue la quantité d'oxygène dissous dans l'effluent.

- Vitesse instantanée des effluents dans la conduite :

Pour éviter la sédimentation des particules dans le réseau, on considère qu'une vitesse d'autocurage de $0,5 \text{ ms}^{-1}$ est souhaitée.

Pour remettre en suspension des dépôts formés entre deux pompages, une vitesse instantanée d'au moins $1,2 \text{ ms}^{-1}$ est nécessaire.

- Concentration en M.E.S. :

Les M.E.S. favorisent la croissance bactérienne en servant de support biologique et de source de carbone.

- Potentiel redox :

Il est nécessaire de maintenir un potentiel redox $E_h > +100 \text{ mV}$.

- Concentration en oxygène dissous :

Elle ne devrait pas être inférieure à $0,5 \text{ mg / l}$ afin d'assurer des conditions aérobies (certains auteurs disent 1 mg / l).

- pH :

Les bactéries sulfatoréductrices sont peu sensibles au pH, puisqu'elles survivent entre des valeurs $5 < \text{pH} < 9,5$. Par contre, l'étude du diagramme de répartition des espèces soufrées en fonction du pH montre que H_2S est majoritaire pour $\text{pH} < 7$, ce qui augmente sa présence dans l'air et les conséquences qu'il en résulte.

- Concentration en sulfures :

La concentration en sulfures (en suspension) devrait être inférieure à $0,25 \text{ mg/l}$. Si la teneur en sulfures dans le réseau est supérieure à 5 mg/l , il faut obligatoirement intervenir. Si un traitement est réalisé, il faut impérativement descendre la concentration en sulfures sous 1 mg/l .

- Présence de dépôts et de biofilm :

La présence de dépôts favorise le développement d'un biofilm le long des parois des canalisations et par suite, la présence de bactéries sulfatoréductrices qui transforment les sulfates en sulfures en conditions anaérobies.

En combinant certains de ces paramètres, FAYOUX a proposé le tableau de risques suivant :

température	5°	10°	15°	20°	> 20°
note	0	2	4	10	20
temps de séjour moyen 24 h	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
note	0	1	4	6	15
vitesse moyenne du flux ms^{-1}	1	0,8	0,6	0,4	0,2
note					
vitesse instantanée $< 1 \text{ ms}^{-1}$	0	1	2	6	10
vitesse instantanée $> 1,5 \text{ ms}^{-1}$	0	0	0	2	6
historique de l'effluent en mV	+ 200	+ 100	0	- 100	- 200
note	0	3	15	30	30

Si la somme des points est :

0 à 5 : risque nul

5 à 10 : risque faible

10 à 20 : risque important

20 à 30 : risque certain

Remarque :

Pour le choix des paramètres, il faut prendre :

- le maximum possible pour la température et le temps de séjour (débit nocturne).
- le minimum de vitesse moyenne (débit nocturne).

De nombreux auteurs³ ont étudié les paramètres régissant la production des sulfures, et ont établi des modèles mathématiques de formation des sulfures en retenant comme paramètres la vitesse de circulation du fluide, diamètre et pente de la canalisation, la DBO₅ ou la DCO, la température, la concentration en sulfates et le rayon hydraulique de la conduite.

Pour les conduites de refoulement, on peut citer les travaux de THISTLETHWAYTE (1972), BOON et LISTER (1975), POMEROY (1977).

Pour les conduites gravitaires existent les travaux de PARKHURST et POMEROY (1972), dans lesquels la pente et la profondeur hydraulique sont prises en compte.

Les formulations de ces modèles sont décrits en annexe 4 mais leur application pratique sur différents sites ne donne pas toujours satisfaction.

Dans la pratique, chaque réseau d'assainissement est unique. Seuls les grands principes peuvent être explicités.

³ Pour plus d'informations, voir annexe 4.

2. EVALUATION DE L'ETENDUE DES PROBLEMES SUR LE TERRITOIRE DE LA MISSION PICARDIE DE L'AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE

Afin d'évaluer l'étendue des problèmes liés à H₂S sur le territoire de la Mission Picardie, une enquête a été menée auprès du SATESE de la Somme et des principaux exploitants.

Le recensement des différents sites n'a pas la prétention d'être exhaustif, et pourra être complété régulièrement, en fonction de la prise de conscience du problème, de l'évolution des réseaux d'assainissement et de leur réhabilitation.

Dans la majorité des cas, la détection d'H₂S provient de plaintes dues à l'odeur "d'oeuf pourri".

Grâce à une meilleure connaissance du phénomène et à la méthodologie de lutte développée dans la cinquième partie, de nouveaux sites seront connus et pourront être étudiés afin de remédier à la présence d'H₂S.

Les sites actuellement recensés sont localisés sur la carte ci-après :

- Amiens ; Dreuil-les-Amiens
- Bouvaincourt-sur-Bresle
- L'Etoile
- Méaulte
- Namps-Maisnil
- Noyelles
- Oust-Marest
- Pont-de-Metz
- Querrieu
- S.A.V. de la Clastroise (Annois ; Flavy-le-Martel ; Jussy ; Montescourt-Lizerolles)
- Syndicat de Vermand (Vermand ; Holnon ; Etreillers ; Savy ; Francilly ; Attily)

**SITES PRESENTANT DES PROBLEMES LIES
A LA PRESENCE D'H2S
SUR LE TERRITOIRE DE LA MISSION PICARDIE**

L'Etoile

Bouvaincourt-sur-Bresle
Oust-Marest

Querrieu

Méaulle

Amiens / Dreuil-Hes-Amiens
Pont-de-Metz

Namps-Maisnil

Syndicat de Vermand

S.A.V de la clastroise



3. PROBLEMES GENERES PAR H₂S :

Comme nous l'avons vu précédemment, H₂S est la forme des sulfures qui pose problème puisqu'il s'établit un équilibre avec l'atmosphère, l'hydrogène sulfuré étant responsable de nombreux phénomènes désagréables.

3.1. PROBLEME LIE A LA SECURITE DU PERSONNEL :

3.1.1. RISQUES D'INCENDIE :

L'hydrogène sulfuré est un gaz extrêmement inflammable⁴, qui peut former des mélanges explosifs avec l'air. D'autre part, le contact avec les produits oxydants peut être une source d'incendie et d'explosion.

En cas d'incendie, le dioxyde de carbone et les poudres chimiques peuvent être utilisés comme agent extincteur, mais seulement s'il on est certain de pouvoir stopper l'émission de gaz.

Dans le cas contraire, il est préférable d'éloigner de la flamme tout élément combustible et de laisser brûler.

En raison de la toxicité de l'hydrogène sulfuré et des fumées émises, les intervenants doivent être équipés d'appareils de protection respiratoire isolants autonomes et de combinaisons de protection spéciales.

3.1.2. REGLEMENTATION :

En France, le Ministère du Travail a fixé pour l'hydrogène sulfuré la valeur limite d'exposition (VLE) et la valeur moyenne d'exposition (VME) indicatives qui peuvent être admises dans l'air des locaux de travail. Ces valeurs correspondent respectivement à 10 ppm (14 mg / m³) et 5 ppm (7 mg / m³). En France, l'objectif à terme pour la VME est de 2 ppm.

⁴ Pour plus d'informations, voir annexe 1.

3.1.3. TOXICITE CHEZ L'HOMME :

L'hydrogène sulfuré est absorbé par inhalation. L'absorption cutanée est minime. L'intoxication humaine a lieu essentiellement par voie respiratoire.

L'hydrogène sulfuré ne s'accumule pas dans l'organisme.

Suivant sa concentration, H₂S est plus ou moins toxique. Son danger provient du fait qu'à forte teneur le nerf olfactif est paralysé : la détection par l'odorat n'est donc pas un critère de sécurité.

Les effets de l'hydrogène sulfuré sont résumés dans le tableau suivant :

Concentration en ppm	Effets observés
> 1000	Mort très rapide
> 500	Perte rapide de connaissance Coma parfois convulsif Troubles respiratoires Troubles du rythme cardiaque Danger de mort
> 100	Irritation des muqueuses oculaires et respiratoires Oedème pulmonaire retardé possible Perte de connaissance brève possible
50	Seuil de danger pour une exposition continue
20	Limite de perceptibilité moyenne de l'odeur, sans accoutumance
10	Odeur insupportable
0,1 - 1	Odeur d'oeuf pourri commence Problèmes pulmonaires et digestifs possibles

3.1.4. CONSIGNES DE SECURITE :

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

- **Avant toute descente :**

Contrôler l'atmosphère depuis l'extérieur des ouvrages. Il existe à cet effet des appareils automatiques tri-fonctions : explosimètre, manque d'oxygène, présence d'H₂S. Ne pas oublier de contrôler ces appareils régulièrement.

