

PLATEFORME ACTIPOLISH®

STEP – Assainissement - Environnement naturel

ACTIPOL® + BIOPOL®

Une plateforme — deux formulations complémentaires — une même chimie de traitement du soufre réduit.

Septembre 2026

PARTIE I — ANALYSE TECHNIQUE — STEP, ASSAINISSEMENT & ENVIRONNEMENT

1. OBJET DU DOSSIER

La plateforme **ACTIPOLISH®**, constituée des formulations **ACTIPOL®** et **BIOPOL®**, est destinée au traitement chimique ciblé des composés soufrés réduits : principalement **H₂S**, **mercaptans R-SH** et autres composés soufrés réactifs compatibles avec la chimie du procédé.

Domaines concernés

- réseaux d'assainissement
- postes de relevage
- STEP
- désodorisation
- traitement et séchage des boues
- méthanisation/biogaz
- stockages de matières organiques
- applications environnementales
- matières organiques en décomposition

ACTIPOL® = formulation concentrée pour traitements industriels contrôlés.

BIOPOL® = formulation au carbonate, à pH plus modéré, pour réseaux d'assainissement et développement d'applications environnementales.

L'objectif n'est pas nécessairement de remplacer les technologies existantes, mais d'apporter une solution complémentaire lorsque les composés soufrés sont déjà formés et doivent être éliminés.

2. LE SOUFRE RÉDUIT DANS LES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT ET LES STEP

Les réseaux d'assainissement et les stations d'épuration peuvent être confrontés à la formation et à l'émission de composés soufrés réduits, dont le principal est le sulfure d'hydrogène **H₂S**.

Ces phénomènes concernent les réseaux de collecte et de refoulement ainsi que certains ouvrages de traitement des eaux usées et des boues.

Les conditions anaérobies rencontrées dans les réseaux et certains ouvrages favorisent la formation de sulfures.

Selon le **pH**, la **température**, le **temps de séjour**, l'**agitation**, la **pression**, la **concentration** et les **conditions hydrauliques**, une partie du soufre peut se retrouver sous forme de **H₂S** moléculaire puis passer vers la phase gazeuse.

Les mercaptans participent également aux émissions odorantes.

Les zones sensibles comprennent notamment :

- conduites de refoulement
- postes de relevage
- regards
- ruptures de charge
- arrivées de STEP
- prétraitements
- ouvrages couverts
- bassins ou locaux confinés
- traitement et stockage des boues.

**CONDITIONS ANAÉROBIES → FORMATION DE SULFURES → H₂S DISSOUS → DÉGAZAGE
→ H₂S / MERCAPTANS → ODEURS / TOXICITÉ / CORROSION → TRAITEMENT**

Les enjeux sont simultanément **sanitaires, olfactifs, techniques et environnementaux**.

Le traitement doit également prendre en compte les effluents liquides produits, leur pH, leur charge organique, leur biodégradabilité et leur compatibilité avec la STEP.

3. CONSÉQUENCES

ODEURS

Le H₂S est associé à une odeur caractéristique perceptible à très faible concentration et peut générer des nuisances importantes pour les riverains.

TOXICITÉ

À concentration plus élevée, le H₂S représente un risque professionnel majeur, notamment en espaces confinés ou insuffisamment ventilés.

CORROSION

Le H₂S et les composés soufrés associés peuvent contribuer à la corrosion des structures, canalisations, ventilateurs, gaines, équipements électriques et instruments.

DÉGRADATION DES BÉTONS

Dans certaines atmosphères humides, des mécanismes biologiques et chimiques peuvent conduire à une acidification de surface et à l'attaque progressive des matériaux cimentaires.

CONTRAINTES D'EXPLOITATION

Ventilation, traitement d'air, surveillance, maintenance, restrictions d'accès et consommations de réactifs doivent être intégrés au coût global.

4. DEUX STRATÉGIES : PRÉVENIR OU TRAITER

Les procédés préventifs cherchent à agir avant l'émission du H₂S :

- **modification des conditions d'oxydo-réduction**
- **nitrites**
- **oxygène**
- **précipitation des sulfures**
- **adaptation hydraulique.**

Leur objectif est d'empêcher ou de réduire la formation des sulfures.

Lorsque le H₂S et les mercaptans sont déjà présents, il faut au contraire les traiter.

Les deux approches sont potentiellement complémentaires :

**PRÉVENTION DANS LE RÉSEAU → RÉDUCTION DE LA FORMATION DES SULFURES
→ TRAITEMENT CURATIF DES COMPOSÉS SOUFRÉS RÉSIDUELS**

5. PRINCIPE CHIMIQUE ACTIPOLISH®

ACTIPOL® et **BIOPOL®** reposent sur une même matière active et une même logique réactionnelle : **substitution nucléophile de type SN2**, et non simple oxydation du soufre.

Il ne s'agit ni d'une simple dilution, ni d'un masquage olfactif.

* **H₂S**



Le H₂S représente **2 équivalents réactionnels**.

* **MERCAPTANS**



Le mercaptan représente **1 équivalent réactionnel**.

Objectif

**H₂S / MERCAPTANS DANS LE GAZ → TRANSFERT VERS LA PHASE LIQUIDE → RÉACTION AVEC
ACTIPOL® OU BIOPOL® → TRANSFORMATION CHIMIQUE
→ COMPOSÉS SOUFRÉS FIXÉS → GAZ TRAITÉ**

La performance globale dépend simultanément du transfert de matière, de la cinétique chimique, de la stœchiométrie et de l'hydraulique.

6. ACTIPOLISH® — DEUX FORMULATIONS

Caractéristique	ACTIPOL®	BIOPOL®
Matière active	≈ 21,2 %	5 %
Base alcaline	Soude	Carbonate de sodium
pH	≈ 13	≈ 10–10,5
Positionnement	Traitements industriels contrôlés	Réseaux et applications environnementales à étudier
Principe chimique	SN2	SN2

ACTIPOLISH® = ACTIPOL® + BIOPOL®

Les deux formulations sont **complémentaires et non concurrentes**.

