

SYNTHESE OPERATIONNELLE

Élimination des gaz toxiques
et corrosifs produits en
réseau d'assainissement
urbain à l'aide de solutions
naturelles : REX et suivis

2025
ÉDITION GRAIE

REDACTEURS : Pierre Buffière,
Gislain Lipeme-Kouyi (INSA - DEEP),
Laure Wiest (ISA), Jean-Michel
Monier (HYDREKA), Laëticia Bacot
(GRAIE- OTHU), Camille Arnault
(Agence de l'Eau - Rhône
Méditerranée Corse) EN APPUI SUR
LE CONSORTIUM DU PROJET

Avec le soutien de :



TABLE DES MATIERES

1	Pourquoi lancer un projet de recherche tel que « NOGAS » sur l' H_2S en réseau d'assainissement.....	3
2	Quelques éléments de contexte.....	5
2.1	Gaz toxiques et H_2S en réseaux d'assainissement.....	5
2.2	Mécanismes de formation et d'émission d' H_2S	5
2.3	Quels sont les facteurs responsables de la formation et des émissions d' H_2S ?.....	8
2.4	Qu'elles sont les solutions de remédiation ?.....	10
3	Implantation de la solution passive NOGAS.	12
3.1	Origine et principe.....	12
3.2	Site d'implantation et dimensionnement.....	12
3.3	Instrumentation du site et mesures.....	15
3.4	Différentes étapes de mise en place de la solution et de son suivi.....	16
3.5	Enjeux scientifiques et techniques.....	16
4	Résultats des suivis et difficultés rencontrées.	18
4.1	Évolution des mesures.....	18
4.2	Que nous apprennent les campagnes de mesures ?.....	21
4.3	Approche numérique et quantification des flux d' H_2S	22
4.4	Portée et limites de l'étude.....	23
5	ZOOM particulier : Quel impact peut avoir la déconnexion des eaux pluviales sur la production H_2S en réseau ?	25
5.1	Méthodologie.....	25
5.2	Résultats et observations.....	26
6	A RETENIR	29

1. Pourquoi lancer un projet de recherche tel que « NOGAS » sur l'H₂S en réseau d'assainissement ?

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) est un gaz malodorant, toxique et responsable d'une corrosion du béton et du métal dans les réseaux d'assainissement, ce qui engendre des coûts d'entretien extrêmement importants pour les collectivités.

En effet, les besoins en réhabilitation des réseaux d'assainissement représenteraient 10% des coûts globaux de la collecte et du traitement des eaux, soit plusieurs centaines de millions d'euros annuellement rien qu'en France. Le coût lié aux injections de produits chimiques pour réduire les nuisances olfactives peut atteindre plusieurs dizaines de milliers d'euros par an en France.

L'H₂S est généré sous forme dissoute dans les zones anaérobies des réseaux d'assainissement (biofilms, sédiments, zones stagnantes ou conduites forcées) et est ensuite émis dans le ciel gazeux des canalisations gravitaires. Ce phénomène est amplifié par le réchauffement global et la diminution des flux d'eau dans les réseaux (due entre autres à la déconnexion des eaux pluviales).



Mesure H₂S en réseau d'assainissement



Le projet NOGAS a pour objet de développer une solution technique passive, c'est-à-dire sans ajout chimique, ni aération ou ventilation forcée, sans consommation d'énergie et de ressources, pour dégazer et capter H_2S in situ. La solution proposée est un dispositif favorisant la formation d'un ressaut hydraulique couplé à une absorption sur filtre.

Sur le plan scientifique, l'objectif est de mieux comprendre les configurations géométriques, d'écoulement et les paramètres bio-physico-chimiques qui accentuent la production et gouvernent la circulation des flux de H_2S .

D'un point de vue métrologique, il s'agit de valider des méthodes robustes de quantification des gaz en réseau (prélèvement, analyse et mesure in situ) pouvant permettre d'évaluer les performances de la solution proposée.

Au cours du projet, nous avons conçu et instrumenté cette solution sur un site expérimental de la Métropole du Grand Lyon en appui sur l'OTHU « Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine ». Nous avons suivi les principaux paramètres (teneur en H_2S , pH, température, redox). Nous avons utilisé des méthodes de quantification des flux liquides et gazeux, mesuré des compositions de soufre dissous en amont et en aval du dispositif, évalué des modèles hydro-aérauliques pour étudier le mode de circulation de l'air et le fonctionnement du filtre.

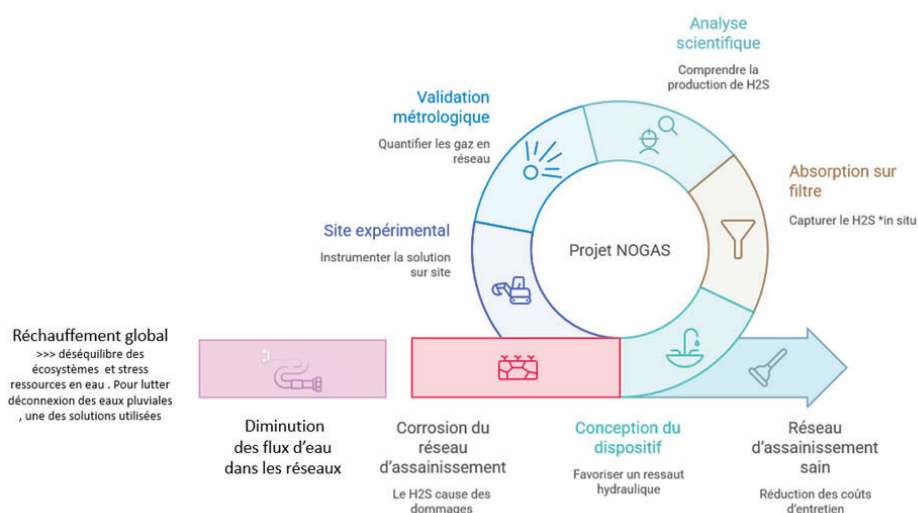


Figure n°1 : Réduction passive de l' H_2S en réseau d'assainissement)



2. Quelques éléments de contexte¹

2.1 Gaz toxiques et H₂S en réseaux d'assainissement

Lors de leur transport dans les réseaux d'assainissement, les eaux usées sont soumises à des transformations chimiques et biologiques. Ces transformations sont influencées par la qualité des eaux usées, la géométrie du réseau et les conditions d'écoulement. Parmi les produits de ces transformations, le sulfure d'hydrogène (H₂S) est formé dans des conditions anaérobies. Le sulfure d'hydrogène est un "marqueur" et révélateur de la présence d'autres composés indésirables (ammoniac NH₃, méthane CH₄, autres composés volatils malodorants et/ou toxiques).

La molécule H₂S devient toxique lorsqu'elle est transférée dans l'atmosphère du réseau, où elle occasionne des odeurs désagréables et des effets toxiques aigus aux fortes concentrations. Elle est aussi à l'origine du phénomène de corrosion des infrastructures (bétons, métaux). Le problème lié au sulfure d'hydrogène est fortement corrélé à la température, que ce soit lors de la production des sulfures via l'activité biologique, les vitesses de réaction ou lors du processus d'émission de la phase liquide vers la phase gazeuse. Il est probable que le phénomène s'accroisse à l'avenir, notamment en raison du changement climatique (augmentation des températures attendues), mais aussi à cause des efforts de déconnexion des eaux pluviales (diminution du débit / augmentation des concentrations), posant ainsi de nouveaux défis aux collectivités.

2.2 Mécanismes de formation et d'émission d'H₂S

2.2.1 Comment se forme-il et qu'est-ce que le dégazage ?

Les eaux usées contiennent du soufre. Ce dernier est naturellement présent dans les eaux de consommation sous sa forme la plus oxydée : l'ion sulfate. Les réseaux d'assainissement sont des « bioréacteurs » au sein desquels de nombreuses conditions physico-chimiques se succèdent dans le temps et l'espace.

(1) P. NAMOUR (2023) "Les gaz nocifs des égouts : synthèse bibliographique" - Livrable 1 du programme Nogas - 110p. LIEN : https://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/actesynteses/NoGAS_OTHU-AERMC-LI_INRAE2023.pdf

En absence d'oxygène, les ions sulfates jouent le rôle d'accepteur d'électrons lors de la dégradation de la matière organique par les bactéries (dites « sulfato-réductrices »). Le produit de cette réaction biologique est la forme réduite du soufre, les sulfures (Figure 2).

L'absence d'oxygène dans les réseaux se produit dans différentes zones et conditions :

- Les zones stagnantes ou de faible débit ;
- Les zones de sédimentation, les biofilms ;
- Les conduites forcées (pas d'interface eau / air).

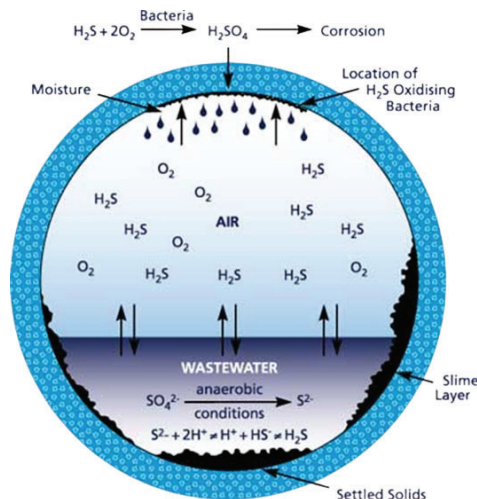


Figure n°2 : Mécanismes de formation, d'émission et d'impact de l'H₂S en réseau d'assainissement.

Dans l'eau, les sulfures peuvent être sous différentes formes : l'ion disulfure S²⁻, l'ion sulfure HS⁻, et le sulfure d'hydrogène H₂S. La distribution des sulfures entre ces 3 espèces chimiques dépend du pH du milieu (elles ne sont reliées que par des équilibres acidobasiques). Ainsi, si le pH est inférieur à 7 (pKa du couple), alors c'est la forme qui devient majoritaire (Figure 3).