Assurer une ventilation par ouverture des tampons et des trappes amont et aval.

Si c'est insuffisant, installer un ventilateur fonctionnant sur batterie afin de créer une ventilation forcée.

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

Interdiction de descendre et de circuler seul.

Chaque équipe est dotée :

- d'un appareil respiratoire autonome.
- d'un harnais par homme et d'une longe de sauvetage de 20 mètres.
- d'un détecteur de gaz tri-fonctions (oxygène, risque d'explosion, H₂S).
- de moyens de communication et d'alerte (radio - téléphone).
- d'un ventilateur 12 volts.

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

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

Vérifier l'atmosphère avant de porter secours : un accidenté suffit.

Ne jamais descendre sans être équipé d'un masque.

Sortir au plus tôt la victime à l'air libre.

3.1.5. DISPOSITIFS DE DETECTION DE L'HYDROGENE SULFURE DANS L'AIR :

Pour assurer la sécurité du personnel travaillant dans les réseaux d'assainissement, il existe deux dispositifs de détection de H₂S dans l'air.

- ♦ Le premier type d'appareil est un appareil multifonctions automatique portatif. Il peut associer au danger de présence d'H₂S, un risque d'explosion et un manque d'oxygène par des signaux sonores et lumineux rouges lorsqu'un des seuils d'alarme est atteint.

Les appareils récents permettent de détecter en continu jusqu'à 5 gaz en même temps.

En fonctionnement normal, ces appareils sont portés par l'utilisateur mais ils peuvent être utilisés accrochés à une corde pour tester l'atmosphère d'un égout à l'ouverture d'un tampon.

L'avantage est le fonctionnement en continu qui permet un travail le long d'un réseau visitable sans devoir refaire des mesures périodiques.

Il existe des appareils avec ou sans affichage des valeurs. Les exploitants préfèrent les appareils sans indication des valeurs pour éviter tout risque d'interprétation. Néanmoins, les valeurs peuvent être lues à posteriori sur PC grâce à une boîte noire.

Pour les égoutiers, seule l'alarme visuelle et sonore leur est utile.

Il faut compter environ 15.000 francs pour un appareil intégrant les 3 fonctions (H₂S, O₂, explosimètre).

- ♦ Le deuxième type d'appareil utilise des tubes colorimétriques spécifiques de l'hydrogène sulfuré.

L'utilisateur casse les deux extrémités du tube colorimétrique et le place sur un appareil de prélèvement constitué par une poire d'un volume fixe. En comprimant la poire et en la relâchant, un volume de gaz traverse le tube colorimétrique. La lecture de la concentration en hydrogène sulfuré se fait directement sur l'échelle du tube colorimétrique.

Le principal avantage de ce système est son prix. La poire simple coûte environ 1500 francs et la boîte de 10 tubes colorimétriques 150 francs environ.

Les inconvénients sont le mode de fonctionnement discontinu et le risque d'erreur ou d'interprétation lors de la lecture.

3.2. PROBLEME LIE A LA CORROSION :

3.2.1. EXPLICATION DU PHENOMENE :

L'hydrogène sulfuré corrode le cuivre, des alliages à base de cuivre comme le laiton, certains bronzes, le fer et l'argent pour former des sulfures métalliques noirs. Il peut en résulter un effet catastrophique sur l'équipement électrique aux stations de relèvement.

Les structures comme les échelles en fer et les regards sont détruits, d'autant plus rapidement que l'atmosphère est humide.

Même la fonte de fer et certaines classes d'acier inoxydable sont corrodés ou piqués (BOON).

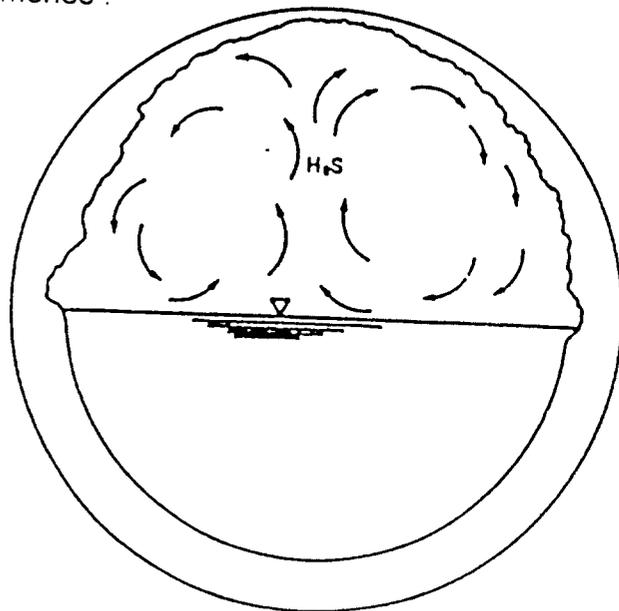
Malgré tout, c'est à travers la corrosion des conduites en béton, des regards en Fibrociment et d'enduits de ciment PORTLAND que la corrosion par H_2S est bien connue et a été étudiée par PARKER (1951), FJERDINGSTAD (1969), THISTLETHWAYTE (1972).

L'hydrogène sulfuré en atmosphère humide et chaude à l'intérieur d'un réseau ou d'un regard va être oxydé en acide sulfurique par des bactéries du genre *Thiobacillus* (Gram négatif), au niveau des parois de la conduite.

L'acide sulfurique dissout l'hydroxyde de calcium et les carbonates de calcium contenus dans le mortier de ciment, entraînant la corrosion et compromettant l'intégrité de la structure du tuyau (SAND, 1987).

La corrosion a lieu exclusivement dans la partie émergée du tuyau, de manière inégale à cause des courants d'air à l'intérieur de la canalisation.

La figure suivante donnée par POMEROY (1974) illustre ces différents phénomènes :



La vitesse de corrosion du béton dépend :

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

3.2.2. CHOIX DES MATERIAUX :

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

Les ciments alumineux anhydres ont une excellente résistance à la corrosion acide. Pont-à-Mousson a développé un revêtement intérieur en ciment alumineux pour ses tuyaux en fonte. Ainsi, la tenue du mortier de ciment alumineux assure une sécurité d'emploi face aux risques de rejets acides accidentels. Les joints sont revêtus d'Epoxy.

Pour les situations à risques élevés et permanents, Pont-à-Mousson a développé le tuyau pH 1 revêtu intérieurement de polyuréthane, dont les raccords sont constitués d'un revêtement époxy renforcé.

L'idéal est donc de protéger le réseau par un matériau inerte à l' H_2S .

Le mortier silicate est également bien adapté à l'action de l'acide sulfurique d'origine microbienne, puisqu'il résiste à des pH entre 1 et 12.

Il est utilisé pour réhabiliter des ouvrages en atmosphère humide contenant des effluents agressifs (collecteurs visitables, bassins de rétention, regards de visite).

Des essais comparatifs (RESEAU Août 1995) réalisés avec des mortiers à base de ciments Portland, de laitiers de hauts-fourneaux et de ciment alumineux ont mis en évidence la nette supériorité du mortier silicate.

On peut également citer :

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

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

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

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

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

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

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

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

3.3. PROBLEME LIE AUX ODEURS :

Au niveau des réseaux d'eaux usées, le dégagement d'odeurs provenant des canalisations ou des bâches de relèvement est dans la majorité des cas, dû à la présence d'H₂S qui se détecte à de très faibles concentrations. Cette odeur "d'oeuf pourri" est perçue dès 0,1 ppm par certaines personnes, mais le seuil de détection de 1 ppm semble être le plus largement répandu.

C'est grâce à ces plaintes de riverains que l'on détecte les dysfonctionnements de réseaux et que l'on peut intervenir pour y remédier, en dehors des visites d'entretien des exploitants.

Le problème des mauvaises odeurs peut être traité préventivement en inhibant la formation de sulfures.

3.3.1. DISPERSION DES GAZ ODORANTS DANS L'ATMOSPHERE :

La dispersion n'est pas réellement un procédé de traitement des odeurs puisque les molécules malodorantes sont diluées dans l'atmosphère en dessous du seuil de perception.

La méthode consiste à créer des cheminées - qu'il convient d'intégrer au mieux dans l'urbanisme de la ville (sommet des immeubles....) - afin que l'air pollué soit dispersé à une altitude respectable où les vents sont plus forts.

Il convient de faire attention aux phénomènes atmosphériques : vents dominants, présence d'immeubles aux alentours, présence d'une colline, inversion de température.

Il peut également être procédé à une amenée d'air frais par des moyens mécaniques, de manière à éliminer les odeurs aux points de rejet. Dans cette méthode, il convient d'éviter d'aspirer à nouveau l'air rejeté par un chauffage de cet air pour créer une différence de température et une ascendance de l'air chaud.