BIOPOL® est une formulation adaptée aux environnements où une alcalinité élevée de type **ACTIPOL®** n'est pas nécessaire ou souhaitable.

ACTIPOL®, formulé à 21,2 % de matière active en milieu alcalin, conserve son intérêt lorsque la charge soufrée, les conditions du procédé ou la compacité recherchée justifient une formulation plus concentrée.

Le choix doit être établi à partir des conditions réelles du site :

**MILIEU + pH ADMISSIBLE + CONCENTRATION + DÉBIT + MERCAPTANS + TEMPÉRATURE
+ TEMPS DE CONTACT + PROCÉDÉ + DEVENIR DES EFFLUENTS**

7. BASE STœCHIOMÉTRIQUE

Base de calcul retenue :

1 kg H₂S → 6,853 kg DE MATIÈRE ACTIVE PURE

D'où théoriquement :

ACTIPOL® 21,2 % → ≈ 32,3 kg/kg H₂S

BIOPOL® 5 % → ≈ 137 kg/kg H₂S

Pour les mercaptans :

1 équivalent réactionnel par mole de R-SH.

**STÉCHIOMÉTRIE COMMUNE → CONCENTRATIONS DIFFÉRENTES
→ QUANTITÉS DE SOLUTION DIFFÉRENTES**

Traitement industriel contrôlé → ACTIPOL®

Réseaux / environnement à pH plus modéré → BIOPOL®

8. VALIDATIONS INDUSTRIELLES ACTIPOL®

ACTIPOL® dispose de trois démonstrations particulièrement importantes sur installations réelles :

Essai	Application	Polluants
A	Site pétrochimique	H ₂ S + éthylmercaptan
B	STEP d'Achères — désodorisation	H ₂ S + méthylmercaptan
C	STEP d'Achères — traitement des boues	H ₂ S à concentration élevée

CES TROIS ESSAIS ONT ÉTÉ RÉALISÉS AVEC ACTIPOL® À 21,2 %, ET NON AVEC BIOPOL®.

9. ESSAI A — SITE PÉTROCHIMIQUE

Objet:

Dépollution d'un flux gazeux provenant de la sortie d'une unité locale de traitement des gaz de process chimique sur un important site américain implanté en France.

Effluent:

Débit : 1 000 m³/h

H₂S : 5,7 mg/m³ — 4,1 ppm

C₂H₅-SH : 130 mg/m³ — 51,2 ppm

Installation:

Colonne d'absorption industrielle existante :

hauteur 3 m • diamètre 60 cm • surface 0,28 m² • garnissage à plateaux • cheminée 40 m • pompe 0–25 m³/h.

Conditions:

Gaz : 1 000 m³/h

Recirculation : 7,5 m³/h

Charge

Eau : 600 L

ACTIPOL® 21,2 % : 42,17 kg, soit 9,07 kg de principe actif pur.

Charge prévue pour ≈ 32 h.

Fonctionnement effectif : 30 h → ≈ 30 000 m³ DE GAZ TRAITÉS

Résultats

H₂S → ABSENT EN SORTIE

C₂H₅-SH → ABSENT EN SORTIE

La démonstration valide, dans ses conditions opératoires, le traitement simultané **H₂S + éthylmercaptan** sur flux industriel continu.

Coût matières historiques : 20,95 € / 30 h, soit ≈ 0,00070 €/m³ de gaz traité.

Avec le coût matières actuel ACTIPOL® de 0,53 €/kg, la charge représenterait ≈ 22,35 €.

10. REJETS AQUEUX — ESSAI PÉTROCHIMIQUE

Les rejets de la colonne ont été étudiés sur un pilote expérimental de traitement biologique fourni par DEGREMONT.

Paramètre	Avant traitement biologique	Après traitement biologique
Aspect	Limpide, incolore	Incolore, légèrement trouble et jaunâtre
pH	10,9	8,3
Odeur	Légère odeur d'alcools	Aucune
DCO	691 mg/L	276 mg/L

RÉDUCTION OBSERVÉE DE DCO ≈ 60 %

Ces résultats documentent le comportement de l'effluent testé sous traitement biologique ; ils ne constituent pas à eux seuls une autorisation générale de rejet au milieu naturel.

11. STEP D'ACHÈRES — INSTALLATION PILOTE

Unité mobile de désodorisation :

laveur horizontal compact TAPFLO type EMS à injecteur — groupe CL10.

Caractéristiques :

- capacité utile : 1,6 m³
- hauteur : 2,5 m
- section : 1,6 × 1,6 m
- 2 couches de garnissage ordonné
- pH-mètre à deux seuils
- pompe doseuse : 0–10 L/h
- ventilateur : 0–12 000 m³/h
- alimentation gaz : 0–8 000 m³/h •
- circulation liquide : 0–50 m³/h
- dévésiculeur
- **stockage réactif : 500 L.**

Deux situations industrielles distinctes ont été testées.

12. ACHÈRES — ESSAI N°1 : POLISHING APRÈS BIODÉSODORISATION

Gaz provenant du maillage des capotages des bâches de couverture, après une unité de biodésodorisation sur tourbe humide dont l'efficacité était insuffisante.

GAZ POLLUÉ → BIODÉSODORISATION → H₂S / CH₃SH RÉSIDUELS → ACTIPOL® → GAZ POLI

Débit : 1 000 m³/h

Composition moyenne : H₂S = 35 mg/m³ • CH₃-SH = 4 mg/m³

Charge:**Eau : 400 L****ACTIPOL® 21,2 % : 55,7 kg, soit $\approx$ 12 kg de matière active pure****Durée:****48 h $\rightarrow$ $\approx$ 48 000 m³ DE GAZ****Contrôle analytique:**Analyses **toutes les 4 minutes** par chromatographie en phase gazeuse portable, détecteur FPD, isotherme à 60 °C.Mesures comparatives : **ENTRÉE $\leftrightarrow$ SORTIE****Résultats****H₂S < 0,020 ppm — inférieur à la limite de détection****CH₃-SH < 0,15 ppm — inférieur à la limite de détection****H₂S ET MÉTHYLMERCAPTAN NON DÉTECTÉS EN SORTIE AUX LIMITES ANALYTIQUES DE LA MÉTHODE UTILISÉE****Coût matières actuel : $55,7 \times 0,53 = 29,53$ € / 48 h, soit $\approx$ 0,00062 €/m³ de gaz traité, hors équipement, énergie, maintenance et exploitation.****13. ACHÈRES — ESSAI N°2 : GAZ ISSUS DU TRAITEMENT DES BOUES**Lors du séchage des boues, le H₂S entraînait notamment des phénomènes de corrosion.