Parmi les 3 espèces de sulfures, seule la forme H₂S (non ionisée) est susceptible d'être émise vers l'atmosphère (i.e., le ciel gazeux de la conduite). Le processus d'émission est basé sur le phénomène de dégazage : lorsque la concentration en H₂S dissous est supérieure à sa concentration à saturation, alors il y a émission d'H₂S. La vitesse à laquelle l'émission se produit dépend fortement de la surface d'échange air/eau et de la turbulence : ainsi, les zones de chutes ou d'écoulement rapides sont des zones propices au dégazage (postes de relevage par exemple).

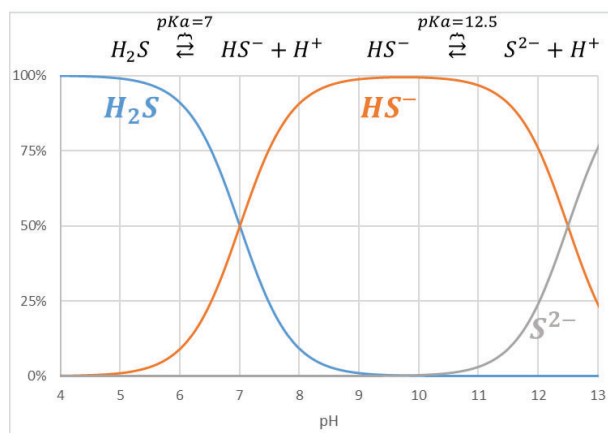


Figure n°3: Diagramme de prédominance des sulfures. Dans la gamme usuelle de pH des eaux usées (pH = 6 à 8), les deux espèces qui coexistent sont H₂S et HS⁻. H₂S devient majoritaire en dessous de pH 7.

2.2.2 Que devient l'H₂S émis ?

Une fois émis dans l'atmosphère de la conduite, H₂S est transporté par le flux d'air. Selon la manière dont l'air s'écoule, il peut être émis vers la surface via les regards et autres ouvertures, mais, en l'absence de contact avec la zone extérieure ou de flux d'air suffisant, il peut également s'accumuler dans le ciel gazeux.

Les conséquences principales sont :

- Les risques pour la santé : H₂S est toxique à de faibles teneurs (dès 50 ppm) et mortel en quelques minutes au-delà de 500 ppm ;
- Les nuisances olfactives en cas d'émission vers la surface, même en concentration très faible (l'odorat humain détecte son odeur caractéristique d'œuf pourri dès 0,005 ppm environ) ;
- La corrosion des métaux et des bétons, en raison de la réaction d'oxydation des sulfures en conditions aérobies (voir encadré).

Acidification et corrosion

Les molécules d'H₂S présentes dans le ciel gazeux des ouvrages (conduites, regards) sont absorbées par l'eau de condensation à la surface des bétons et autres structures solides (Figure 4). Il se retrouve alors en conditions aérobies propices au développement d'espèces sulfo-oxydantes.

La particularité de la sulfo-oxydation est la production d'acide (acide sulfurique en l'occurrence) et la forte diminution du pH dans le film d'eau au contact de la surface (pH<2).

Au niveau des parois des ouvrages, le ciment et le fer sont des éléments très sensibles aux acides, ce qui conduit à leur dégradation (voir photos ci-dessous).



Figure 4. Phénomène de corrosion au niveau du ciel gazeux

2.3 Quels sont les facteurs responsables de la formation et des émissions d'H₂S ?

2.3.1 La température

La réaction de sulfato-réduction est un processus biologique sensible à la température : ainsi, plus la température sera élevée, plus la réaction sera rapide. La vitesse de production de sulfures par ce mécanisme est généralement faible en-dessous de 10°C, et augmente de manière sensible au-delà de 15°C. Globalement, l'augmentation de la température au-delà de 10° correspond à une augmentation de la cinétique microbienne d'un facteur supérieur à 3 pour ce processus.

2.3.2 Le potentiel d'oxydo-réduction

Les mécanismes biologiques de dégradation de la matière organique sont multiples et dépendent de la présence et de la nature de l'accepteur final (ou terminal) d'électrons (ATE) dans le processus de dégradation. Le type de cet accepteur détermine les conditions redox du milieu (Figure 5). Ainsi, la présence d'oxygène correspond aux conditions redox les plus élevées (zone oxygène, potentiel redox supérieur à 100 mV), et la sulfato-réduction se produira plutôt entre -100 et -300 mV en conditions fortement anoxiques. Il est intéressant de noter pour la suite que les voies métaboliques les plus favorables sont associées aux potentiels les plus élevés. En d'autres termes, en présence d'oxygène (respiration aérobie, +100 mV) ou de nitrates (anoxie entre 0 et +100 mV), la sulfato-réduction ne se produira pas.

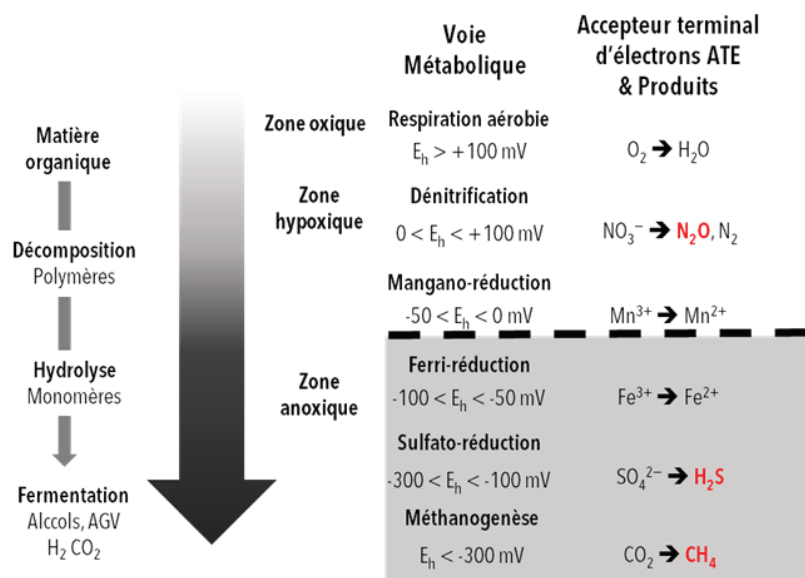


Figure 5. Structuration des différents processus microbiens en fonction du potentiel redox (SHE). Les valeurs de potentiels redox sont de potentiel globaux, certaines réactions étant constituées de plusieurs étapes ayant leur propre potentiel, comme dans le cas de la dénitrification. En gris la zone de formation de H₂S et CH₄ en rouge les gaz pouvant être émis en conduite d'assainissement.

2.3.3 Le pH

Le pH des eaux usées est généralement proche de la neutralité (5,5-8,5). Le pH joue sur les équilibres chimiques des sulfures (Figure 2). Ainsi, lorsque le pH devient inférieur à 7, alors H_2S devient le sulfure majoritaire, ce qui est propice à son dégazage. Les facteurs qui influencent la valeur du pH des eaux usées sont assez complexes. Ils dépendent bien entendu de la nature des eaux, mais également de la réactivité des processus biologiques. Ainsi, les réactions de dégradation de matière organique peuvent faire baisser le pH, notamment lorsqu'elles se produisent en l'absence d'oxygène. Comme évoqué plus haut, les vitesses des réactions biologiques sont sensibles à la température, et la nature de ces réactions sont très liées aux conditions redox dans le milieu.

2.3.4 Les conditions de l'écoulement

Au niveau des mécanismes de formation d' H_2S , les conditions d'écoulement les plus propices correspondent à celles qui règnent dans les zones stagnantes : en effet, ces zones peu aérées correspondent à des potentiels redox plus bas ; de plus, la présence de matière organique sédimentée dans ces zones favorise la sulfato-réduction. Nous retrouvons également des conditions propices dans les conduites forcées (non aérées).

Au niveau des mécanismes d'émission d' H_2S , la condition nécessaire est la présence d'une interface air/eau pour le dégazage. La vitesse à laquelle H_2S est émis au niveau de cette interface est régie par l'équation de transfert gaz-liquide rappelée ci-dessous :

$$N_{H_2S} = k_L a (S_{H_2S} - S_{H_2S}^*)$$

Le flux émis (N_{H_2S} : n mol d' H_2S par litre d'eau et par seconde) est proportionnel à deux termes :

- La force motrice $S_{H_2S} - S_{H_2S}^*$: correspond à la différence entre la concentration en H_2S dissous et la concentration à saturation (qui dépend elle-même de la teneur en H_2S dans la phase gazeuse, voir Figure 6).
- Le coefficient de transfert gaz-liquide $k_L a$, qui regroupe les effets des conditions d'agitation à l'interface gaz-liquide (a) et l'aire d'échange entre l'eau et l'air (k_L).

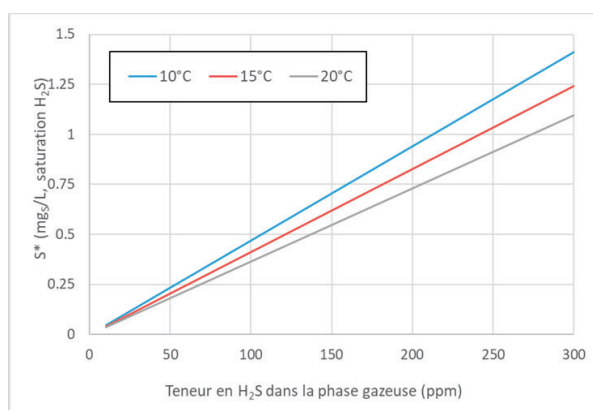


Figure 6 : Concentration à saturation en H_2S dans la phase liquide en fonction de la teneur en H_2S dans l'air à 10°, 15° et 20°C. Pour que le dégazage soit possible, il est nécessaire que la concentration en H_2S dissous soit supérieure à la saturation : par exemple, si la température est de 10°C et la teneur en H_2S dans l'air 100 ppm, la concentration à saturation est =0,5 mg/L.