3.3.2. PROCÉDE DE TRAITEMENT DE L'AIR :

Les procédés de traitement de l'air sont nombreux.

3.3.2.1. *Traitement des odeurs par lavages :*

Ce procédé consiste à transférer les composés odorants de la phase gazeuse vers la phase liquide. Il peut s'agir d'un lavage basique (soude NaOH souvent), de chlore et ses dérivés, de l'ozone.

3.3.2.2. *Traitement des odeurs par voie biologique :*

Les substrats nécessairement biodégradables, doivent constituer un mélange nutritionnel équilibré ($DBO_5/N/P=100/5/1$). Une partie est apportée par le gaz à traiter tandis que le complément est ajouté avec l'eau d'arrosage indispensable aux micro-organismes et au bon fonctionnement du procédé.

Une grande variété de micro-organismes peut assurer l'oxydation biologique des odeurs soufrées. Trois grands groupes de bactéries chimioautotrophes du soufre s'avèrent capables de dégrader H_2S et $S_2O_3^{2-}$:

Thiobacillus thioxydans ($0,5 < pH < 6$)

Thiobacillus thioparus ($4 < pH < 7,5$)

Thiobacillus denitrificans ($5 < pH < 8$)

Les technologies mises en oeuvre en épuration biologique des polluants gazeux sont de trois types :

- le biolaveur (phase aqueuse mobile), biomasse libre
- le lit bactérien (phase aqueuse mobile), biomasse immobilisée
- le biofiltre (phase aqueuse statique), biomasse immobilisée

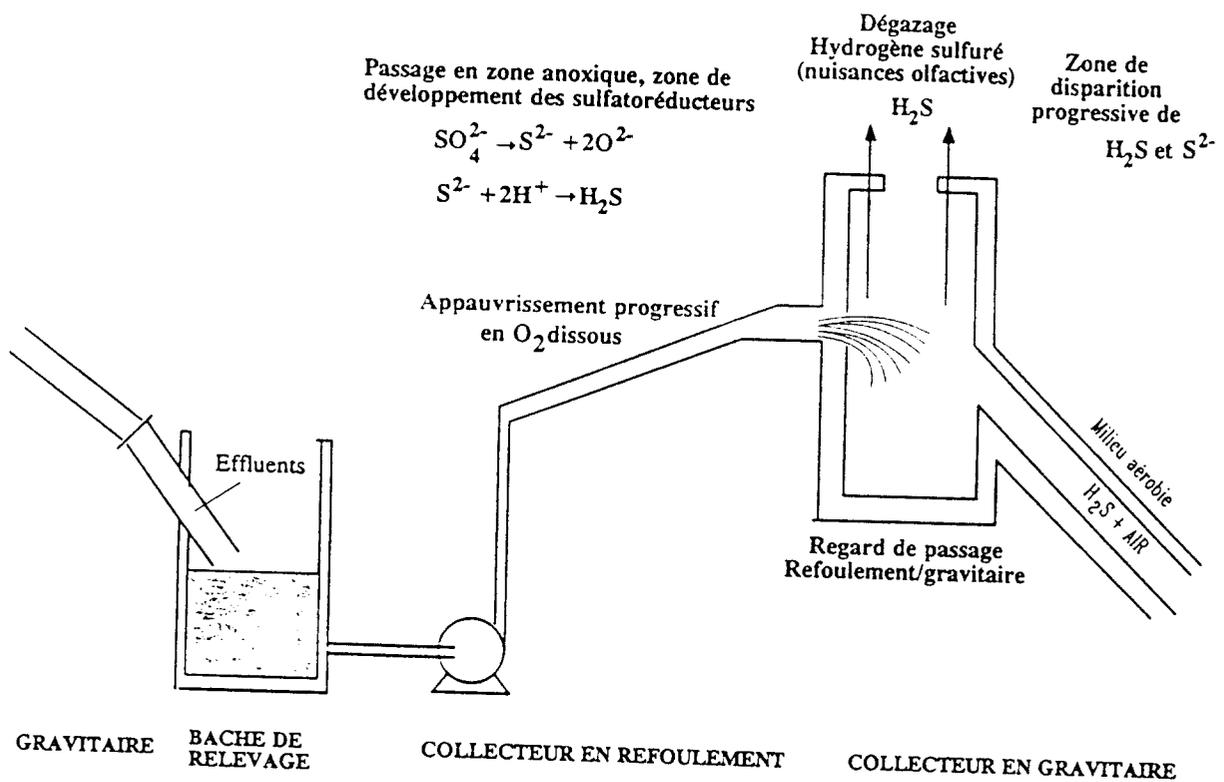
3.3.2.3 *Traitement des odeurs par adsorption :*

L'adsorption de molécules en milieu liquide ou gazeux sur des surfaces solides est un phénomène naturel. Parmi les nombreux matériaux adsorbants naturels ou synthétiques disponibles, le charbon actif est de loin le plus utilisé en désodorisation industrielle.

3.3.2.4 *Utilisation de produits masquants :*

Ce n'est pas un procédé de traitement réel puisqu'il s'agit en fait de superposer une odeur plus forte censée être agréable, par rapport à l'odeur d'H₂S présente.

L'utilisation de cette technique doit être temporaire car à long terme, les riverains peuvent sentir une gêne et l'odeur subjective peut à nouveau être considérée comme une nuisance.



4. COMMENT LUTTER CONTRE LA PRESENCE D'H₂S ?

4.1. SOLUTIONS HYDRAULIQUES :

Dès la conception des réseaux, le risque de formation d'H₂S doit être pris en compte.

A titre préventif, un certain nombre de mesures doivent être prises au niveau de la conception hydraulique du réseau et des postes de pompage.

4.1.1. LIMITATION DU TEMPS DE SEJOUR HYDRAULIQUE

Comme nous l'avons vu précédemment, la production des sulfures se réalise de manière préférentielle dans les sections de refoulement ainsi que dans les bâches de relèvement des eaux, quand les conditions deviennent anaérobies. C'est à ces niveaux qu'il faut donc agir.

Pour faire face à ce problème, on peut raccourcir les temps de séjour dans les conduites de refoulement et dans les postes de pompage :

- Par diminution de la longueur de refoulement, en essayant de limiter la longueur du refoulement. Une solution consiste à mettre deux refoulements séparés par un gravitaire au lieu et place d'un seul refoulement.

En effet, dans le cas de refoulement, il faut éviter de passer en anaérobiose, c'est à dire dimensionner la conduite et le poste de refoulement afin de limiter le temps de séjour des effluents dans le refoulement. En règle générale, au-delà d'un temps de séjour moyen sur 24 heures de 2 à 4 heures, il risque d'y avoir problème.

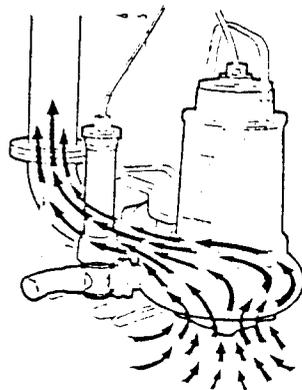
- Par diminution de la section de la canalisation, en optimisant le diamètre de la conduite au flux à traiter. Dans les zones à forte variation saisonnière de population, une solution consiste à doubler le réseau de refoulement : une conduite de faible diamètre est réservée au transport des effluents en période creuse (hiver), tandis qu'une autre conduite de diamètre supérieur est utilisée en parallèle en période estivale.

Dans une telle situation, il faut veiller à ce que le réseau amont ne véhicule pas de grandes quantités d'eaux parasites rendant impossible l'utilisation de la conduite de plus petit diamètre.

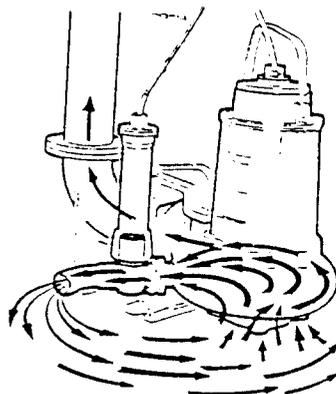
- Par l'augmentation du pompage, en évitant un temps de séjour supérieur à 3 heures afin de réduire la septicité de l'effluent et le passage en conditions anaérobies.

Au poste de pompage, un excellent moyen d'assurer un auto-nettoyage du puisard est d'utiliser des vannes de brassage raccordées sur les volutes des groupes électropompes.