L'objectif était son élimination du flux gazeux.

Débit : 1 000 m³/h**H₂S : 275 mg/m³****Charge :****Eau : 400 L****ACTIPOL® 21,2 % : 131,5 kg****Durée :****15 h $\rightarrow$ $\approx$ 15 000 m³ DE GAZ****Résultat :****H₂S : ABSENCE VALIDÉE EN SORTIE DE COLONNE PENDANT 15 h**La démonstration valide l'élimination du H₂S dans les conditions de l'essai avec une concentration initiale de **275 mg/m³**.**Coût matières : $131,5 \times 0,53 = 69,70$ € / 15 h, soit $\approx$ 0,00465 €/m³ de gaz traité, hors équipement et exploitation.****14. SYNTHÈSE DES VALIDATIONS**

Site / essai	Débit	Pollution initiale	Durée	Résultat
Pétrochimie	1 000 m ³ /h	H ₂ S 5,7 mg/m ³ + C ₂ H ₅ SH 130 mg/m ³	30 h	H ₂ S + C ₂ H ₅ SH absents
Achères n°1	1 000 m ³ /h	H ₂ S 35 mg/m ³ + CH ₃ SH 4 mg/m ³	48 h	H ₂ S < 0,020 ppm ; CH ₃ SH < 0,15 ppm
Achères n°2	1 000 m ³ /h	H ₂ S 275 mg/m ³	15 h	H ₂ S absent

**FAIBLE H₂S + FORTE PRÉSENCE DE MERCAPTAN → H₂S + MERCAPTAN EN POLISHING
→ CHARGE H₂S ÉLEVÉE**

Les essais valident, dans leurs conditions opératoires :

- H₂S
- mercaptans
- traitement simultané H₂S + mercaptans
- fonctionnement continu sur colonnes de lavage
- polishing après biodésodorisation • gaz de boues
- plusieurs niveaux de concentration
- suivi analytique documenté
- traitement biologique ultérieur des rejets aqueux lors de l'essai pétrochimique.

ACTIPOL® DISPOSE DONC D'UNE BASE EXPÉRIMENTALE INDUSTRIELLE DOCUMENTÉE.

15. ACTIPOL® EN STEP

Les validations permettent d'envisager ACTIPOL® pour :

- désodorisation
- polishing après traitement biologique
- gaz de capotage
- traitement/séchage des boues
- ouvrages confinés
- autres émissions contenant H₂S et mercaptans.

**GAZ CONTAMINÉ → CONTACTEUR ACTIPOL® → RÉACTION
→ SÉPARATION GAZ/LIQUIDE → GAZ TRAITÉ**

Les jus sont dirigés vers une filière adaptée, notamment vers la STEP lorsque leur compatibilité a été vérifiée.

16. ACTIPOL® EN POLISHING

L'essai Achères n°1 montre un positionnement particulièrement intéressant :

**TRAITEMENT BIOLOGIQUE PRINCIPAL → CHARGE SOUFRÉE RÉSIDUELLE
→ ACTIPOL® → SPÉCIFICATION FINALE**

ACTIPOL® n'a donc pas nécessairement vocation à remplacer une installation biologique existante.

Il peut assurer le traitement de finition lorsque :

- la charge varie
- le traitement biologique atteint ses limites
- des pics apparaissent
- des mercaptans persistent
- une qualité finale plus stricte est recherchée.

17. ACTIPOL® — TRAITEMENT DES BOUES

L'essai Achères n°2 valide l'intérêt du procédé pour des émissions issues du traitement des boues :

BOUES → TRAITEMENT / SÉCHAGE → GAZ CHARGÉ EN H₂S → ACTIPOL® → GAZ TRAITÉ

Objectifs :

- maîtrise des émissions
- réduction des nuisances
- protection des installations
- amélioration des conditions d'exploitation.

18. BIOPOL® DANS LES RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT

EAUX USÉES → ANAÉROBIE → SULFURES → H₂S → DÉGAZAGE → ODEURS / CORROSION / RISQUE

Deux stratégies doivent être distinguées :

Préventive : limiter la formation des sulfures.

Curative : traiter les sulfures/H₂S déjà formés.

BIOPOL® est principalement étudié dans cette seconde logique.

BIOPOL® : 5 % D'ACTIF • CARBONATE DE SODIUM • pH ≈ 10–10,5

Applications à étudier :

- postes de relevage
- regards stratégiques
- refoulements •
- zones de stagnation
- ruptures de charge
- arrivée STEP
- zones présentant des émissions H₂S identifiées.

MESURER → LOCALISER → TRAITER AU POINT PERTINENT → CONTRÔLER

BIOPOL® traite le soufre réduit **présent et accessible à la réaction**.

Il ne doit pas être assimilé à un inhibiteur permanent de la fermentation biologique.

19. BIOPOL® EN ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR

La formulation au carbonate et son pH plus modéré permettent d'étudier le traitement de matières organiques émettrices de H₂S.

MATIÈRE ORGANIQUE → FORMATION H₂S → PULVÉRISATION BIOPOL® → CONTACT → RÉACTION → RÉDUCTION POTENTIELLE DES ÉMISSIONS

Ces applications constituent un **axe de développement à valider spécifiquement** et ne doivent pas être confondues avec les validations industrielles **ACTIPOL®**.

20. CONFIGURATIONS INDUSTRIELLES

GAZ ODORANT → CONTACT GAZ / ACTIPOL® OU BIOPOL® → TRANSFERT H₂S ET MERCAPTANS → TRANSFORMATION CHIMIQUE → SÉPARATION GAZ / LIQUIDE → GAZ TRAITÉ

La mise en contact peut utiliser :

- colonne ou tour de lavage
- pulvérisation
- contacteur gaz/liquide
- boucle de recirculation
- combinaison de dispositifs.