Conditions optimales pour la formation H₂S

Globalement, la combinaison qui conduit à la plus forte probabilité de formation et d'émission d'H₂S est la suivante :

- **Température élevée** : favorise les transformations chimiques et biologiques (oxydation de matière organique, sulfato-réduction) ;
- **Potentiel rédox bas** (inférieur à -100 mV) : favorise la sulfato-réduction et la production de sulfures ;
- **pH inférieur à 7** : prédominance de la forme H₂S parmi les sulfures, la seule susceptible d'être dégazée
- Écoulement faible dans les réseaux avec des **zones stagnantes peu aérées**

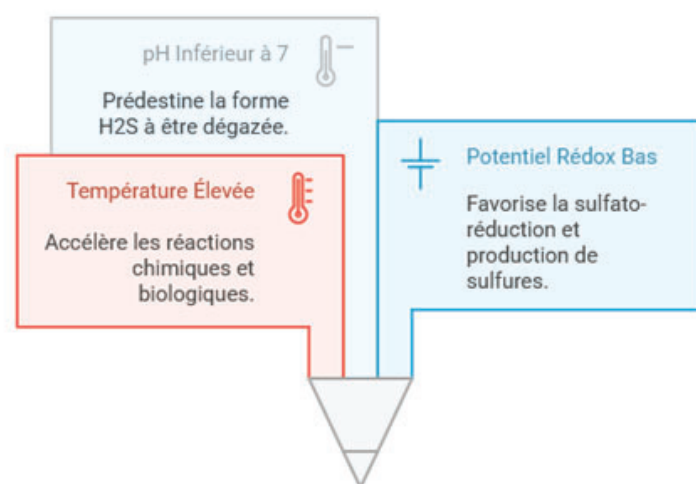


Figure 7 : Schématisation des conditions optimales de formation de l'H₂S

2.4 Qu'elles sont les solutions de remédiation ?

2.4.1 Solutions curatives

Les solutions imaginées pour le contrôle de l'H₂S dans les réseaux d'assainissement portent sur les facteurs d'influence associés aux conditions favorables d'émissions mentionnées plus haut (Figure 7). Il s'agit d'ajouter des éléments chimiques qui vont avoir une action sur ces facteurs :

- En augmentant le potentiel d'oxydo-réduction, par ajout d'oxydants chimiques (oxygène, permanganate) ;
- En ajoutant des accepteurs d'électrons (ATE) tels que les nitrates, de manière à bloquer la sulfato-réduction (voir explications Figure 3), à l'instar du produit commercial Nutriox (nitrate de calcium).
- En augmentant le pH, par alcalinisation du milieu, de manière à privilégier les formes dissociées des sulfures par rapport à H₂S (voir explications Figure 3).

D'autres solutions curatives sont basées sur la capacité des sulfures de précipiter avec des ions métalliques tels que les ions ferreux (Fe 2+) ou ferriques (Fe 3+).

L'ensemble de ces solutions fonctionnent correctement, mais présentent des limitations à la fois en termes de coût et d'effets induits. L'ajout de chlorures de fer entraîne floculation et dépôt de boues dans le réseau ; l'ajout de nitrates peut entraîner des concentrations en azote accrue dans les eaux usées et déstabiliser le fonctionnement de la station d'épuration en aval.

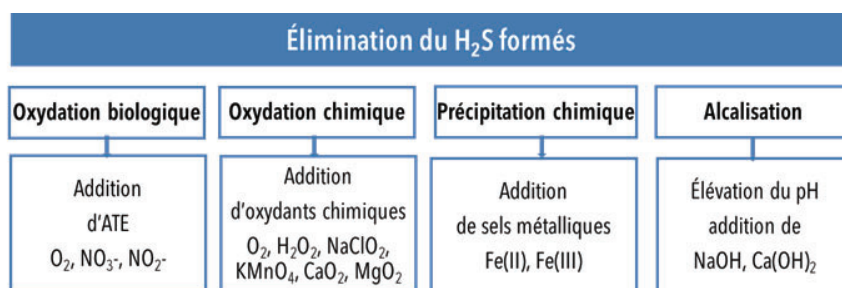


Figure 8 : Techniques curatives de neutralisation chimique pour le contrôle des émissions de H₂S

2.4.2 Solutions préventives

Globalement, les solutions préventives reposent sur la conception des réseaux, que ce soit en termes d'écoulements ou de matériaux de construction des canalisations.

La première piste est liée à l'hydraulique : en favorisant des écoulements rapides, il est possible de limiter les dépôts et donc les zones de stagnation propices à l'établissement de conditions anaérobies permettant la formation des sulfures. Cela implique de concevoir des canalisations de faible dimension, avec le risque de ne pas pouvoir absorber des débits plus importants, en temps de pluie notamment.

Nous pouvons signaler également le développement de matériaux cimentaires potentiellement plus résistants aux acides, tels que des liants aux silicates et/ou aluminates.

3. Implantation de la solution passive NOGAS

3.1 - Origine et principe

L'idée de départ de cette solution est fondée sur la combinaison de deux éléments (voir schéma ci-dessous, Figure 9) :

- L'installation d'un dispositif permettant de générer un ressaut hydraulique afin d'intensifier la turbulence : il s'agit de provoquer le dégazage d' H_2S dans une zone contrôlée ;
- L'installation d'un piège à H_2S , en utilisant un filtre dédié avec matériau absorbant (type charbons actifs).

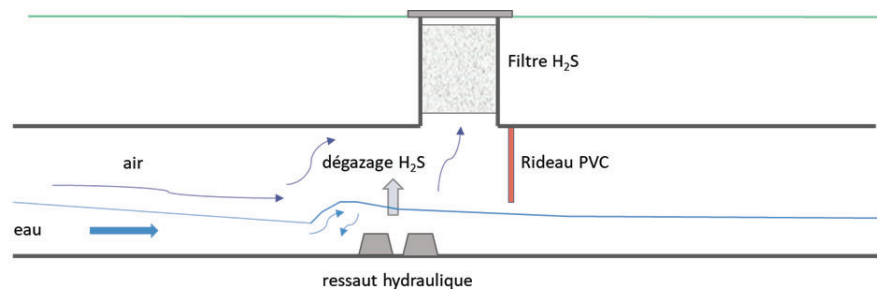


Figure 9 : Principe de la solution NOGAS pour le dégazage et l'absorption d' H_2S . Le ressaut hydraulique génère la turbulence nécessaire au dégazage. Le flux d'air est orienté vers le filtre pour l'absorption d' H_2S

Pour fonctionner correctement, ce dispositif doit répondre à certaines contraintes :

- Être installé dans une conduite où l'eau est saturée en H_2S ;
- Assurer une turbulence efficace au niveau du ressaut hydraulique, de manière à maximiser le transfert liquide - gaz ;
- S'assurer qu'une partie importante du flux d'air puisse traverser le filtre de manière à piéger l' H_2S .

3.2 -Site d'implantation et dimensionnement

Les échanges avec la Métropole du Grand Lyon ont conduit au choix d'un site situé sur la commune de Meyzieu. Il s'agit d'une portion de canalisation (diamètre 500 mm) reliant la zone industrielle à la station d'épuration de Jonage, située à 1,5 km au nord-est.

Les eaux usées qui circulent au niveau de cette portion sont issues de la zone résidentielle ainsi que de la zone industrielle. Le secteur en aval a fait l'objet de plaintes de la part des habitants en raison de problèmes d'odeurs. Les données disponibles avant la construction indiquent des pics fréquemment supérieurs à 100 ppm d'H₂S dans la conduite.

Pour des raisons pratiques, nous avons installé le dispositif (Figure 10) dans une dérivation de la conduite existante dans laquelle l'eau est orientée à l'aide d'une vanne. Ce dispositif se compose d'une section de canalisation au sein de laquelle un venturi permet d'accélérer la vitesse d'écoulement de l'eau, suivi d'une brusque chute de niveau qui génère le ressaut hydraulique. A l'aplomb du ressaut, le filtre H₂S est installé dans un regard. Des lanières PVC situées juste après le ressaut font office de rideau occultant pour favoriser l'écoulement de l'air chargé en H₂S vers le filtre.

Le dimensionnement de cette portion de canalisation a été réalisé à partir d'une modélisation de l'écoulement par mécanique des fluides numérique (CFD) de manière à obtenir les grandeurs caractéristiques nécessaires au bon fonctionnement du dispositif, dans la gamme de débit traversant la conduite existante (100 - 200 L/s). Ces calculs ont permis d'estimer la longueur nécessaire avant le venturi, les dimensions du venturi, les pentes à appliquer, le positionnement des regards, etc. Ces calculs prenaient en compte les contraintes d'utilisation du site : il faut, en effet, aménager une conduite de section rectangulaire équipée d'une banquette latérale pour permettre les interventions et la circulation du personnel.