Le fond de la bêche doit avoir les pentes suffisantes pour "canaliser" la décantation aux pieds des pompes. En effet, la conception de la bêche doit permettre un autocurage et le pompage régulier des dépôts.



a)
Vanne de brassage « fermée » :
Pompage intégral. Au cycle suivant, l'ouverture de la vanne de brassage sera programmée.



b)
Vanne de brassage « ouverte » :
Une partie de l'effluent pompé transite par la vanne, qui assure un brassage énergétique en fond de puisard.

- Par diminution du volume de stockage dans la bache, mais également par optimisation d'une forme lui conférant une surface libre maximum pour l'adsorption d'oxygène et une surface minimum de mur ou de sol pour éviter le plus possible le développement d'un biofilm.

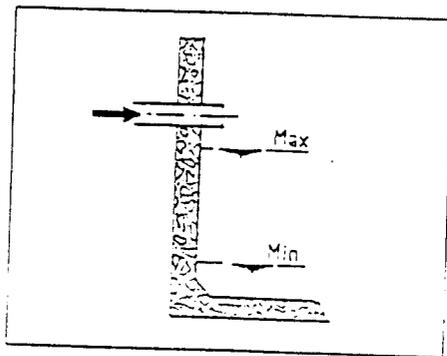
THISTLETHWAYTE a comparé différentes formes possibles de capacité de stockage et a défini un ratio comme étant le rapport entre la surface libre et la surface de mur (ou de sol) ; ce ratio doit être le plus grand possible pour limiter la production des sulfures.

Par exemple, le ratio d'une bache rectangulaire est compris entre 0,24 et 0,47. Par contre, il est de 0,7 à 0,8 pour une bache ayant la forme d'une pyramide.

4.1.2. LIMITATION DES TURBULENCES :

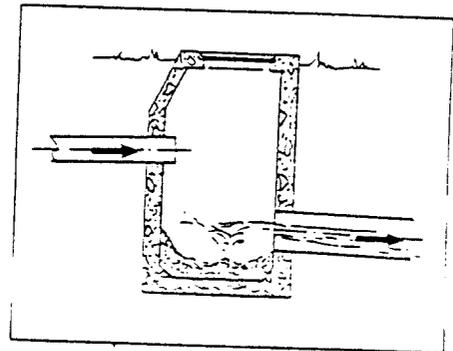
A la station de pompage, les turbulences créées par les décharges gravitaires augmentent le transfert d'oxygène, mais aussi le risque de dégagement d'hydrogène sulfuré.

Selon la septicité des effluents, THISTLETHWAYTE propose deux types de déversement qui diffèrent selon la concentration en sulfures.



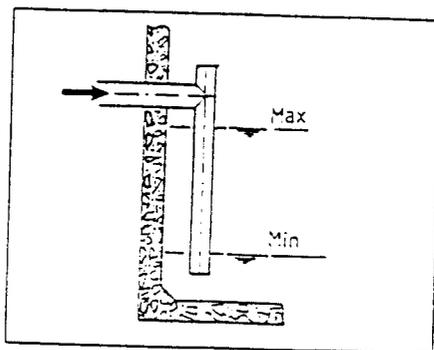
a)

Le type (a) augmente l'absorption d'oxygène. Il doit être réservé en tête de réseau où la septicité des effluents est faible.



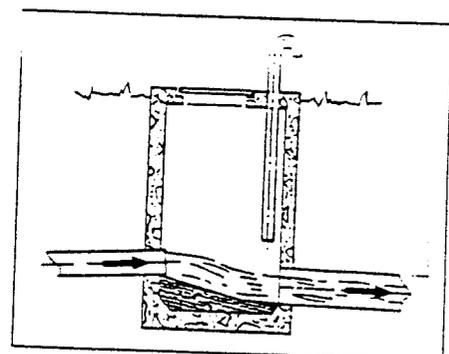
(a) mauvais

La décharge des effluents entraîne des turbulences qui favorisent le dégagement d'hydrogène sulfuré.



b)

Le type (b) limite les turbulences au déversement dans le puisard. C'est la solution à retenir d'une façon générale lorsque l'effluent est fortement septique et lorsque le puisard est surdimensionné.



(b) correct

L'extrémité de la conduite de refoulement est immergée afin d'éviter les turbulences. Une ventilation de l'ouvrage sera bénéfique.

4.1.3. MAINTIEN D'UNE VITESSE SUFFISANTE DANS LES CANALISATIONS :

- La littérature montre qu'en réseau gravitaire, la vitesse des effluents doit être de 0,3 m/s au minimum. Néanmoins, une vitesse de 0,5 à 0,6 m/s est préférable pour éviter la formation d' H_2S .

- Dans les conduites en refoulement, la vitesse instantanée des effluents doit pouvoir remettre immédiatement en suspension les dépôts qui ont pu se former entre deux pompages. Une vitesse instantanée de 1,2 m/s est recommandée sous réserve de sa faisabilité hydraulique (par exemple ne pas descendre en dessous d'un diamètre minimum ou ne pas entraîner des démarrages trop fréquents des pompes).

4.1.4. TRANSFORMATION DES CONDUITES DE REFOULEMENT EN CONDUITES GRAVITAIRES :

Comme nous l'avons déjà cité, la formation des sulfures a essentiellement lieu dans les conduites de refoulement.

Dans le cas où la transformation est possible, selon le profil du terrain et selon le coût de transformation, la conception d'une conduite gravitaire est préférable pour une meilleure aération de l'effluent (en respectant des vitesses suffisantes de circulation de l'effluent).

4.1.5. RESEAUX SOUS VIDE OU SOUS PRESSION :

Dans certains cas, il peut être étudié des solutions alternatives comme les réseaux sous vide ou les réseaux sous pression.

Ces solutions ne suppriment pas le risque de formation d' H_2S , mais peuvent limiter le nombre de points de dégagement.

4.1.6. CURAGE ET ENTRETIEN DU RESEAU :

Le nettoyage régulier des conduites à risques permet de diminuer la formation d' H_2S . De même, la vidange et le nettoyage des bâches de passage ou de pompage sont des solutions afin de limiter la septicité de l'effluent et la production d' H_2S .

4.2. VENTILATION DES RESEAUX :

L'hydrogène sulfuré ne provoque pas de corrosion sur des surfaces en béton sèches car l'oxydation par des bactéries nécessite de l'humidité.

Une ventilation adéquate est donc nécessaire pour réduire l'absorption et l'oxydation de H_2S et pour réduire la concentration d' H_2S dans l'atmosphère du réseau, afin d'éviter une accumulation des concentrations d' H_2S pouvant être mortel.

Une bonne ventilation des réseaux d'assainissement (EU et unitaires) présente l'intérêt essentiel d'agir sur l'évolution même des fermentations et constitue donc un principe de base de la conception des réseaux.

Le renouvellement de l'air peut s'effectuer :

- par les trappes de regards présentant des orifices appropriés
- par les bouches sous la chaussée (pour les réseaux unitaires)
- par des tuyaux d'évent placés le long des façades des immeubles ou utilisant le mobilier urbain existant (mats, lampadaires,...)
- par des grilles ou cheminées de ventilation sur les bâches d'accumulation des stations de pompage.
- par les dispositifs intérieurs des immeubles qui doivent comporter des colonnes de ventilation primaire et secondaire permettant le libre échappement de l'air jusqu'au faitage. Pour que cette ventilation soit efficace, les siphons disconnecteurs de pieds d'immeubles ou les tabourets siphoniques doivent comporter les dispositifs nécessaires au by-passage de l'air au-dessus des occlusions hydrauliques.

Une ventilation forcée ne serait probablement rentable que pour de gros diamètres de conduites, mais pourrait être utilisée aux stations de pompage pour éviter la corrosion des regards.

4.3. SOLUTIONS PAR RELEVEMENT DU POTENTIEL D'OXYDOREDUCTION :

Afin d'éviter l'anaérobiose de l'effluent transporté, une solution préventive consiste à relever le potentiel d'oxydoréduction de l'effluent par injection d'oxygène pur ou beaucoup plus simplement encore, par injection d'air comprimé.

BOON propose l'équation suivante pour calculer les besoins en oxygène afin d'éviter l'anaérobiose dans une conduite de refoulement :

$$W_o = \frac{(r+2800)}{D} \frac{6 \pi D^2 L}{10^9}$$

en prenant pour hypothèses :

pollution de l'effluent : DCO= 700 mg/l
consommation d'oxygène par le biofilm 700 mg/m²/h

avec

W_o : quantité d'oxygène nécessaire par jour (Kg/j)

r : coefficient de respiration de l'effluent à 15°C, en mg/l/h (en moyenne 14 mg/l/h mais peut varier de 2 à 20)

D : Diamètre intérieur de la conduite (mm)

L : longueur de la conduite (m)

On peut tenir compte de l'augmentation de température ($T > 15^\circ\text{C}$) en multipliant par $1,07^{(T-15)}$. La température est exprimée en °C.