Avec **ACTIPOL® dans une colonne de lavage**, le débit gazeux, le débit de recirculation liquide, la concentration en réactif, le temps de contact et le renouvellement de solution peuvent être réglés séparément.

Avec **BIOPOL® en pulvérisation**, la taille des gouttelettes, le débit, le temps de contact, la géométrie et la charge en H₂S deviennent déterminants.

LE DÉBIT DE RECIRCULATION NE DOIT PAS ÊTRE CONFONDU AVEC LA CONSOMMATION RÉELLE DE PRODUIT.

21. PARAMÈTRES NÉCESSAIRES AU DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement exige au minimum :

- débit de gaz
- H₂S entrée et cible
- mercaptans éventuels
- température
- pression
- humidité
- CO₂
- débit de recirculation • type de contacteur
- temps de fonctionnement • destination des effluents.

La première étape est de convertir la concentration gazeuse en masse de H₂S à traiter par unité de temps.

La stœchiométrie permet ensuite d'estimer le besoin théorique en principe actif, avant intégration :

- de l'efficacité de transfert
- du taux d'utilisation réel
- des composés concurrents
- des marges de fonctionnement.

22. BASES ÉCONOMIQUES

	ACTIPOL®	BIOPOL®
Coût matières solution	0,53 €/kg	0,14 €/kg
Besoin théorique / kg H ₂ S	≈ 32,3 kg	≈ 137 kg
Coût matières / kg H ₂ S	≈ 17,1 €	≈ 19,2 €

Les valeurs sont cohérentes avec nos bases retenues :

ACTIPOL® : $32,3 \times 0,53 \approx 17,1$ €/kg H₂S ;

BIOPOL® : $137 \times 0,14 \approx 19,2$ €/kg H₂S.

Il s'agit de **coûts matières**, et non de prix de vente.

Ils n'intègrent pas :

- fabrication
- conditionnement
- stockage
- transport
- dosage
- équipements
- énergie
- maintenance•
- main-d'œuvre
- marge industrielle.

Le choix **ACTIPOL®/BIOPOL®** repose donc avant tout sur :

MILIEU + pH + CONCENTRATION + PROCÉDÉ + MODE DE CONTACT

Exemples de dimensionnement théorique

Charge H ₂ S	ACTIPOL®	Coût matières	BIOPOL®	Coût matières
1 kg/j	≈ 32,3 kg/j	≈ 17,1 €/j	≈ 137 kg/j	≈ 19,2 €/j
5 kg/j	≈ 161,5 kg/j	≈ 85,6 €/j	≈ 685 kg/j	≈ 95,9 €/j

Les consommations industrielles doivent ensuite être confirmées.

23. INTÉGRATION DES EFFLUENTS ET GESTION DES JUS DE LAVAGE

Lors du traitement, le H₂S et les mercaptans transférés dans la solution liquide réagissent avec la matière active.

Le procédé n'est pas conçu pour régénérer ultérieurement le H₂S ou les mercaptans captés.

La purge contient donc la matière issue des réactions chimiques ainsi que les constituants résiduels de la solution de lavage.

Dans le contexte d'une STEP, l'une des possibilités consiste à diriger ces jus vers la filière de traitement des eaux de l'installation.

Cette intégration **ne doit pas être considérée comme automatique**.

Elle doit être validée expérimentalement en fonction notamment :

- du débit de purge
- du pH
- de la DCO
- de la salinité
- de la charge soufrée
- des concentrations résiduelles en réactifs
- de l'impact éventuel sur la biomasse de la STEP
- des prescriptions réglementaires applicables au site.

Cette caractérisation fait naturellement partie d'un programme d'essai pilote.

DONNÉE EXPÉRIMENTALE DISPONIBLE

Lors de la démonstration pétrochimique :

- pH : 10,9 → 8,3
- DCO : 691 → 276 mg/L
- Odeur : légère → aucune
- Réduction observée de DCO ≈ 60 %

L'absence de régénération volontaire d'un courant gazeux riche en H₂S ou mercaptans peut constituer un avantage opérationnel.

24. POSITIONNEMENT COMPARATIF FACE AUX TECHNOLOGIES CONVENTIONNELLES

Les technologies de STEP ne répondent pas toutes au même besoin.

Certaines préviennent la formation du H₂S, d'autres interviennent sur les sulfures dissous, tandis que d'autres assurent principalement le traitement curatif des émissions gazeuses déjà formées.

ACTIPOL® et BIOPOL® se positionnent dans une logique de **traitement chimique curatif des composés soufrés réduits déjà présents**.

25. SELS FERRIQUES

Principe

Les sels de fer sont couramment employés dans les réseaux d'assainissement et les stations d'épuration afin de réduire la concentration en sulfures dissous.

Le mécanisme repose principalement sur la réaction du fer avec les sulfures et la formation de composés soufrés peu solubles.

Avantages

- technologie connue et largement utilisée ;
- traitement efficace des sulfures dissous dans des conditions adaptées ;
- injection relativement simple ;
- possibilité d'intervention directement dans la phase liquide.

Limites

- consommation continue de réactif ;
- production supplémentaire de solides et incorporation du fer et du soufre dans les boues ;
- performance dépendante des conditions physico-chimiques du milieu ;
- action principalement dirigée vers les sulfures ;
- intérêt plus limité pour le traitement direct des mercaptans gazeux ;
- ne constitue pas directement un traitement des émissions gazeuses déjà dégagées.

Positionnement de BIOPOL®

BIOPOL® repose sur un mécanisme différent.

Il ne recherche pas la précipitation du soufre sous forme de sulfure métallique mais la transformation chimique des composés soufrés captés.

Son intérêt potentiel se situe notamment lorsqu'un traitement curatif du H₂S et des mercaptans est recherché sans production volontaire d'un précipité métallique.