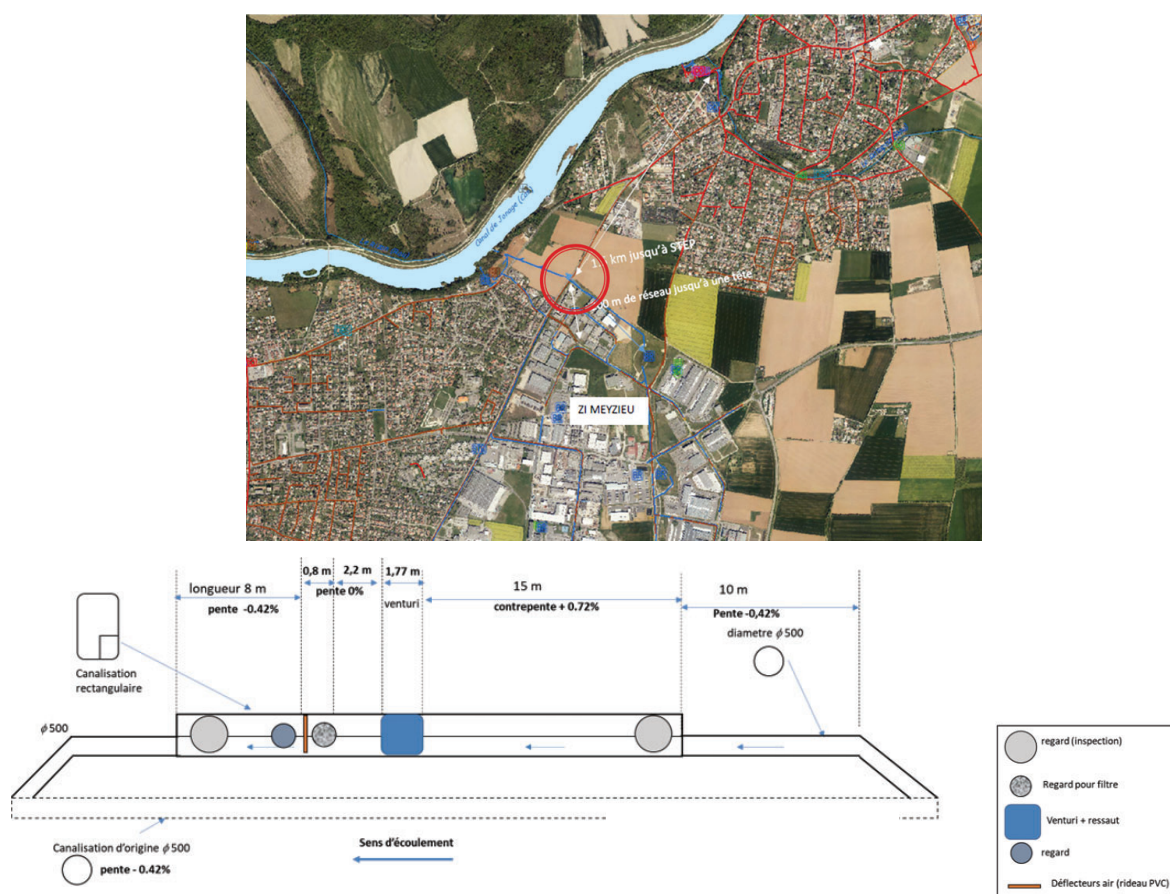


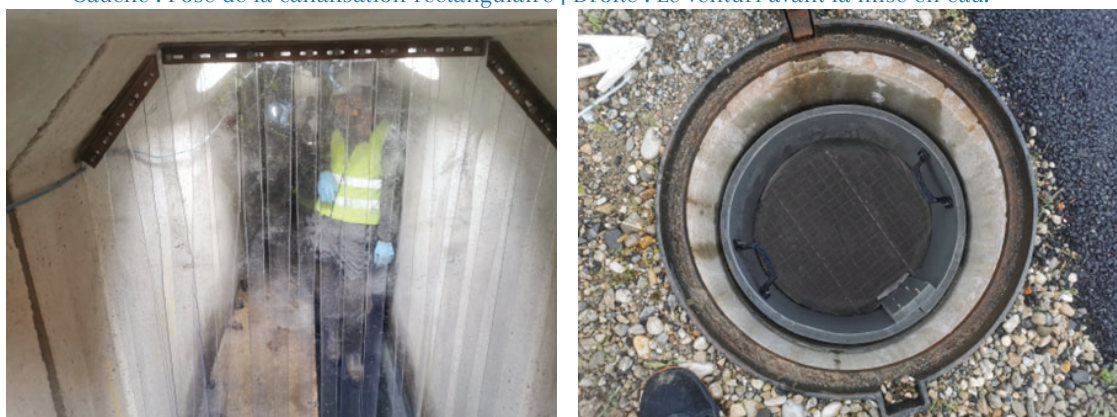
Figure 10 : Haut : implantation du site. Bas : plan de la dérivation : l'écoulement d'eau est stabilisé après la dérivation sur une section de 20 m. L'eau entre ensuite dans une conduite rectangulaire qui constitue le cœur du dispositif. Après 15 mètres de contre-pente, elle passe dans un venturi et est ensuite accélérée de manière à créer un ressaut hydraulique



Gauche : Le ressaut hydraulique, caractérisé par un bouillonnement propice aux échanges liquide-gaz |
Droite : regards destinés à l'installation du filtre (premier plan) et aux visites (second plan).



Gauche : Pose de la canalisation rectangulaire | Droite : Le venturi avant la mise en eau.



Gauche : Mise en place des lanières PVC | Droite : Installation du support de matériau filtrant.

Figure 11 : visualisation du site expérimental NOGAS

3.3 Instrumentation du site et mesures

Le dispositif a été instrumenté aux moyens de capteurs :

- une solution autonome incluant les mesures de pH, conductivité, potentiel redox, température, et activité biologique). Ces mesures en continu ont été installées en amont et en aval du dispositif. Des capteurs d'H₂S dans l'atmosphère ont également été déployés en amont et aval.
- des mesures de débit d'eau via un capteur hauteur / vitesse, des mesures de vitesse d'air (anémomètres lowcost et classique) en amont et en aval et à différentes hauteurs de canalisation. La mesure de la perte de charge au niveau du filtre (différence de pression amont / aval) a également été réalisée. Enfin, sur les dernières semaines du projet, nous avons testé une sonde de mesure d'H₂S dissous .

L'ensemble de l'alimentation électrique des capteurs est assuré par des batteries autonomes ou rechargeables ; un panneau solaire de 1 m² a été installé en surface afin d'assurer l'alimentation électrique du système. Les données récoltées en continu sont récupérées, traitées et stockées sur le serveur de l'OTHU.

Tableau 1 : résumé des capteurs utilisés et leurs localisations

Capteur	Localisation
pH, redox, température, conductivité	Amont + Aval
Activité biologique	Amont + Aval
H ₂ S dans l'air	Amont + aval
Hauteur / vitesse eau	Aval
Vitesse d'air (anémomètres)	2 en Amont, 2 en Aval

En complément ont été réalisées des campagnes de prélèvement sur site afin de caractériser notamment les composés soufrés présents. Ces campagnes se sont déroulées de manière ponctuelle, avec prélèvement toutes les 5 minutes d'échantillons d'eau amont et aval. Les grandeurs mesurées sont le soufre total, les sulfates et les sulfures.

3.4 Différentes étapes de mise en place de la solution et de son suivi

Après la construction fin 2022, la mise en service du site et son instrumentation s'est étalée entre janvier et juin 2023 (voir Tableau 2).

L'idée de départ était la suivante : faire fonctionner le dispositif en l'absence des rideaux d'occultation et du filtre pendant un an (de Juin 2023 à Mai 2024), puis de suivre l'installation complète l'année suivante (de Juin 2024 à Mai 2025).

Tableau 2 : Séquences de mises en place de la solution NOGAS et de son instrumentation.

Date	Nature de l'intervention
1 janv. 2021	Démarrage du projet
1 janv. 2022	Sélection du site
1 avr. 2022	Dimensionnement et cahier des charges
1 déc. 2022	Fin de construction du site
26 avr. 2023	Installation anémomètres type I + capteur hauteur
9 juin 2023	Installation capteurs H ₂ S, pH, redox
6 juil. 2023	Première campagne prélèvement
12 oct. 2023	Installation anémomètres lowcost (type II)
23 nov. 2023	Deuxième campagne prélèvement
14 mars 2024	Installation anémomètres type III
24 mai 2024	Installation lamelles + support du filtre
20 juin 2024	Installation matériaux filtrants
3 juil. 2024	Troisième campagne de prélèvements

3.5 Enjeux scientifiques et techniques

Sur le plan scientifique, le principal enjeu de nos essais est de pouvoir évaluer l'efficacité de la solution passive de dégazage et piégeage de H₂S en réseau d'assainissement.

Pour cela, il est nécessaire de bien comprendre les flux d'H₂S mis en jeu dans le dispositif expérimental (voir Figure 12).

- L'H₂S qui « entre » dans le dispositif en amont, amené par le flux d'air, mais aussi dans l'eau ;
- L'H₂S qui est dégazé au niveau du ressaut hydraulique ;
- L'H₂S qui est transporté dans les interstices du rideau occultant vers l'aval ;
- L'H₂S qui est dévié vers le filtre (susceptible d'être éliminé par absorption).

Pour la partie aérienne, nous avons accès dans le suivi aux concentrations en H₂S en amont et en aval. Cependant, cela ne donne pas d'information sur la quantité d'H₂S qui entre (ou qui sort) en quantité ; il faudrait, pour cela, connaître le débit d'air entrant (ou sortant en aval).

Or, cela n'est pas possible dans un tel dispositif : nous avons donc installé des anémomètres afin d'avoir des informations sur les vitesses et directions d'air instantanées à 2 hauteurs en amont et aval.

En complément, nous avons utilisé la mécanique des fluides numérique pour reconstruire le champ de vitesse d'air amont /aval (voir Figure 13), et, après validation des modélisations à l'aide des vitesses d'air mesurées par les anémomètres, il a été possible de calculer numériquement des débits d'air, y compris la quantité qui traverse le filtre.

Pour la quantité dégazée, nous avons accès à des mesures ponctuelles de sulfures dissous, ainsi qu'à une estimation très grossière du coefficient de transfert au niveau du ressaut.

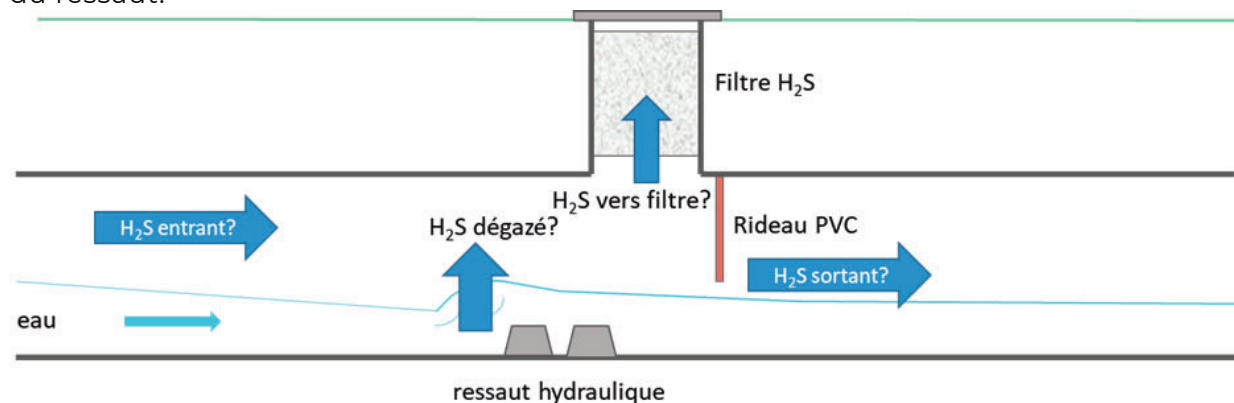


Figure 12 : L'enjeu du projet est d'évaluer les flux d'H₂S, ce qui implique d'avoir accès aux débits d'air qui entrent et qui sortent, ainsi qu'à la quantité d'H₂S dégazé.