Par suite, la quantité d'oxygène nécessaire par jour pour maintenir une concentration en oxygène de 0,5 mg/l peut être exprimée par :

$$W_{to} = W_o - \frac{24 F (C_i - 0,5)}{10^3}$$

avec

F : débit moyen journalier (m³/h)

C_i : concentration moyenne initiale en oxygène dissous (mg/l)

4.3.1. TRAITEMENT DES SULFURES A L'AIR COMPRESSE :

Dans la pratique, et en se basant sur des expérimentations, K.U. RUDOLPH propose, pour les applications courantes, d'injecter 100 l d'air compressé par m³ d'eaux usées contenues dans la conduite de refoulement, par cycle de 2 à 3 h (règle des 10 %).

C'est sur cette base que l'on peut pré-dimensionner les dispositifs d'injection.

Il faut vérifier la vitesse d'aérocuration de l'effluent afin d'évacuer les poches d'air qui pourraient s'accumuler aux points hauts du réseau. Pour un profil en long "régulièrement" ascendant, il n'y a aucun risque à craindre.

La vitesse d'aérocuration peut être évaluée par la formule suivante :

$$V_{air} \approx (0,825 + 0,25 J^{0,5})(g d)^{0,5} \qquad g=9,81 \text{ m/s}^2$$

avec

J : pente de la conduite

d : diamètre intérieur

L'installation du compresseur doit être dans une pièce indépendante du regard pour éviter l'humidité (corrosion de l'appareillage) et les problèmes de maintenance.

Pour éviter les nuisances auditives, il existe des compresseurs prévus en version insonorisée. Il est préférable d'aspirer l'air à l'extérieur du regard.

L'étude menée sur un poste de refoulement du District Urbain d'Angers en 1990 a évalué le coût total de traitement à 0,15 F/m³, ce qui est dans ce cas particulier très inférieur au coût d'autres techniques (la matière première (air) est en effet gratuite).

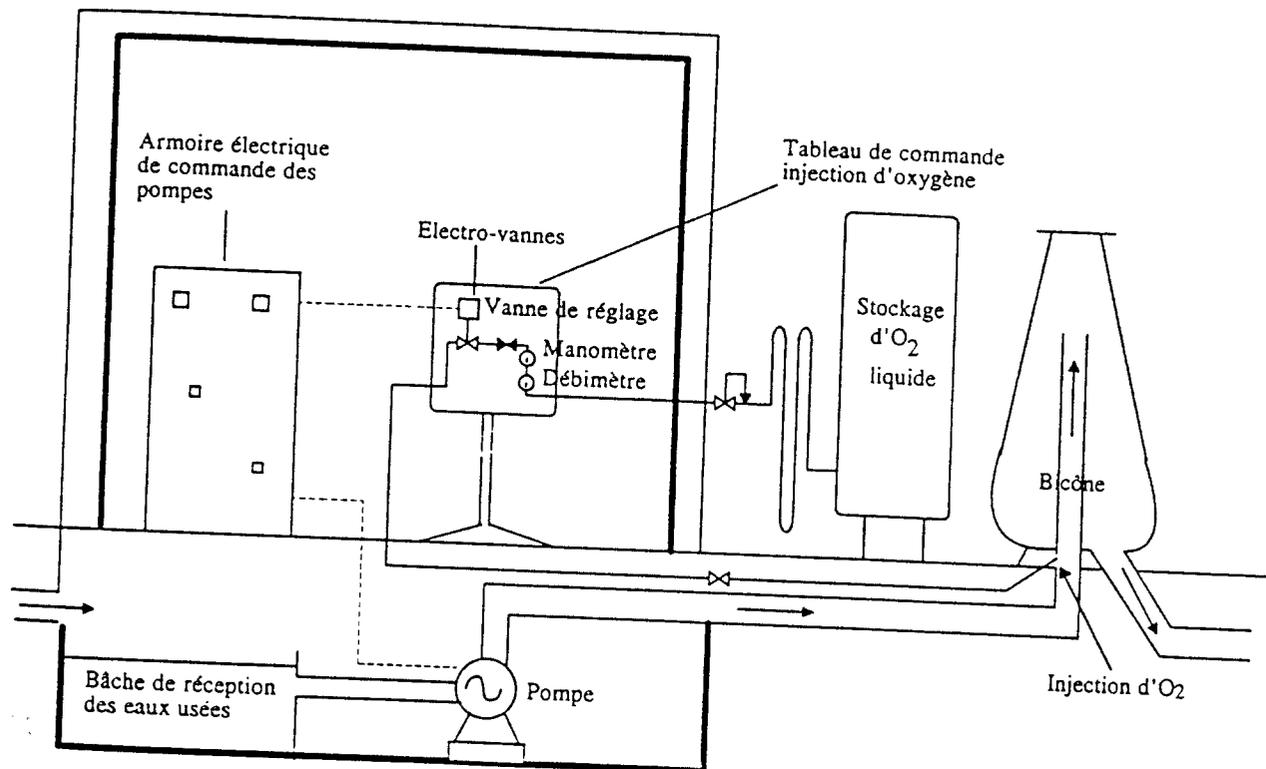
En effet, le gros avantage de ce traitement est la gratuité de la matière première (air atmosphérique), et le peu de main d'oeuvre nécessaire puisqu'il n'y a pas besoin de préparer et de mettre en place cette matière première, contrairement à de nombreuses autres substances.

De plus, au niveau de l'exploitation, il n'y a donc pas de risque de manipulation et de danger pour les personnels d'exploitation.

4.3.2. TRAITEMENT DES SULFURES A L'OXYGENE PUR :

Le traitement des sulfures à l'oxygène pur peut être réalisé de manière préventive ou curative, afin d'éliminer la formation des sulfures dans les sections de refoulement.

Néanmoins, ce traitement nécessite un matériel relativement important :



Comme on peut le constater, le stockage d'oxygène liquide nécessite l'instauration d'une zone de sécurité aux alentours, ainsi que des frais de fonctionnement pour la fourniture en oxygène et la surveillance de l'installation (main d'oeuvre et déplacement).

L'oxygénation par tube en U est la plus économique, mais il existe aussi des dispositifs d'injection en tube en U multiple, sous pression, en bicône.

L'utilisation de l'oxygène est conseillée pour des conduites rectilignes avec pente. Dans le cas de conduites horizontales, il est important de supprimer toute variation de niveau au passage de tout accident.

L'étude menée dans la presqu'île d'Arvert a montré un taux de traitement de 8,5 g d'O₂ par g de sulfure. Le coût d'exploitation s'élève à 0,75 F/m³ d'eau traitée.

4.4. SOLUTIONS PAR TRAITEMENTS CHIMIQUES :

Les traitements chimiques applicables sont nombreux, mais nous ne développerons que les principaux utilisés en France. Ces traitements sont en général appliqués à titre curatif.

4.4.1. TRAITEMENT DES SULFURES AU PEROXYDE D'HYDROGENE H_2O_2 (OU EAU OXYGENEE)

Avec l'eau oxygénée ou peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , les deux modes d'action (préventif et curatif) sont possibles, H_2O_2 étant à la fois une source d'oxygène par décomposition et un oxydant puissant. Ce produit agit également sur le potentiel d'oxydoréduction et aurait pu être classé en 4.3.

Le peroxyde d'hydrogène est un liquide vendu généralement à des concentrations de 35 et 50 % en poids.

Les produits de décomposition étant l'eau et l'oxygène, il n'est donc pas en lui-même source de pollution.

La réaction du peroxyde d'hydrogène sur les sulfures est en principe très rapide. Selon les cas, la réaction est complète après 15 à 30 minutes.

Des expériences effectuées sur le SIVOM de la Baule et de Piriac ont permis de préciser les conditions d'application du peroxyde d'hydrogène :

- en utilisation préventive (lorsque les réseaux ne permettent pas l'accès aux conduites sous pression par exemple), l'injection du peroxyde d'hydrogène s'effectue au poste de relèvement situé au début de la conduite sous pression. L'injection s'effectue dans le collecteur, au niveau du refoulement de la pompe de manière à assurer un bon mélange du réactif avec l'effluent. L'injection n'est pratiquée que lors de la marche de la pompe. L'amélioration de la qualité de l'effluent n'est effective que pour des temps de séjour dans la conduite inférieurs à 2 heures.

- en utilisation curative, l'injection est réalisée en un point proche du regard d'arrivée du refoulement, de manière à respecter un temps de contact d'une trentaine de minutes.

Le contrôle du procédé utilisant le peroxyde d'hydrogène peut se faire par la mesure du potentiel d'oxydoréduction de l'effluent.