26. NITRATES — CONTRÔLE BIOLOGIQUE DE LA FORMATION DU H₂S

Principe

L'injection de nitrates est utilisée principalement dans les réseaux d'assainissement pour limiter biologiquement la formation de sulfures en conditions anaérobies.

Cette technique agit donc essentiellement en prévention, avant que le H₂S ne soit émis.

Avantages

- réduction de la formation des sulfures en amont ;
- technologie adaptée à certains réseaux d'assainissement ;
- possibilité de traitement sur des tronçons éloignés de la STEP ;
- limitation des nuisances avant leur arrivée sur les ouvrages.

Limites

- consommation continue de réactif ;
- efficacité dépendante de l'activité biologique, du temps de séjour et des caractéristiques du réseau ;
- absence d'action chimique directe sur le H₂S déjà présent dans l'air ;
- action limitée sur les mercaptans déjà formés.

Positionnement de BIOPOL®

Les deux technologies répondent à des objectifs différents et peuvent être complémentaires.

NITRATES → PRÉVENIR LA FORMATION DES SULFURES

BIOPOL® → TRAITER CHIMIQUEMENT LES COMPOSÉS SOUFRÉS DÉJÀ FORMÉS

27. OXYDANTS — HYPOCHLORITE DE SODIUM, PEROXYDE D'HYDROGÈNE, OZONE

Principe

Les procédés oxydants transforment chimiquement le H₂S et d'autres composés soufrés en espèces plus oxydées.

L'hypochlorite de sodium est notamment utilisé comme réactif dans certaines installations de lavage chimique des gaz.

Avantages

- réaction rapide ;
- technologies industrielles largement connues ;
- efficacité élevée sur le H₂S lorsque les conditions de réaction sont correctement maîtrisées ;
- intégration possible dans des tours de lavage existantes.

Limites

Selon l'oxydant et les conditions d'exploitation :

- consommation dépendante de la charge polluante et des autres espèces oxydables ;
- caractère oxydant du produit à prendre en compte ;
- risques de corrosion ou d'incompatibilité avec certains matériaux ;
- formation possible de sous-produits d'oxydation ;
- pour l'hypochlorite, présence d'une chimie chlorée et possibilité de formation de sous-produits chlorés ;
- comportement différent selon la nature des mercaptans et les conditions opératoires.

Positionnement d'ACTIPOL®

ACTIPOL® se différencie fondamentalement de ces technologies par son **mécanisme non oxydant**.

La matière active d'ACTIPOL® réagit chimiquement avec les composés soufrés réduits captés, sans rechercher leur destruction par oxydation.

Cette différence constitue un axe d'étude particulièrement intéressant pour les STEP utilisant actuellement un laveur à l'hypochlorite de sodium.

Dans une installation adaptée, ACTIPOL® peut être évalué comme réactif alternatif dans un laveur gaz/liquide existant, sous réserve de vérifier :

- compatibilité des matériaux
- paramètres hydrauliques
- transfert gaz/liquide
- conditions chimiques nécessaires à la réaction.

Une telle substitution doit être validée par essai pilote ou industriel.

28. CHARBON ACTIF

Principe

Le charbon actif traite les composés odorants présents dans la phase gazeuse par adsorption sur une surface poreuse.

Des charbons spécifiques ou imprégnés peuvent être utilisés pour améliorer la capacité de traitement du H₂S et d'autres composés odorants.

Avantages

- technologie simple ;
- particulièrement adaptée au traitement d'air ;
- bonne efficacité pour de faibles concentrations lorsque le média est correctement dimensionné ;
- absence de circuit liquide de lavage.

Limites

- capacité d'adsorption limitée ;
- saturation progressive du média ;
- remplacement ou régénération périodique ;
- performance dépendante de l'humidité, de la composition du gaz et du type de charbon ;
- coût croissant lorsque la charge massique devient importante ;
- gestion du charbon usagé.

Positionnement d'ACTIPOL®

ACTIPOL® ne fonctionne pas par adsorption.

Dans une tour de lavage, les composés soufrés sont transférés de la phase gazeuse vers la phase liquide puis transformés chimiquement.

ACTIPOL® peut donc être envisagé pour traiter une charge soufrée en continu, tandis que le charbon actif peut notamment conserver un intérêt comme traitement de finition ou de sécurité lorsque de très faibles concentrations résiduelles sont recherchées.

29. BIOFILTRATION ET TRAITEMENTS BIOLOGIQUES DE L'AIR

Principe

Les biofiltres, biolaveurs et autres procédés biologiques utilisent des microorganismes capables de métaboliser certains composés soufrés.

Pour le H₂S, le traitement conduit généralement à la formation de soufre élémentaire et/ou de sulfates selon les conditions biologiques et d'oxygénation.

Avantages

- consommation réduite de réactifs chimiques dans de nombreuses applications ;
- technologie bien adaptée à certains effluents gazeux continus ;
- intérêt environnemental et économique lorsque les charges restent compatibles avec la capacité biologique.

Limites

- nécessité de maintenir des conditions favorables à la biomasse ;
- sensibilité possible aux variations brutales de charge ;
- temps nécessaire au développement ou à la récupération de l'activité biologique ;
- contrôle de l'humidité, du pH et des nutriments ;
- risques de colmatage selon les technologies ;
- performances variables selon la nature des composés organosoufrés.

Positionnement d'ACTIPOL®

ACTIPOL® apporte une réponse purement chimique, indépendante du développement d'une biomasse spécialisée.

Il peut être étudié lorsqu'une réponse rapide à une charge soufrée est nécessaire ou lorsque les conditions d'exploitation sont peu compatibles avec un procédé biologique.

ACTIPOL® et un traitement biologique peuvent également être envisagés de manière complémentaire.

L'essai d'Achères n°1 en constitue une configuration représentative :

BIODÉSODORISATION → CHARGE SOUFRÉE RÉSIDUELLE → ACTIPOL® → POLISHING

30. LAVEURS CHIMIQUES CONVENTIONNELS

Principe

Les tours de lavage assurent d'abord un transfert des polluants de la phase gazeuse vers une phase liquide.

Le réactif présent dans cette phase liquide transforme ensuite le polluant capté.