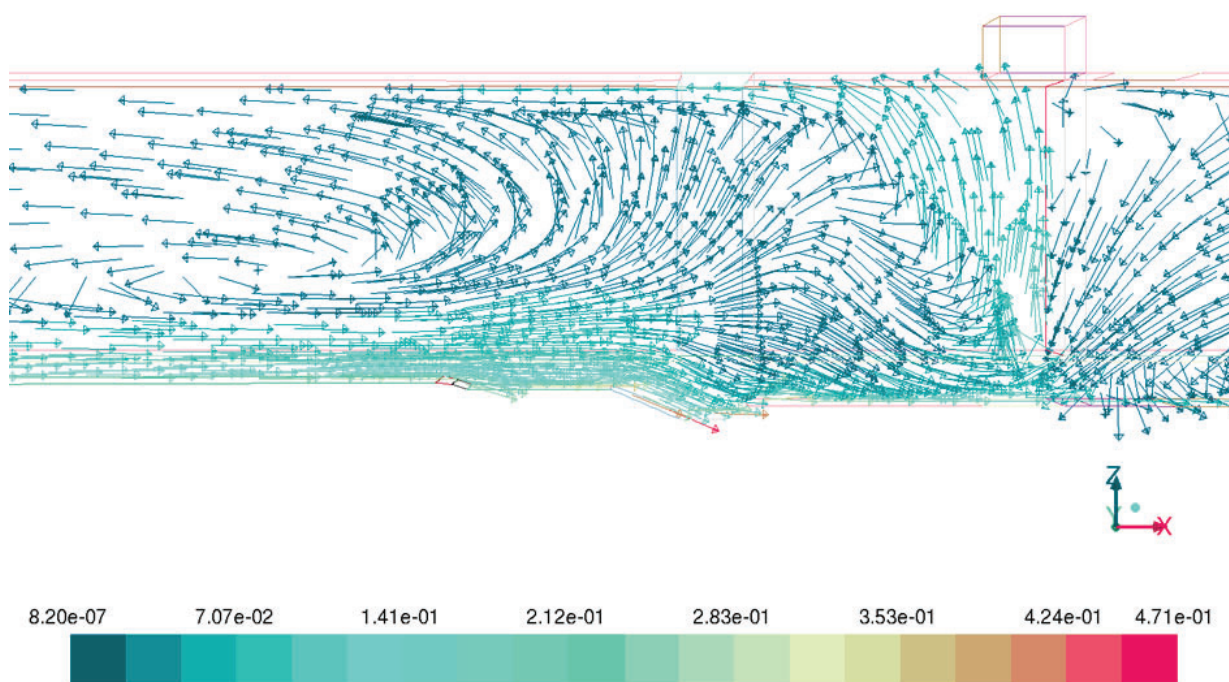


Figure 13 : Exemple de simulation des champs de vitesse d'air dans le dispositif avec lamelles. Il est intéressant de noter qu'en amont du venturi (à gauche de la figure), l'air s'écoule dans le sens de l'écoulement d'eau (de gauche à droite) pour une position proche de la surface de l'eau (en bas) tandis qu'il circule dans le sens opposé lorsque l'altitude s'élève. Ce résultat est validé par les mesures effectuées lors du suivi des vitesses d'air par les anémomètres.

4. Résultats des suivis et difficultés rencontrées

4.1 -Évolution des mesures

H₂S

La concentration en H₂S (ppm) est représentée sur la Figure 14. Les observations montrent en particulier :

- Une importante fluctuation entre les périodes chaudes (juin-octobre) et les périodes froides (novembre – mai, valeurs moyennes inférieures à 1 ppm) :
- Une grande différence entre les données de l'été 2023 et l'été 2024 : alors que l'été 2023 (juillet-août) est marqué par des valeurs moyennes supérieures à 10 ppm d'H₂S, contre 3 ppm pour l'été 2024.
- Un écart non significatif entre les concentrations en H₂S entre amont et aval, quel que soit le mode de fonctionnement (avec ou sans le filtre).

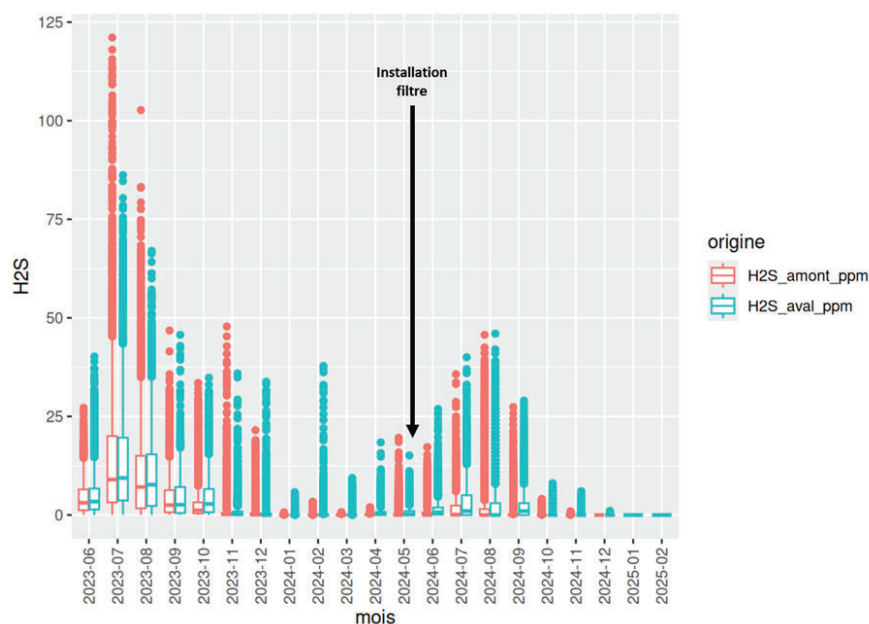


Figure 14 : Teneur en H₂S (ppm) dans la conduite en amont et en aval du ressaut hydraulique. Pour chaque mois sont calculées les valeurs médianes, représentées par un segment horizontal à l'intérieur du rectangle, le rectangle lui-même représentant les premier et troisième quartile de la distribution. Les points mentionnés au-dessus correspondent aux valeurs supérieures (pics). La flèche noire correspond à la date d'installation du filtre.

Pour ce qui concerne le potentiel redox (Figure 15), le profil est plus régulier. Nous voyons clairement une augmentation de l'ordre de 50 mV en moyenne entre l'amont et l'aval. Les valeurs amont sont très basses et indiquent que le niveau d'oxydation de l'eau circulant dans ce réseau est bien compatible avec un risque élevé d'émission d'H₂S. Ce point est à relier avec les valeurs de pH (non détaillées ici), qui sont comprises entre 6,25 et 7,00, soit légèrement acides et donc propices à l'émission d'H₂S.

Les campagnes de prélèvement effectuées en été et hiver ont permis de mieux comprendre la composition des différentes espèces liées au soufre (Tableau 1). Nous voyons que la majorité du soufre est constitué de sulfates, alors que les sulfures ne représentent qu'une très faible fraction des espèces soufrées. Nous obtenons davantage de sulfures dissous en hiver par rapport à l'été, ce qui est difficile à interpréter de manière statistique, dans la mesure où les campagnes de prélèvement ne durent que 2h et ne sont pas forcément représentatives de la qualité de l'eau sur l'ensemble de la période. En revanche, ces campagnes n'ont pas permis de détecter de différences entre les concentration amont et aval de sulfures, en raison, d'une part, de la difficulté technique de la mesure et de son incertitude, et, surtout, des importantes fluctuations des valeurs mesurées au cours du temps (voir les écarts entre valeurs minimales et maximales sur 2h dans le tableau).

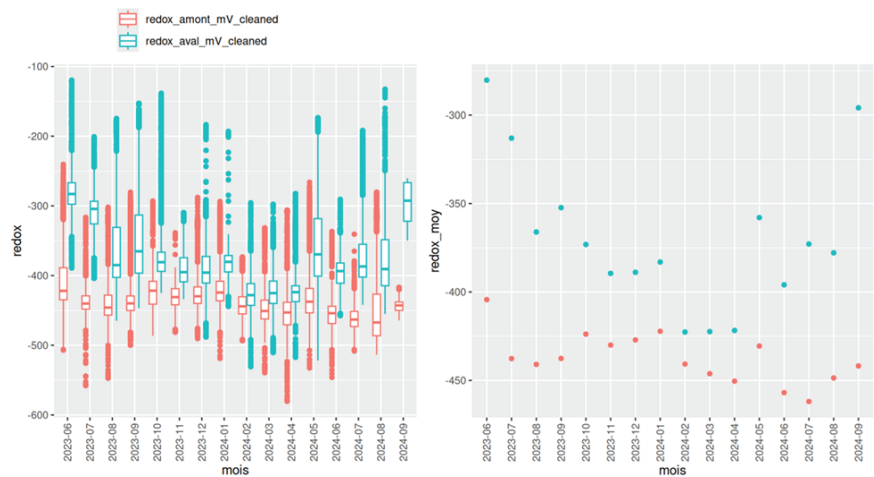


Figure 15 : Mise en évidence de l'augmentation du potentiel d'oxydo-réduction entre l'amont (rouge) et l'aval (bleu) du dispositif. Les valeurs moyennes mensuelles sont indiquées sur la figure de droite

Tableau 3 : Distribution des espèces soufrées dans l'eau obtenues lors des campagnes de prélèvement (valeur moyenne, valeurs minimales et maximales entre parenthèses).

En mgS/L	Soufre total	Sulfates	Sulfures
Eté	47 (35-70)	38 (25-60)	0,45 (0,30-0,65)
Hiver	45 (30-60)	40 (25-55)	1,50 (0,75-2,00)

Micropolluants semi-volatils

Deux méthodes analytiques basées sur la chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse haute résolution ont été appliquées aux échantillons prélevés en juillet et novembre 2023 et avril 2024.