La production de S(-II) commence pour un potentiel de consigne de l'ordre de +150 mV par rapport à l'électrode à hydrogène, soit - 50 mV par rapport à l'électrode Ag / AgCl.

Pour un même taux global, plusieurs injections donnent des rendements plus faibles qu'une injection unique : des réactions d'oxydoréduction internes peuvent transformer les sulfites en sulfates et les injections multiples doivent oxyder des formes intermédiaires en plus des sulfures : une injection unique est nécessaire.

- en traitement préventif (injection dans le poste de refoulement à l'aspiration des pompes), le taux de traitement est de 12 moles d'H₂O₂ pur par mole de sulfures, soit un coût d'environ 1 F / m³.

- en traitement curatif (injection dans la conduite de refoulement avant le début du gravitaire), le taux de traitement est de 6 à 7 moles d'H₂O₂ pur par mole de sulfures, soit un coût de 0,55 F / m³.

Avec le peroxyde d'hydrogène, la prévention de la formation des sulfures (traitement au poste de relèvement) consomme davantage de réactif que leur suppression (traitement dans les égouts proprement dits).

L'utilisation du peroxyde d'hydrogène nécessite des précautions de stockage et de manipulation car c'est un oxydant fort qui présente des dangers pour le personnel d'exploitation.

Les frais de fonctionnement incluent la fourniture en peroxyde d'hydrogène et la surveillance de l'installation (main d'oeuvre et déplacement).

4.4.2. TRAITEMENT DES SULFURES PAR PRECIPITATION PAR LES SELS DE FER :

Le traitement des sulfures par les sels de fer est très utilisé en France grâce à son faible coût, mais il présente le gros inconvénient de colorer l'effluent en noir et de rajouter des métaux dans la constitution des boues de station d'épuration, ainsi que d'accroître la production de boues.

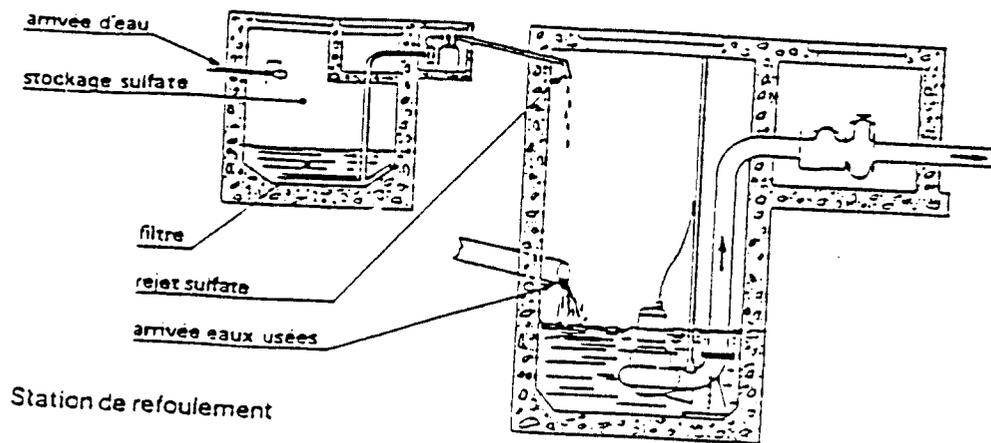
De plus, il peut arriver que les sels de fer flocculent dans le réseau et forment des boues. En effet, le pH de précipitation du fer est très large.

Il n'est pas nécessaire d'ajuster le pH pour que la réaction se fasse :
 $\text{Fe}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{FeS}$ et la précipitation des sulfures se fait directement et rapidement.

Le traitement par le sulfate de fer sur le poste de relèvement d'Orry-la-Ville (Oise) a nécessité 10 mg de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ par mg de sulfure, c'est à dire sensiblement la stoechiométrie.

Les coûts d'exploitation varient de 0,30 F à 0,60 F/m³ (main d'oeuvre comprise) pour des postes de grande et moyenne importance mais peuvent atteindre 1 F/m³ pour ceux de petite capacité.

Le traitement au sulfate ferreux demande une mise en oeuvre nécessitant beaucoup de personnel et une attention particulière à la manutention, avec la nécessité d'un bac de dissolution et d'un bac de stockage.



Des essais ont également été réalisés par le chlorure ferrique sur le réseau d'assainissement de la ville de Sète. La dose de chlorure ferrique appliquée variait de 5,9 à 8,3 mg de solution commerciale à 41 % par mg de sulfure. Les résultats ont été bons (jusqu'à 95 % d'abattement et le coût était estimé entre 8,8 et 12,5 centimes par m³ (à confirmer))

Il existe aussi un mélange sulfate ferrique/nitrate.

Le gros inconvénient est la coloration noire de l'effluent.

5. METHODOLOGIE DE LUTTE CONTRE H₂S ELABORATION D'UN SUIVI DES RESEaux D'ASSAINISSEMENT

La présence d'H₂S dans un réseau est le signe d'un dysfonctionnement de l'écoulement de l'effluent, avec passage en milieu anaérobie.

Afin d'éviter les problèmes générés par sa présence (cf. 3^e partie), cette partie décrit une méthodologie de lutte contre H₂S ainsi que l'élaboration d'un suivi des réseaux d'assainissement.

5.1. DIAGNOSTIC DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT :

En France, les observations du réseau d'assainissement ont montré que le risque majeur de formation des sulfures provenait des postes de relèvement et des conduites de refoulement, à cause du passage de l'effluent en milieu anaérobie.

Il faut donc recenser le nombre de postes de refoulement des effluents et rassembler le maximum de données sur chaque poste de refoulement, afin d'établir un schéma représentatif du réseau.

Un tel schéma permet notamment de se faire une idée de l'existence de plusieurs postes de refoulement en série (c'est à dire postes recevant des effluents issus d'autres refoulements), ce qui accroît considérablement le risque de formation d'H₂S.

Les données à recueillir sur chaque poste sont :

- le linéaire de refoulement
- le diamètre de la conduite de refoulement
- le débit d'effluent
- les vitesses (moyenne et instantanée) de refoulement
- le temps de séjour dans le poste
- le temps de séjour dans les conduites

Certaines données sont calculées à partir des temps de marche des pompes relevés sur les compteurs horaires.

Il est intéressant de suivre l'évolution des débits, des temps de séjour et des vitesses dans les conduites de refoulement sur 24 heures pour noter les différences entre un échantillon diurne et un échantillon nocturne.

De plus, l'évolution de ces valeurs suivant les saisons est à réaliser (été-hiver), ainsi que des campagnes par temps sec et par temps humide.

5.2. ESTIMATION DU RISQUE DE FORMATION D'H₂S :

Dans un premier temps, une approche théorique du risque de formation des sulfures peut être réalisée à l'aide des 4 paramètres suivants (d'après FAYOUX) :

- la température de l'effluent
- le temps de séjour
- la vitesse de l'effluent
- le potentiel redox des eaux usées avant refoulement

température	5°	10°	15°	20°	> 20°
note	0	2	4	10	20
temps de séjour moyen 24 h	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
note	0	1	4	6	15
vitesse moyenne du flux ms ⁻¹	1	0,8	0,6	0,4	0,2
note					
vitesse instantanée < 1 ms ⁻¹	0	1	2	6	10
vitesse instantanée > 1,5 ms ⁻¹	0	0	0	2	6
historique de l'effluent en mV	+ 200	+ 100	0	- 100	- 200
note	0	3	15	30	30

Si la somme des points est :

- 0 à 5 : risque nul
- 5 à 10 : risque faible
- 10 à 20 : risque important
- 20 à 30 : risque certain

On peut donc estimer pour chaque section de refoulement un risque de formation des sulfures mais il faudra garder une certaine réserve quant à cette approche théorique, qui n'est qu'une première approche.

5.3. CAMPAGNE DE MESURES DES SOURCES DE SULFURES :

Le but de la campagne de mesure sur le terrain est de cerner plus finement les sources de sulfures afin de connaître les postes nécessitant la mise en oeuvre de solutions préventives ou curatives.

Pour faciliter l'installation des points de mesure sur le réseau et sur les postes, il est nécessaire de procéder aux nettoyages et curages suivants :

- regard en amont de chaque poste
- regard en aval de chaque poste
- poste (et tuyauteries) de refoulement en lui-même
- vidanges des chambres à vanne
- regard sur réseau où une instrumentation est prévue

On peut établir un profil des sulfures sur 24 heures pour une conduite de refoulement, en mesurant les sulfures en aval et en amont de chaque section de refoulement.

Pour avoir une mesure plus fine des différents paramètres, on peut également mesurer le pH, la température, le potentiel redox, la DBO₅, la DCO, l'O₂ dissous et la concentration en hydrogène sulfuré (H₂S dans l'air).