Le laveur constitue donc essentiellement **l'équipement de transfert gaz/liquide** ; ses performances chimiques dépendent en grande partie de la nature du réactif employé et des conditions opératoires.

Avantages

- technologie industrielle éprouvée ;
- efficacité élevée lorsque transfert et réaction sont correctement dimensionnés ;
- particulièrement adaptée aux émissions confinées ;
- possibilité de recirculation de la solution ;
- équipements déjà présents dans de nombreuses installations de désodorisation.

Limites

- consommation de réactifs ;
- production d'un effluent liquide à gérer ;
- nécessité de maîtriser pH, concentration et paramètres hydrauliques ;
- entretien des pompes, buses, garnissages et circuits ;
- performance dépendante du réactif utilisé.

Positionnement d'ACTIPOL®

ACTIPOL® n'est pas une technologie concurrente de la tour de lavage elle-même.

LE LAVEUR = ÉQUIPEMENT DE TRANSFERT GAZ/LIQUIDE

ACTIPOL® = RÉACTIF CHIMIQUE DE TRAITEMENT

Lorsqu'une STEP dispose déjà d'une tour de lavage utilisant de l'hypochlorite de sodium, une voie de développement consiste donc à étudier la possibilité d'utiliser ACTIPOL® comme réactif alternatif, en conservant tout ou partie de l'équipement existant.

Cette approche pourrait limiter les modifications d'infrastructure, mais doit être vérifiée au cas par cas par une étude technique et un essai sur site.

31. SYNTHÈSE COMPARATIVE

Technologie	Fonction principale	H ₂ S déjà formé	Mercaptans déjà formés	Principe	Principal point de vigilance
Sels ferriques	Sulfures en phase liquide	Oui, principalement dissous	Limité	Précipitation / fixation	Consommation de fer et boues supplémentaires
Nitrates	Prévention de la formation	Pas directement dans le gaz	Limité	Contrôle biologique	Conditions biologiques et hydrauliques
Hypochlorite /	Traitement	Oui	Variable selon	Oxydation	Caractère oxydant et

Technologie	Fonction principale	H ₂ S déjà formé	Mercaptans déjà formés	Principe	Principal point de vigilance
oxydants	chimique curatif		procédé		sous-produits possibles
Charbon actif	Composés soufrés gazeux	Oui	Oui selon média	Adsorption	Saturation, remplacement ou régénération
Biofiltration	Traitement biologique des gaz	Oui	Variable	Biodégradation / bio-oxydation	Stabilité de la biomasse et variations de charge
Laveur chimique	Transfert et traitement gaz/liquide	Oui	Oui selon réactif	Absorption + réaction	Réactif, hydraulique et effluents
BIOPOL® 5 %	Traitement chimique curatif — réseaux / environnement	Oui	Oui	Réaction chimique non oxydante	Validation selon application, transfert et gestion des jus
ACTIPOL® 21,2 %	Traitement chimique curatif — formulation concentrée	Oui	Oui	Réaction chimique non oxydante	Transfert gaz/liquide et gestion des jus

Lecture du tableau

Trois grandes familles fonctionnelles doivent être distinguées.

1. Prévenir la formation des sulfures

Les nitrates interviennent principalement en amont afin de limiter biologiquement la formation des sulfures dans le réseau.

2. Capter, fixer, adsorber ou biologiquement traiter les composés soufrés

Les sels ferriques, le charbon actif et les procédés biologiques utilisent des mécanismes différents et répondent à des configurations spécifiques.

3. Transformer chimiquement les composés soufrés déjà formés

Les laveurs utilisant des oxydants et **ACTIPOL®** appartiennent à cette logique curative, mais reposent sur des mécanismes chimiques différents.

L'hypochlorite et les autres oxydants recherchent une oxydation des composés soufrés.

ACTIPOL® repose au contraire sur une réaction chimique non oxydante avec le H₂S et les mercaptans captés dans la phase liquide.

Cette différence constitue le principal élément de différenciation du procédé.

- **NITRATES → PRÉVENIR LA FORMATION**
- **SELS FERRIQUES → FIXER LES SULFURES**
- **CHARBON ACTIF → ADSORBER**
- **BIOFILTRATION → BIODÉGRADER / BIO-OXYDER**
- **HYPOCHLORITE → OXYDER**

ACTIPOL® / BIOPOL® → TRANSFORMER CHIMIQUEMENT SANS OXYDATION

32. POSITIONNEMENT DIFFÉRENCIANT D'ACTIPOL®

ACTIPOL® ne doit pas être présenté comme le concurrent systématique de l'ensemble des technologies précédentes.

Son positionnement est plus précisément celui d'un **réactif chimique curatif destiné aux composés soufrés déjà formés**.

Son intérêt apparaît notamment lorsque :

- le H₂S est déjà présent dans le flux gazeux ;
- des mercaptans sont également présents ;
- une réponse chimique rapide est recherchée ;
- une tour de lavage gaz/liquide existe déjà ;
- l'exploitant souhaite étudier une alternative à un traitement oxydant ;
- la gestion des jus de lavage peut être intégrée à la filière de la STEP après validation.

Le positionnement repose principalement sur cinq caractéristiques :

1. UNE CHIMIE NON OXYDANTE

ACTIPOL® ne repose ni sur l'hypochlorite, ni sur le peroxyde, ni sur l'ozone.

2. UNE ACTION CURATIVE

Le procédé intervient sur les composés soufrés déjà formés plutôt que sur la seule prévention de leur apparition.

3. UNE ACTION SUR H₂S ET MERCAPTANS

Cette caractéristique est particulièrement intéressante dans les installations où les nuisances olfactives ne sont pas dues au seul H₂S.

4. UNE INTÉGRATION POTENTIELLE DANS DES ÉQUIPEMENTS EXISTANTS

Une tour de lavage existante peut constituer une base d'intégration intéressante, sous réserve de validation technique.

5. L'ABSENCE DE RÉGÉNÉRATION VOLONTAIRE DES POLLUANTS CAPTÉS

Le principe recherché est la transformation chimique du H₂S et des mercaptans dans la phase liquide et non leur récupération puis leur relargage sous leur forme initiale.