La première méthode est une méthode dite ciblée, c'est-à-dire mise au point à partir d'une liste de molécules sélectionnées a priori. Au préalable, une étude bibliographique a été réalisée afin de déterminer les familles de composés semi-volatils les plus retrouvés dans les eaux usées, ce qui a permis de sélectionner une vingtaine de molécules comprenant des alkylphénols, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des phtalates et des organophosphorés. Parmi ceux-ci 15 molécules ont été détectées dans 100% des échantillons : les nonyl et octyl phénols, 4 HAP, 7 phtalates et 2 organophosphorés.

Pour l'ensemble des composés, les concentrations sont entre 5 et 10 fois supérieures en juillet 2023, comparé aux deux autres campagnes, ce qui est cohérent avec les concentrations en H₂S. Quatre molécules présentent des concentrations supérieures au µg/L : le 4-nonylphénol, le bis(2-ethylhexyl)phthalate, le diethylphthalate, le di-n-butylphthalate (Figure 16) .

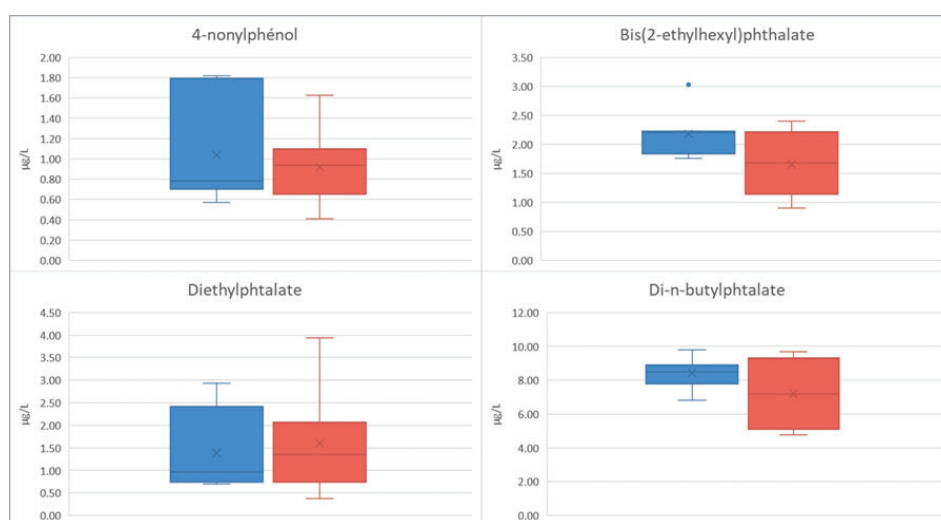


Figure 16 : Concentrations en µg/L des molécules retrouvées à plus de 1 µg/L en juillet 2023 (en bleu, amont; en orange, aval)

Les concentrations moyennes de ces 4 composés en juillet 2023 se situent entre 1 µg/L pour le 4-nonylphénol et 8 µg/L pour le di-n-butylphthalate. Aucune différence significative n'a pu être observée entre l'amont et l'aval.

Les composés organosulfurés étant peu documentés dans la littérature, une seconde méthode dite « non-ciblée » a été utilisée pour analyser les échantillons d'eaux usées. Cette méthode d'analyse permet d'élargir le nombre de molécules recherchées d'une centaine à plusieurs milliers. Cette méthode a permis de détecter plusieurs centaines de composés, dont des organosulfurés et des acides gras. Dans le Tableau 4, sont présentés les composés organosulfurés détectés et identifiés. Ces substances sont d'origine industrielle. Le 4-methyl-5-thiazoleethanol présente des concentrations significativement supérieures en amont par rapport à l'aval.

Tableau 4 : Organosulfurés identifiés dans les eaux usées

Nom du composé	CAS	Usage	Toxicité	Amont>Aval
Dimethyl sulfone	67-71-0	Solvant	Irritant	
Benzenemethanethiol	100-53-8	Parfum, additif de pesticide	Irritant	
4-methyl-5-thiazoleethanol	137-00-8	Parfum d'ambiance	Irritant	Oui
Benzenesulfonamide N-butyl	3622-84-2	Plastifiant	Toxique	

Ce screening a permis également de mettre en évidence des molécules présentes à des concentrations plus élevées en amont par rapport à l'aval : des acides gras, et plus précisément les acides pentanoïques, hexanoïques et octanoïques.

En conclusion, ce suivi a permis de mettre en évidence une grande diversité de composés semi-volatils. Les concentrations sont très variables entre les campagnes. Un organosulfuré et des acides gras présentent des concentrations supérieures en amont.

4.2. Que nous apprennent les campagnes de mesures ?

En premier lieu, nous avons constaté lors du suivi que la portion de canalisation instrumentée correspond bien à une zone de production d'H₂S, et à notre problématique au moins lors de l'été 2023, avec des valeurs moyennes élevées et des pics fréquemment supérieurs à 50 ppm. Ces données sont confirmées par la nature de l'eau : riche en sulfates, présence de sulfures dissous, et donc la température agit comme un facteur déclencheur du mécanisme d'émission.

L'impact de la solution NOGAS (ressaut hydraulique et filtre) n'apparaît pas clairement à l'analyse des données. En effet, si la teneur en H₂S dans le gaz est systématiquement supérieure en aval par rapport à l'amont (ce qui pourrait suggérer que le dégazage est bien efficace), l'écart n'est pas significatif par rapport aux fluctuations ou aux incertitudes de mesure. La comparaison des données entre les périodes « sans filtre » et « avec filtres » ne permet pas de mettre en évidence des différences de comportement.

Les mesures effectuées hors-ligne lors des campagnes de prélèvement mettent en évidence les difficultés techniques de la quantification des émissions : les sulfures sont non seulement délicats à mesurer en raison de leur réactivité, mais les écarts entre amont et aval demeurent non quantifiables.

Le seul paramètre qui permet de mettre en évidence l'effet du ressaut est le potentiel d'oxydo-réduction, qui augmente de manière importante (+50 mV en moyenne), ce qui indique la présence d'un effet associé à la réoxygénation (et, indirectement, pourra contribuer à limiter les émissions d'H₂S à l'aval du dispositif NoGas).

4.3. Approche numérique et quantification des flux d'H₂S

L'approche numérique originale utilisée a permis d'établir les champs de vitesse à la fois dans le domaine liquide et dans le domaine gaz. Sur la base de ces résultats numériques, il est possible de déduire les valeurs de débit d'air entrant dans la canalisation, sortant via le filtre et vers l'aval. Le résultat le plus marquant des simulations effectuées concerne l'impact très élevé de la perte de charge au niveau du filtre, qui se traduit par une très faible fraction de débit d'air qui traverse le filtre (de l'ordre de 1%), malgré les rideaux d'occultation en aval qui couvrent plus de 90% de la surface offerte à l'écoulement d'air.

Ces données ont été utilisées pour élaborer un modèle de calcul simple par bilan de matière permettant de faire une estimation des différents « flux » de sulfures au niveau du dispositif (voir Figure 12). Le modèle a pour base les valeurs de débits d'air et d'eau ; il intègre l'effet du transfert de matière gaz-liquide au niveau du ressaut, et prend en compte le pH. Ce modèle simple fournit des ordres de grandeurs permettant de mieux comprendre le fonctionnement du dispositif. Dans l'exemple de bilan présenté sur le Tableau 5, nous constatons que la quantité d'H₂S en entrée est majoritairement apportée par l'eau, l'air ne représentant que 2% de ce qui est apporté par l'eau. Le ressaut hydraulique permet de dégazer 1,6% du flux entrant avec l'eau, c'est-à-dire une grandeur comparable à la quantité d'H₂S entrant avec l'air. Le flux qui traverse le filtre correspond à 0,05% du flux entrant avec l'eau (soit 2,5% environ de l'H₂S dégazé).

Ces calculs minimisent sans doute l'effet du filtre (ils prévoient en effet une augmentation de la concentration d'H₂S aval, ce qui n'est pas observé en pratique) mais donnent des ordres de grandeurs permettant de mieux cerner le fonctionnement et les limites du dispositif.

Tableau 5 : Estimation des flux par un modèle de bilan matière ; les données sont calculées pour pH=7, un débit d'eau de 16 L/s, une concentration en sulfures totaux dans l'eau en amont de 0,5 mgS/L. Pour plus de clarté, les flux sont ramenés à une base 100, qui correspond au flux d'H₂S dans l'eau en amont.

Nom du flux	Valeur (base 100 = H ₂ S dans l'eau en amont)
H ₂ S dans l'eau en amont	100
H ₂ S dans l'air en amont	2
H ₂ S dégazé au niveau du ressaut	1,6
H ₂ S dans l'eau en aval	98,4
H ₂ S vers filtre	0,05

Impact du dispositif NOGAS : que faut-il retenir ?

Le ressaut hydraulique : permet d'augmenter de manière notable le potentiel d'oxydo-réduction de l'eau (réoxygénation), mais le dégazage d' H_2S semble limité (1 à 2% de l' H_2S de l'eau est émis).

L'association lamelles + filtre : cette configuration ne permet pas de rediriger le flux d'air vers le filtre : la surpression engendrée par les lamelles n'est pas suffisante pour vaincre la perte de charge du filtre.

A ce stade, les essais réalisés ne montrent pas un dégazage et un piégeage importants de H_2S au niveau de la solution proposée.



4.4. Portée et limites de l'étude

4.4.1. Difficultés opérationnelles et scientifiques

Le déroulement de ce projet très ambitieux a été jalonné par des événements et des difficultés qu'il a été nécessaire de surmonter. Le point commun à ces difficultés est d'avoir sous-estimé les obstacles liés à la mise en œuvre d'une solution technique dans un environnement réel, complexe, et difficile d'accès.