Toutes ces données recueillies à partir des campagnes de mesures vont aider à l'analyse des principaux facteurs de formation d'H₂S. Il serait intéressant de réaliser une analyse à l'aide d'outils statistiques (notamment l'analyse multifactorielle des données) pour cerner les seuils (combinés ou non) conditionnant la formation de sulfures afin de comparer le résultat avec la grille de FAYOUX.

On pourra par exemple vérifier que la production de S(-II) commence pour un potentiel de l'ordre de + 150 mV(H₂), ou que pour un seuil de 1 ppm en sulfures, le potentiel d'oxydoréduction ne descende pas en dessous de + 100 mV (H₂).

5.4. INSPECTION DES SECTEURS A RISQUES :

Grâce à la campagne de mesures, on peut établir un schéma d'intervention des postes et sections de refoulement sur lesquels la formation d' H_2S est effective.

Afin de juger de l'ampleur de la corrosion, on pourra inspecter les sections de conduites gravitaires à l'aval des postes de refoulement où le dégazage d' H_2S a pu se réaliser. La corrosion sera en effet maximum sur les premiers mètres de ce réseau gravitaire, d'autant plus que les turbulences sont grandes.

Par contre, si les premiers mètres ne présentent pas de traces de corrosion, la poursuite de l'inspection du réseau n'est pas nécessaire et on peut alors passer à l'examen d'une autre section.

La corrosion peut également être présente dans les postes de refoulement si à l'amont de ce poste, il s'est formé des sulfures dans l'effluent (conditions anaérobies ou section de refoulement). Dans ce cas, il faut remonter pour connaître l'origine de cette formation de sulfures.

Il se peut aussi que ces sulfures soient formés dans le poste même (temps de séjour trop long par exemple) et qu'il y ait dégagement d' H_2S par des turbulences lors du pompage.

5.5. PROPOSITIONS DE REMEDES CONTRE H₂S :

Après avoir listé les sites où les problèmes d'H₂S sont effectifs, le choix du traitement va dépendre du problème donné.

Avant tout, l'étude d'une solution hydraulique est nécessaire car dans certains cas, elle suffit à résoudre les problèmes liés à H₂S.

- Limitation du temps de séjour hydraulique
 - > par diminution de la longueur de refoulement
 - > par diminution du diamètre de la canalisation
 - > par augmentation du pompage dans la bêche
 - > par diminution du volume de stockage dans la bêche
- Maintien d'une vitesse suffisante dans les canalisations
- Limitation des turbulences (modification du poste de refoulement en conséquence)
- Transformation des conduites de refoulement en conduites gravitaires

Dans le même temps, l'amélioration de la ventilation des réseaux va permettre de maintenir l'effluent en condition aérobie.

Ensuite, dans le cas où un traitement est nécessaire, un traitement préventif est à privilégier à un traitement curatif.

Pour cela, on peut envisager le traitement des sulfures par différentes techniques et divers réactifs, en comparant l'efficacité du rendement d'élimination des sulfures et le coût global des différents traitements.

Dans le choix d'un procédé de traitement, il ne faut pas oublier d'étudier l'impact du traitement sur l'environnement, c'est à dire au niveau de la station d'épuration et de son rejet.

Il est bon de rappeler que le curage et l'entretien des canalisations de manière régulière ainsi que l'élimination de la septicité par nettoyage des postes de relèvement est également à réaliser.

CONCLUSION

Cette étude a donc permis de faire le point sur la question de l' H_2S et d'en dégager les points suivants :

La présence d' H_2S dans un réseau d'assainissement est le signe d'un dysfonctionnement de l'écoulement de l'effluent.

La production des sulfures est essentiellement due aux bactéries sulfatoréductrices qui se développent quand le milieu est anaérobie, c'est à dire dans des sections de refoulement ou dans des postes de relèvement.

Dans nos régions, la production de sulfures dans les réseaux gravitaires est insignifiante.

Par contre, le dégazage d' H_2S formé en milieu anaérobie se réalise en présence d'oxygène. Ce dégagement d'hydrogène sulfuré, gaz toxique et nauséabond, est transformé par des bactéries aérobies en acide sulfurique qui corrode les réseaux en amiante ciment et en béton, dans les parties situées au-dessus de l'effluent (hors d'eau).

Il faut donc empêcher la formation d' H_2S en agissant de manière préventive.

Pour cela, de nombreuses solutions hydrauliques existent et doivent être prises en compte lors de la conception d'un réseau, afin d'assurer le bon écoulement de l'effluent et de limiter le temps de séjour.

La conception du réseau doit donc être étudiée très attentivement au niveau des postes de relèvement et des sections de refoulement. Il faut veiller à limiter le temps de séjour hydraulique, à maintenir une vitesse suffisante dans les canalisations, à limiter les turbulences hydrauliques et à ventiler les réseaux.

De même, un entretien préventif avec curage régulier des postes et des canalisations diminue largement le risque de présence d' H_2S .

Dans le cas où un traitement est nécessaire, que ce soit de manière préventive pour pallier à un risque ponctuel de présence d'H₂S, ou de manière curative, les récentes expériences réalisées par traitement à l'air comprimé sont encourageantes. En effet, le faible coût du traitement (lié à la gratuité de la matière première : air atmosphérique) et l'absence d'impact sur l'environnement au niveau de la station d'épuration et de son rejet encouragent à développer cette technique.

Les exploitants sont invités à se pencher sur la lutte contre H₂S afin de préserver leur réseau et d'éviter des travaux de réhabilitation plus coûteux.

La méthodologie de lutte contre H₂S dans les réseaux d'assainissement consiste à suivre le réseau de l'amont vers l'aval (vers la station d'épuration), en procédant à chaque poste de refoulement au schéma suivant :

- diagnostic du réseau d'assainissement
- estimation du risque de formation d'H₂S (d'après la grille de FAYOUX)
- campagne de mesures des sources de sulfures
- inspection des secteurs à risques
- choix des sites d'intervention
- intervention de lutte (en préventif ou en curatif)

BIBLIOGRAPHIE

- AGENCES DE L'EAU - Etude inter agences (hors série). - "Dégradation des ouvrages en béton utilisés en assainissement autonome." - 1991.
- A.G.H.T.M. - "Hydrogène sulfuré et réseaux d'assainissement." - Techniques Sciences Méthodes, TSM n° 6 bis. - Juin 1991.
- BENTZEN G., SMITH A.T., BENNETT D., WEBSTER N.J., REINHOLT F., SLETHOLT E., HOBSON J. - "Controlled dosing of nitrate for prevention of H₂S in a sewer network and the effects on the subsequent processes." - Water Sciences Technol. Vol 31. - 1995.
- BOCQUET P., DERVILLE A., SENELIER Y. - "Lutte contre la formation d'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement. Traitement des sulfures à l'air comprimé." - Techniques Sciences Méthodes, TSM. - Janvier 1992.
- BOON A.G. - "Septicity in sewers : causes, consequences and containment." - Water Sciences Technol. Vol 31. - 1995.
- COLIN F., MUNK-KOEFED N. - "Formation de l'H₂S dans les réseaux d'assainissement. Conséquences et remèdes." - Agence de Bassin Rhône Méditerranée Corse (Etude inter-Agences de Bassin réalisée par l'IRH de Nancy). - Mai 1987.
- COUTANT Ph. - "Le traitement de l'hydrogène sulfuré à la station d'épuration de Cholet. Une solution : le charbon actif." - Techniques Sciences Méthodes, TSM. - Mars 1990.
- GAL J.Y., GAL J., BOURG B. - "Etude analytique des réactions chimiques dans l'eau." - Technique et Documentation Lavoisier. - 1989.

- GRAGNIC G., MARTIN G. - "Un procédé de traitement biologique de l'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement." - L'eau. L'industrie. Les nuisances n°165. - 1993.
- INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE (INRS). - "Fiche toxicologique n°32: sulfure d'hydrogène." - 1987.
- LE GOALLEC O., LAPLANCHE A., MARTIN G., TRINEAU N., CAILLE J.E. - "Elimination de l'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement par le peroxyde d'hydrogène : cas du réseau du S.I.V.O.M de Piriac." - Techniques Sciences Méthodes, TSM. - Septembre 1990.
- LE GOALLEC O., LAPLANCHE A., MARTIN G. - "Action du peroxyde d'hydrogène sur l'hydrogène sulfuré. Application aux réseaux d'assainissement." - Techniques Sciences Méthodes, TSM. - Février 1992.
- MARTIN G. - "Les émissions de composés odorants dans la gestion des eaux urbaines." - Journée d'étude du CEBEDEAU. - Mai / Juin 1995.
- MATOS J.S., AIRES C.M. - "Mathematical modelling of sulphides and hydrogen sulfide gas build-up in the Costa do Estoril sewerage system." - Water Sciences Technol. Vol 31. - 1995.
- PADIVAL N.A., WEISS J.S., ARNOLD R.G. - "Control of *Thiobacillus* by means of microbial competition : implications for corrosion of concrete sewers." - Water Environment Research. - Mars / Avril 1995.
- PAILLARD H. - "L'hydrogène sulfuré en assainissement : le gaz de tous les dangers." - Point Sciences et Techniques Vol 2 n°1. - Janvier 1991.
- PAILLARD H., MARTIN G. - "Elimination des odeurs en station d'épuration et en réseau d'eau usée." - Extrait du livre Odeurs et désodorisation. - Technique et Documentation Lavoisier.