33. VALIDATION INDUSTRIELLE D'UNE NOUVELLE APPLICATION

Le positionnement précédent ne dispense pas d'une validation sur site.

Pour une STEP disposant déjà d'une installation de lavage chimique, une campagne pilote **ACTIPOL®** devrait permettre de déterminer :

- la concentration de H₂S à l'entrée et à la sortie ;
- les concentrations de mercaptans à l'entrée et à la sortie ;

- le débit d'air traité ;
- la consommation réelle d'ACTIPOL® ;
- la durée de vie utile de la solution en recirculation ;
- les paramètres de fonctionnement optimaux ;
- la qualité des gaz traités ;
- la composition des jus de purge ;
- leur compatibilité avec la filière biologique ;
- les besoins éventuels d'adaptation de l'équipement existant.

Ces données permettront ensuite d'établir un bilan technique et économique directement comparable au procédé actuellement utilisé par l'exploitant.

34. SÉCURITÉ

Le traitement chimique du H₂S ne remplace jamais les mesures de prévention liées à sa toxicité.

Selon le site :

- **DÉTECTION H₂S**
- **CONTRÔLE ATMOSPHÉRIQUE**
- **VENTILATION**
- **EPI**
- **PROCÉDURES ESPACES CONFINÉS**
- **SÉCURISATION DES OPÉRATEURS**
- **CONTRÔLE AVANT INTERVENTION**

L'ODEUR NE DOIT JAMAIS ÊTRE UTILISÉE COMME MOYEN DE DÉTECTION OU DE SÉCURITÉ.

35. NIVEAUX DE VALIDATION

A — VALIDÉ INDUSTRIELLEMENT AVEC ACTIPOL®

- H₂S
- éthylmercaptan
- méthylmercaptan
- H₂S + mercaptans
- polishing après biodésodorisation
- gaz de boues
- fonctionnement continu
- installations industrielles
- suivi analytique Achères
- traitement biologique des rejets aqueux étudié sur pilote.

B — ÉTABLI PAR CALCULS

- Stœchiométrie
- équivalences
- matière active
- conversion ACTIPOL®/BIOPOL®
- coûts matières.

C — À VALIDER SUR SITE

BIOPOL® en réseau

- points d'injection
- fréquence de dosage
- performances hydrauliques
- rendement réel.

D — DÉVELOPPEMENT ENVIRONNEMENTAL

Pulvérisation extérieure

- autres matières organiques
- écotoxicité
- comportement des jus
- dosage réel
- durée d'efficacité
- fréquence éventuelle de retraitement.

36. CONTINUITÉ ACTIPOLISH®

- - RÉSEAUX D'ASSAINISSEMENT → BIOPOL®
- - STEP / Désodorisation → ACTIPOL®
- - TRAITEMENT DES BOUES → ACTIPOL®
- - BIOGAZ / POLISHING → ACTIPOL® OU BIOPOL® SELON LE MILIEU
- - ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR → BIOPOL®

Une même plateforme permet ainsi d'adapter la formulation sans modifier le principe chimique fondamental.

37. MÉTHODOLOGIE D'INDUSTRIALISATION

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

* **ANALYSER** : polluants • concentrations • débits • variations • milieu.

* **CALCULER** : charge massique • consommation stœchiométrique.

* **TESTER** : réaction et transfert sur le milieu réel.

* **PILOTER** : dosage • contact • rendement • durée • H₂S entrée/sortie • mercaptans • stabilité • effluents.

* **DIMENSIONNER** : stockage • injection • débits liquide/gaz • volume de contact • recirculation • contacteur • pulvérisation • consommation.

* **INDUSTRIALISER** : sécurité • exploitation • coûts • maintenance • contrôle analytique • environnement • comparaison économique avec les solutions existantes.

Le choix définitif ne peut être établi sur le seul principe chimique.

Il doit intégrer la charge réelle en H₂S et mercaptans, les performances recherchées, les équipements existants, la consommation de réactifs, la maintenance et la gestion des effluents.

38. CONCLUSION ET POSITIONNEMENT FINAL

Les technologies conventionnelles de contrôle des composés soufrés dans les réseaux d'assainissement et les STEP ne sont pas nécessairement concurrentes : elles répondent souvent à des fonctions différentes.

- Le nitrate intervient principalement en prévention dans les réseaux.
- Les sels ferriques agissent sur les sulfures en phase liquide.
- Le charbon actif et les biofiltres traitent principalement la phase gazeuse.
- Les laveurs chimiques permettent un transfert gaz/liquide associé à une réaction adaptée au réactif choisi.

Dans cet ensemble, **ACTIPOL® 21,2 %** se positionne comme un réactif chimique curatif et non oxydant destiné au traitement du **H₂S et des mercaptans déjà formés**.

Son intérêt particulier pour une STEP équipée d'un laveur chimique réside notamment dans la possibilité d'étudier son utilisation comme alternative à un réactif oxydant tel que l'hypochlorite de sodium, tout en conservant potentiellement une partie importante de l'infrastructure existante.

La pertinence technique, environnementale et économique de cette substitution doit être établie sur les conditions réelles du site par une campagne pilote.

BIOPOL®, formulation au carbonate et à pH plus modéré, est destiné au développement des applications **réseaux d'assainissement et environnementales**, dont la pulvérisation extérieure.

ACTIPOLISH® = ACTIPOL® + BIOPOL®

UNE PLATEFORME — DEUX FORMULATIONS COMPLÉMENTAIRES UNE MÊME CHIMIE DU SOUFRE RÉDUIT

ACTIPOL® = LA BASE INDUSTRIELLE VALIDÉE

BIOPOL® = L'EXTENSION VERS LES RÉSEAUX ET L'ENVIRONNEMENT À VALIDER

La stratégie **ACTIPOLISH®** repose sur un principe :

TRAITER LE SOUFRE RÉDUIT LÀ OÙ IL EST RÉELLEMENT PRÉSENT

et sur une démarche :

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

ACTIPOLISH®

Du traitement industriel des émissions soufrées à la maîtrise du soufre réduit dans l'assainissement et l'environnement.