- **Écart entre débits prévus et débits réels** : l'installation d'une dérivation sur une canalisation existante n'a pas permis (techniquement) de récupérer la totalité du débit d'eau dans le dispositif : ainsi, il s'est avéré que les simulations numériques effectuées avec des débits plus élevés n'étaient plus valides. Cela a particulièrement impacté le fonctionnement des anémomètres initialement installés.
- **Instabilité du ressaut** : en lien avec le point précédent, les débits plus faibles que prévus ont affecté le fonctionnement du ressaut hydraulique, non pas en termes de présence, mais plutôt en termes de position (selon les conditions, il peut se retrouver trop en aval du filtre).
- **Évolution du comportement et de la teneur H_2S** : à partir du printemps 2024, il s'avère que la quantité d' H_2S mesurée a été beaucoup plus faible que lors des périodes antérieures, sans doute en raison de modifications effectuées au niveau du réseau ou de la nature des rejets. Cet écart limite les éléments de comparaison entre les périodes de fonctionnement sans et avec filtre. A ce stade, nous ne disposons pas d'explications pour ces observations.
- **Anémomètres** : en lien avec le premier point, plusieurs solutions ont été testées pour les anémomètres. Les technologies initialement installées se sont avérées incapable de détecter des petites vitesses d'air, et la recherche de solutions alternatives a été complexe, bien que très satisfaisante au cours de la dernière année.
- **Difficultés en lien avec l'accès au site** : malgré l'appui technique apporté par la Métropole du Grand Lyon, les accès à un site en exploitation doivent suivre des protocoles stricts et être supervisés par le personnel exploitant. Ces contraintes ont engendré des retards et délais pour les interventions, notamment sur les capteurs.

4.4.2. Leçons apprises et perspectives pour la solution

Au-delà des points négatifs et de la frustration engendrée par des résultats qui ne sont pas à la hauteur des ambitions initiales du projet, il est important de mettre en avant les points positifs pour tirer parti du travail réalisé, notamment sur le volet métrologique et méthodologique.

- Une base de données originale et ciblée : un suivi de plus de 48 mois des principaux paramètres d'une portion de réseau sujet à de fortes émissions d' H_2S a été constitué et archivé. Ces données confirment les conditions conduisant à la production d' H_2S , elles permettent également d'appréhender la forte variabilité, à la fois journalière, hebdomadaire et saisonnière, des paramètres d'intérêt.
- Mesure des vitesses d'air : le travail considérable réalisé sur ce point constitue une vraie percée méthodologique, dans la mesure où plusieurs solutions de mesure ont été testées pour répondre à des contraintes de mise en œuvre complexes en environnement réel et corrosif. La solution finalement retenue est une technologie à ultrasons 2D permettant de mesurer les vitesses mais également la direction de l'écoulement d'air.
- Le défi de la modélisation de l'aérodynamique : Les mesures de suivi de vitesse d'air ont permis la validation d'un modèle de mécanique des fluides numérique (CFD) tout à fait original couplant écoulements d'eau et d'air dans une géométrie particulièrement complexe (venturi, ressaut, lanière, filtre et regards).
- Le défi des analyses d'eau : Il est important de souligner que les mesures réalisées lors des campagnes de prélèvement sur site ont donné lieu à des développements méthodologiques importants, qu'il s'agisse de l'analyse de composés très instables comme les sulfures, ou d'autres composés minoritaires.

Quelles pistes pour le futur de la solution NOGAS ?

Stabiliser le ressaut hydraulique : il est dû à une accélération de la vitesse d'eau générée par l'association d'un venturi et d'une rupture de pente ; il permet d'améliorer les échanges gaz-liquide, et nous avons observé notamment l'augmentation du potentiel d'oxydo-réduction associée, ce qui constitue un résultat très prometteur pour oxygéner l'eau de manière passive. Cependant, il s'est avéré instable en milieu réel ; il pourrait être amélioré par l'installation de plots permettant une meilleure dissipation de l'énergie et donc sa stabilisation.

Rediriger l'air vers le filtre : dans la configuration testée (lamelles d'occultation), la pression n'est pas suffisante pour rediriger l'air vers le filtre ; des pistes néanmoins peuvent être explorées et testées (notamment à l'échelle numérique) pour explorer des matériaux filtrants moins pénalisant en termes de perte de charge, ou des solutions pour bloquer le flux d'air plus efficaces que les lamelles PVC.



5. ZOOM :

Quel impact peut avoir la déconnexion des eaux pluviales sur la production H₂S en réseau ?

Pourquoi s'intéresser à cette question :

Les politiques de déconnexion des eaux pluviales et d'infiltration de ces eaux au plus près de là où elles tombent ont fait leurs preuves en matière de gestion quantitative et qualitative des eaux pluviales. Cependant, retirer ces eaux notamment des réseaux unitaires pose question. En effet diminuer le flux d'eau, augmenter la sédimentation risque d'avoir des conséquences sur la production et l'émission d'H₂S.

L'objectif de ce zoom est donc de voir quel impact peut avoir la déconnexion des eaux pluviales sur la présence/circulation H₂S en réseau .

5.1. Méthodologie

5.1.1. Relation entre hydrologie urbaine et paramètres H₂S sur le site NoGas de Meyzieu

L'objectif initial est de mettre en parallèle l'évolution des paramètres chimiques et hydro-aérauliques avec celle de la concentration en H₂S. Il s'agit de mettre en exergue les conditions susceptibles d'engendrer de hautes concentrations en H₂S.

Le seuil de 10 ppm a été retenu comme limite au-delà de laquelle des impacts sanitaires existent lors d'une exposition prolongée. En outre, lors de la descente en réseau, les détecteurs de gaz sonnent lorsque la concentration en H₂S est comprise entre 5 et 10 ppm. C'est également un seuil d'alerte. Par conséquent, des conditions seront qualifiées "à risque H₂S" si elles sont susceptibles d'engendrer des concentrations en réseau en H₂S supérieures ou égales à 10 ppm.

Dans un premier temps, en s'appuyant sur la bibliographie et les données du projet NOGAS entre mai 2023 et mai 2024, nous avons cherché des corrélations entre les paramètres hydrologiques, climatiques, hydrauliques et les concentrations en H₂S. Cependant, ces essais n'ont pas été concluants. Néanmoins, à la suite de plusieurs tests et modélisations statistiques, une visualisation en 3 dimensions mettant en avant la hauteur ou le débit (en abscisse), la concentration en H₂S (en côte) et la température (en ordonnée) a permis de mettre en exergue des seuils permettant d'établir un lien entre données hydrologiques et risque H₂S.

5.1.2. Simulation des stratégies de déconnexion des eaux pluviales et évaluation du risque H₂S associé

Des simulations de différentes stratégies de déconnexion ont été réalisées à l'aide d'un logiciel intégrant conception et diagnostic des réseaux d'assainissement. Pour cela, le modèle de la commune de Meyzieu (site NoGas), déjà calé et validé à l'aide des données d'autosurveillance de la Métropole de Lyon, a été mobilisé. Les simulations continues, exploitant une chronique de pluie d'un an, ont permis de quantifier (calcul des débits et hauteurs dans le réseau unitaire de Meyzieu), les effets d'une déconnexion à la source de 5, 10 et 15 mm de pluie à la source. Les résultats obtenus sur les débits et les hauteurs ont été comparés aux seuils obtenus lors de la phase de recherche de liens entre risque H₂S et paramètres hydrauliques (notamment hauteur et débit)..

Enfin, une analyse fréquentielle a permis de déterminer la fréquence d'apparition du risque H₂S liée à la déconnexion.

5.2. Résultats et observations

5.2.1. Identification des seuils à risque

Les visualisations 3D sont présentées sur la Figure 17. Nous observons un pic de H₂S (avec des valeurs susceptibles de dépasser 10 ppm) pour des valeurs de débit autour de 20 L/s, de hauteur autour de 20 cm, pour des températures supérieures à 18 °C.

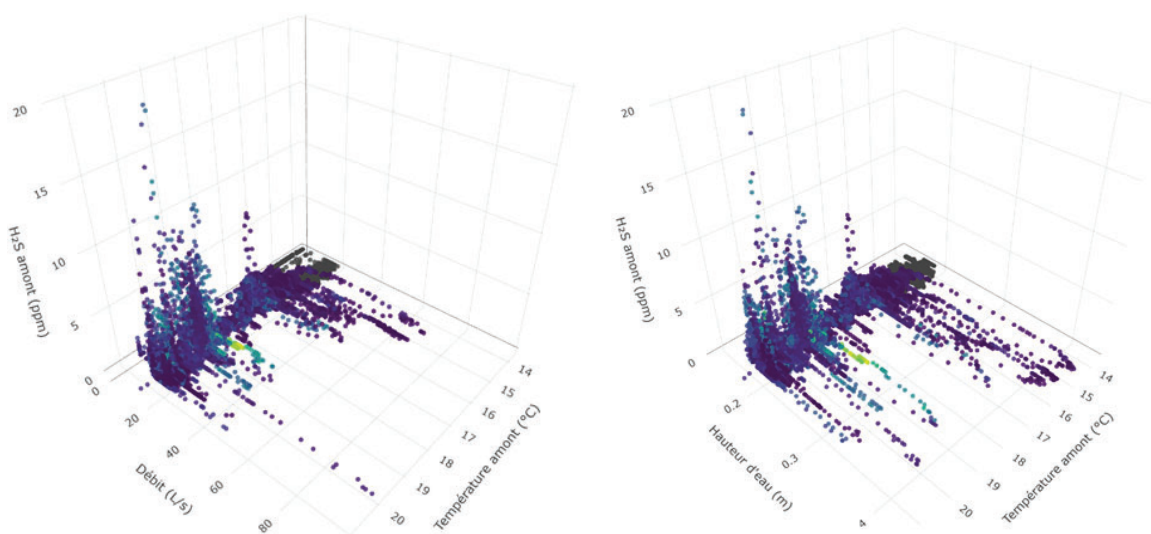


Figure 17: Représentation de la concentration de H₂S dans l'air en fonction de la Température de l'eau et du débit puis de la hauteur d'eau.