- PONT-A-MOUSSON. - "Assainissement : tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile, en fibres ciment. Pièces de voirie en fonte ductile." - 1992.
- R.E.S.E.A.U. Ile de France. - "Prévention et élimination de l'hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement." - Août 1995.
- ROFFIGNAC N. DE. - "L'utilisation du peroxyde d'hydrogène contre les sulfures des eaux usées." - L'eau. L'industrie. Les nuisances n°173. - 1994.
- SEBAN A., DEMAIN D., TURGIS R., DERNAT M., POUILLOT M. - "Traitement des sulfures par le chlorure ferrique. Essais sur le réseau d'assainissement de la ville de Sète." - Techniques Sciences Méthodes, TSM. - Décembre 1990.
- TANAKA N., TAKENAKA K. - "Control of hydrogen sulfide and degradation of organic matter by air injection into a wastewater force main." - Water Sciences Technol. Vol 31. - 1995.
- TOMAR M., ABDULLAH T.H.A., ABDULLAH J.H.A. - "Effect of aeration on generation and emission of hydrogen sulfide in wet wells of liftings stations." - Water, Air, and Soil Pollution. - 1995.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Principales caractéristiques de l'hydrogène sulfuré.

ANNEXE 2 : Domaines de prédominance des espèces en fonction du pH.

ANNEXE 3 : Solubilité de H₂S en fonction du pH (à 20°C).

ANNEXE 4 : Modèles mathématiques de formation des sulfures.

ANNEXE 1

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'HYDROGENE SULFURE

L'hydrogène sulfuré est un gaz dont les principales caractéristiques sont :

Masse molaire : 34,08

Point d'ébullition : -60°C à 101 kPa

Point triple : $-85,5^{\circ}\text{C}$

Point critique : $100,4^{\circ}\text{C}$ à 9010 kPa

Densité du gaz (air = 1) : 1,19

Poids spécifique du liquide : 0,960 g/l à 60°C et 1737 kPa

(pression saturante)

Tension de vapeur : 1780 kPa à 20°C

Température d'auto-inflammation : 260°C

Limites d'explosivité en volume % dans l'air

limite inférieure : 4

limite supérieure : 46

A 25°C et 101 kPa, 1 ppm = $1,4 \text{ mg/m}^3$

ANNEXE 2

**DOMAINES DE PREDOMINANCE DES
ESPECES EN FONCTION DU pH**

D'après J.Y. GAL, J. GAL; B. BOURG

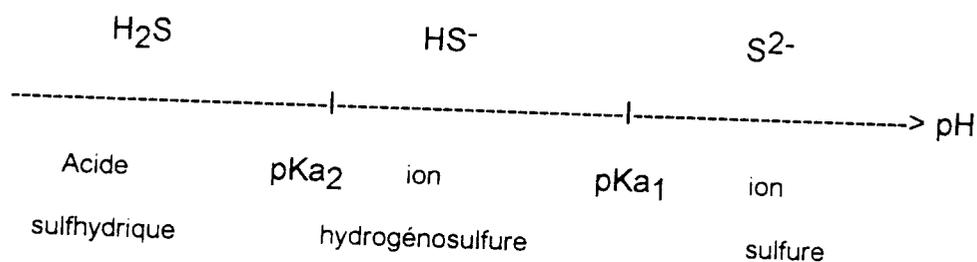
Il est utile, pour prévoir une réaction, de préciser sous quelles formes, protonées ou non, vont intervenir les réactifs.

L'acide sulfhydrique H_2S a comme $pK_{a2} = 7$ et $pK_{a1} = 13$.

Remarque :

La valeur du pK_{a1} varie de 12 à 15 suivant les auteurs, et même 19 selon MYERS.

S^{2-} est une dibase. Le potentiel d'oxydoréduction va donc dépendre du pH. On peut représenter les domaines de prédominance des formes de S(-II) sur une échelle de pH :



On peut alors écrire :

$$[H_2S]\% = ([H_2S] / [S(-II)]) \cdot 100$$

$$[HS^-]\% = ([HS^-] / [S(-II)]) \cdot 100$$

$$[S^{2-}]\% = ([S^{2-}] / [S(-II)]) \cdot 100$$

$$[S(-II)] = [S^{2-}] + [HS^-] + [H_2S]$$

$$\text{avec } \text{pH} = \text{pKa}_2 + \log \left(\frac{[\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} \right) \Rightarrow \text{Ka}_2 = \frac{[\text{HS}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 10^{-7}$$

$$\text{pH} = \text{pKa}_1 + \log \left(\frac{[\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} \right) \Rightarrow \text{Ka}_1 = \frac{[\text{S}^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HS}^-]} = 10^{-13}$$

$$[\text{S(-II)}] = [\text{S}^{2-}] \cdot \left(1 + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{Ka}_1} + \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{\text{Ka}_1\text{Ka}_2} \right)$$

⇓

α

$$[\text{S}^{2-}] \% = \left(\frac{[\text{S}^{2-}]}{[\text{S(-II)}]} \right) \cdot 100 = 100 / \alpha$$

$$[\text{HS}^-] \% = \left(\frac{[\text{S}^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{S(-II)}] \cdot \text{Ka}_1} \right) \cdot 100 = 100 / \alpha \cdot \left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{\text{Ka}_1} \right)$$

$$[\text{H}_2\text{S}] \% = \left(\frac{[\text{S}^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]^2}{[\text{S(-II)}] \cdot \text{Ka}_1\text{Ka}_2} \right) \cdot 100 = 100 / \alpha \cdot \left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{\text{Ka}_1\text{Ka}_2} \right)$$

ANNEXE 3

**SOLUBILITE DE H₂S
EN FONCTION DU pH (A 20°C)**

D'après J.Y. GAL, J. GAL; B. BOURG

On donne, pour $(\text{H}_2\text{S})_{\text{aq}}$: $\text{pK}_a = 7$ et 13

et pour coefficient de HENRY : $K = 0,1 \text{ mole l}^{-1}\text{atm}^{-1}$

$$S = [\text{H}_2\text{S}_{\text{aq}}] + [\text{HS}^-] + [\text{S}^{2-}]$$

$$K_{a1} = [\text{S}^{2-}] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] / [\text{HS}^-]$$

$$K_{a2} = [\text{HS}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] / [\text{H}_2\text{S}_{\text{aq}}]$$

$$S = [\text{H}_2\text{S}_{\text{aq}}] (1 + K_{a2} / [\text{H}_3\text{O}^+] + K_{a1}K_{a2} / [\text{H}_3\text{O}^+]^2)$$

$$S = K \cdot P_{\text{H}_2\text{S}} (1 + K_{a2} / [\text{H}_3\text{O}^+] + K_{a1}K_{a2} / [\text{H}_3\text{O}^+]^2)$$

$$-\log S = -\log (K \cdot P_{\text{H}_2\text{S}}) - \log (1 + 10^{-7} / [\text{H}_3\text{O}^+] + 10^{-20} / [\text{H}_3\text{O}^+]^2)$$

On peut résoudre le cas où la concentration du gaz dans l'air est de 1 ppm.

(1 ppm = 1 partie par million en volume soit 10^{-6} atm) (1 ppm = 1 vpm)

• **pH < 7 :**

D'après le diagramme de répartition, $\text{H}_2\text{S}_{\text{aq}}$ est l'espèce majoritaire.

$$-\log S = 7$$

- $7 < \text{pH} < 13$:

D'après le diagramme de répartition, HS^- est l'espèce majoritaire.

$$-\log S = 7 - \log (10^{-7} / [\text{H}_3\text{O}^+])$$

$$-\log S = 14 - \text{pH}$$

- $\text{pH} > 13$

D'après le diagramme de répartition, S^{2-} est l'espèce majoritaire.

$$-\log S = 7 - \log (10^{-20} / [\text{H}_3\text{O}^+]^2)$$

$$-\log S = 27 - 2 \text{pH}$$