La représentation des données en 3D nous a permis d'identifier des seuils pour ces paramètres délimitant les conditions à risque. Les seuils retenus et représentés sur la figure 18 sont donc 18 °C pour la température, 20L/s pour le débit et 20 cm pour la hauteur d'eau. Ces seuils sont spécifiques au site étudié

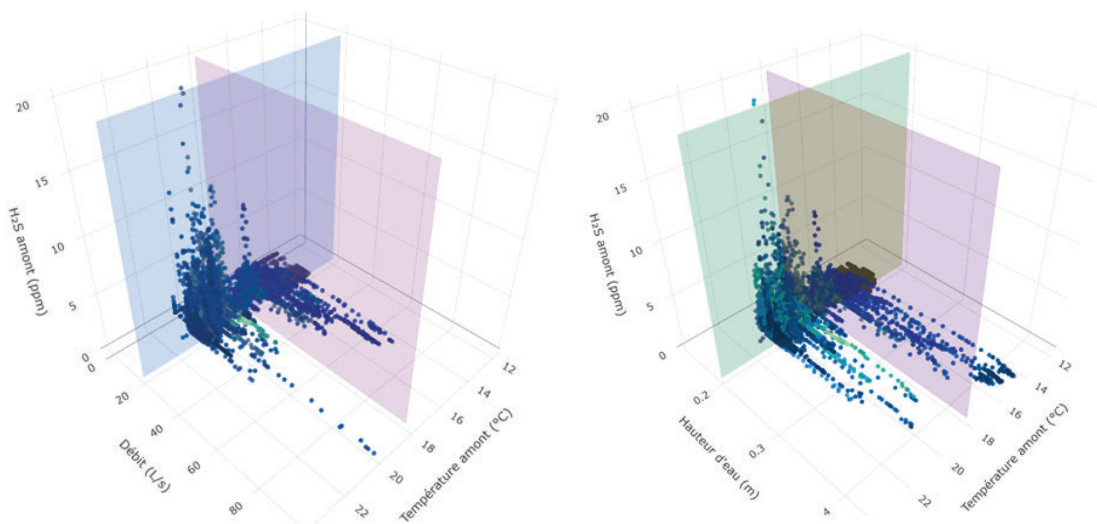


Figure 18 : Mise en évidence par des plans des seuils de 20 L/s, 20 cm et 18 °C.

5.2.2. Évaluation du risque H₂S lié aux stratégies de déconnexion des eaux pluviales

La Figure 18 montre les résultats de l'analyse fréquentielle des débits à risque (inférieurs à 20L/s) suite à la simulation des stratégies de déconnexion.

Pour chaque scénario, la fréquence de débits sur l'ensemble des tronçons du réseau unitaire inférieurs au seuil fixé (donc à "risque H₂S") a été calculée, ce qui a permis de construire les histogrammes représentés à la figure 19.

Il est important de noter qu'un débit inférieur à 20 L/s ne signifie pas systématiquement que les concentrations en H₂S dépassent 10 ppm car la problématique H₂S est multifactorielle. En effet, d'autres paramètres physico-chimiques et hydro-aérauliques peuvent entrer en jeu et remettre en question le lien entre les seuils des paramètres hydrauliques et le risque H₂S. En revanche, une situation où les valeurs de concentration sont supérieures à 10 ppm signifie bel et bien, dans le tronçon étudié, que le débit était insuffisant (inférieur à 20 L/s).

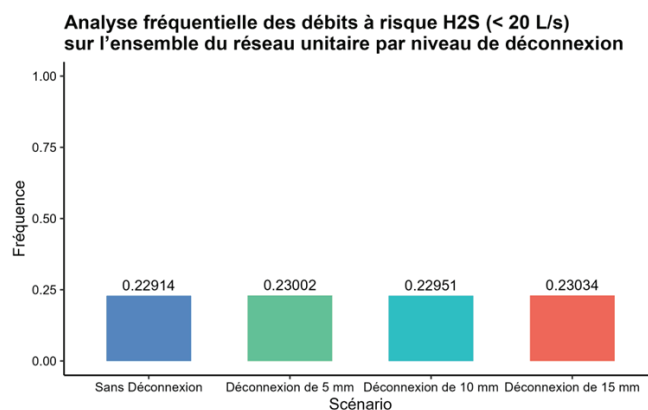


Figure 19 : Analyse fréquentielle des débits à risque H₂S en fonction des scénarios de déconnexion

Nous observons que la fréquence des débits à risque reste très proche de 23% dans toutes les conditions de déconnexion. La conclusion qui peut être tirée de cette étude menée sur la base des données du site NoGas de Meyzieu est l'absence d'un effet significatif des stratégies de déconnexion des eaux pluviales de la Métropole de Lyon sur les fortes concentrations H_2S , du moins pour ce site spécifique de Meyzieu.

La démarche méthodologique appliquée jusqu'à présent est généralisable, mais il faut garder à l'esprit que les valeurs de seuil établies ont été trouvées à partir de données issues du réseau de Meyzieu, et doivent donc être recalculées (par une stratégie analogue) si l'on se penche sur un autre réseau ou un autre quartier. De même, la composition des effluents et les concentrations en sulfure dans ces effluents sont des facteurs également importants à prendre en compte pour aller plus loin.

A RETENIR

Le projet NOGAS vise à traiter le problème du sulfure d'hydrogène (H_2S) dans les réseaux d'assainissement urbains. Ce gaz toxique, corrosif et malodorant est responsable de dégâts importants sur les infrastructures (béton, métal) et engendre des coûts de réhabilitation élevés pour les collectivités.

Sa formation est favorisée par :

- Des conditions anaérobies (zones stagnantes, biofilms, conduites forcées),
- Un pH inférieur à 7,
- Un potentiel rédox bas (< -100 mV),
- Une température élevée (effet amplifié par le changement climatique),
- Une réduction des débits par exemple liée à la déconnexion des eaux pluviales.

Objectifs du projet de recherche

- Développer une solution passive sans ajout chimique ni consommation d'énergie pour capter le H_2S in situ.
- Comprendre les mécanismes de formation, d'émission et de transport du H_2S .
- Valider des méthodes de mesure et de modélisation des flux gazeux et liquides.
- Envisager l'impact que peut avoir la déconnexion des eaux pluviales sur la production H_2S en réseau

La solution NOGAS

Principe technique >>> La solution repose sur deux éléments :

1. Ressaut hydraulique : génère de la turbulence pour favoriser le dégazage du H_2S .
2. Filtre absorbant (charbon actif) : capte le H_2S dégazé.

Le site expérimental : Implanté à Meyzieu (Métropole de Lyon), sur une dérivation de canalisation DN500. Le site a été instrumenté avec :

- Capteurs de pH, redox, température, conductivité, H_2S (air et eau),
- Anémomètres pour mesurer les vitesses d'air,
- Sondes de débit et prélèvements ponctuels pour analyser les espèces soufrées.

Résultats & enseignements

Sur les mesures et observations

- Concentration en H_2S : forte variabilité saisonnière, avec des pics > 10 ppm.
- Potentiel rédox : augmentation de $+50$ mV en aval du ressaut, indiquant une réoxygénation.
- Effet du filtre : très faible débit d'air traversant le filtre ($\sim 1\%$), limitant son efficacité.
- Campagnes de prélèvement : sulfates majoritaires, sulfures minoritaires et difficiles à mesurer.

Sur la modélisation numérique

- Simulation CFD couplant écoulements d'eau et d'air.
- Modèle de bilan matière : le dégazage représente $\sim 1,6\%$ du H_2S entrant, et le filtre capte $\sim 0,05\%$.

Les limites et difficultés rencontrées

- Débit réel inférieur aux prévisions, instabilité du ressaut.
- Faible concentration en H_2S sur la 2^{ème} année de suivi, limitant les comparaisons.
- Problèmes pratiques d'accès au site et de fiabilité des capteurs.

Zoom : Impact de la déconnexion des eaux pluviales

- Étude menée sur le site de Meyzieu avec une modélisation hydraulique.
- Seuils de risque identifiés : $T > 18^\circ C$, débit < 20 L/s, hauteur < 20 cm pour le site étudié.
- Pas d'effet significatif des stratégies de déconnexion sur les concentrations en H_2S pour ce site.
- Même si la méthodologie d'évaluation est généralisable, il n'y a pas de généralisation des résultats possible car tout dépend du réseau existant : sa forme, le type d'eau collecté ...La méthode doit être réappliquée sur chaque cas.

Conclusions & perspectives

- La métrologie fine des gaz en réseau reste très difficile à réaliser
- Le ressaut hydraulique testé montre un potentiel intéressant pour la réoxygénation mais reste à affiner géométriquement.
- Le filtre créé nécessite des améliorations (matériaux, design) pour être efficace.
- Le projet a permis de constituer une base de données originale et de tester des méthodes innovantes de mesure et de modélisation.
- Au sein du projet des pistes sont proposées pour stabiliser le ressaut et optimiser la capture du H_2S pour rendre la solution passive telle qu'envisagée plus efficiente. Cette solution passive reste prometteuse mais nécessite des améliorations.
- Si vous souhaitez agir sur l' H_2S en réseau, les solutions curatives et préventives classiques restent la solution.



Plus d'informations sur le projet : <https://www.othu.org/autres-projets/nogas/>

Ce programme a été coordonné depuis 2021 par Pierre Buffière (INSAL Deep) avec l'appui de nombreux collaborateurs cités ci-dessous.

Les partenaires du projets :



Les contributeurs :

Pierre Buffière, Gislain Lipeme-Kouyi, Nathalie Dumont, Gaele Ducom, Serge Naltchayan, Stéphane Vacherie, Nicolas Walcker (INSA - DEEP), Philippe Namour (INRAE), Laure Wiest (ISA), Jean-Michel Monier (HYDREKA), Muriel Floriat, Charlotte Renouf (Métropole de Lyon), Laëtitia Bacot, Elodie Brelot (GRAIE-OTHU), Camille Arnault (Agence de l'Eau - Rhône Méditerranée Corse).

(c) Crédits photos : INSA Deep / OTHU - Laëtitia Bacot-Graie - IA Mistral/ chatGPT

NB: Les modélisations ont été réalisées à l'aide du logiciel Ansys Fluent, avec le support technique de la société Optifluides. La simulation des effets de la déconnexion sur l'H₂S a été conduite à l'aide du logiciel CANOE. La mention de ces outils et prestataires est faite uniquement à des fins de description méthodologique.

2025
ÉDITION GRAIE



Avec le soutien de :