PARTIE II — ANALYSE ÉCONOMIQUE — STEP, ASSAINISSEMENT & ENVIRONNEMENT

Analyse économique du traitement des composés soufrés réduits et comparaison avec les procédés conventionnels

1. OBJET DU DOSSIER

Le présent dossier constitue un complément autonome au dossier principal :

« Plateforme ACTIPOLISH® — Stations d'épuration — Assainissement — Environnement naturel »

Il a pour objectif d'analyser le positionnement technique et économique d'ACTIPOL® et BIOPOL® face aux principales technologies utilisées pour le traitement du H₂S, des mercaptans et des nuisances olfactives :

**Javel / hypochlorite — peroxyde d'hydrogène — ozone — permanganate
— sels de fer — nitrates — charbon actif — lavage chimique — traitements biologiques.**

La comparaison économique ne doit pas se limiter au prix au kilogramme des différents produits.

Elle doit prendre en compte :

prix du produit × quantité réellement consommée + énergie + équipements + maintenance + effluents + déchets.

L'indicateur économique principal retenu est :

€/kg DE H₂S RÉELLEMENT ÉLIMINÉ

2. PLATEFORME ACTIPOLISH®

ACTIPOLISH® = ACTIPOL® + BIOPOL®

Les deux formulations reposent sur la même chimie de substitution des composés soufrés réduits.

	ACTIPOL®	BIOPOL®
Concentration active	21,2 %	5 %
Base alcaline	Soude	Carbonate
pH	≈ 13	≈ 10–10,5
Coût matières solution	0,53 €/kg	0,14 €/kg
Principe	Substitution / fixation	Substitution / fixation
Oxydant	Non	Non
Domaine privilégié	Industrie / STEP	Réseaux / CO ₂ / extérieur / environnement

Les essais industriels historiques disponibles ont été réalisés avec **ACTIPOL®**.

Les performances de **BIOPOL®** doivent être validées séparément dans chaque nouvelle application.

3. BASE STœCHIO MÉTRIQUE ACTIPOLISH®

Pour le H₂S, la base de calcul retenue est : **1 kg H₂S → 6,853 kg de principe actif pur**

3.1 ACTIPOL® 21,2 % :

6,853 / 0,212 = 32,33 kg ACTIPOL®/kg H₂S

Coût matières : $32,33 \times 0,53 = 17,13$ €/kg H₂S

3.2 BIOPOL® 5 % :

6,853 / 0,05 = 137,06 kg BIOPOL®/kg H₂S

Coût matières : $137,06 \times 0,14 = 19,19$ €/kg H₂S

4. DIFFÉRENCE FONDAMENTALE : RÉACTION CIBLÉE ET OXYDATION

ACTIPOL® et **BIOPOL®** sont dimensionnés à partir de la quantité de composés soufrés réduits à traiter selon leur stœchiométrie de réaction.

Les procédés utilisant :

- hypochlorite ;
- H₂O₂ ;
- ozone ;
- permanganate ;

reposent au contraire sur une **oxydation**.

Dans un effluent réel, l'oxydant peut également réagir avec :

- matières organiques ;
- autres composés réduits ;

- composés azotés ;
- sulfures intermédiaires ;
- autres espèces oxydables.

La consommation industrielle d'un oxydant doit donc être considérée comme :

BESOIN THÉORIQUE + EXCÈS NÉCESSAIRE

L'excès dépend directement de la matrice réelle et du niveau d'abattement recherché.

Il ne peut donc pas être fixé universellement.

Pour **ACTIPOL®** et **BIOPOL®**, le dimensionnement repose sur la **charge soufrée ciblée**, avec validation industrielle du contact, du mélange, de la cinétique et du temps de réaction.

5. JAVEL / HYPOCHLORITE DE SODIUM

La Javel est l'un des procédés conventionnels les plus utilisés pour l'oxydation du H₂S et de certains composés odorants.

Pour comparer correctement son coût à **ACTIPOL®**, il convient de distinguer :

1 — BESOIN STOECHIMÉTRIQUE

puis

2 — EXCÈS D'OXYDANT NÉCESSAIRE EN CONDITIONS RÉELLES

6. STOECHIMÉTRIE THÉORIQUE DE LA JAVEL

Pour une oxydation poussée du H₂S jusqu'au sulfate, la réaction peut être schématisée :



La masse molaire du H₂S est d'environ : **34,08 g/mol**

La masse molaire du NaClO est d'environ : **74,44 g/mol**

Il faut théoriquement :

$$4 \times 74,44 = 297,76 \text{ g NaClO}$$

pour : 34,08 g H₂S.

Soit $\approx 8,74 \text{ kg NaClO pur/kg H}_2\text{S}$ Arrondi de calcul : $\approx 8,75 \text{ kg NaClO/kg H}_2\text{S}$

7. PASSAGE À UNE JAVEL COMMERCIALE

Prenons comme base illustrative une solution 47° Chlorométrique contenant : **12,5 % de NaClO actif**

La quantité théorique de solution nécessaire devient : $8,75 / 0,125 = 70 \text{ kg de solution Javel/kg H}_2\text{S}$

Cette quantité correspond uniquement à la **stœchiométrie théorique**.

Elle ne tient pas encore compte de la demande oxydante réelle de l'effluent.

8. JAVEL : THÉORIE + EXCÈS

La consommation réelle peut être représentée par :

$$\text{JAVEL RÉELLE} = 70 \text{ kg} \times (1 + \text{TAUX D'EXCÈS})$$

L'excès réel doit être déterminé sur le site.

À titre de simulation :

Excès	Javel 12,5 % nécessaire/kg H ₂ S
0 % — théorie	70,0 kg
+10 %	77,0 kg
+25 %	87,5 kg
+50 %	105,0 kg
+75 %	122,5 kg
+100 %	140,0 kg

Ces pourcentages constituent des **scénarios de calcul**, et non des consommations universelles.

9. COÛT JAVEL FACE À ACTIPOL®

En prenant pour illustration une Javel 12,5 % à : **0,37 €/kg de solution**
on obtient :

Traitement	Quantité/kg H ₂ S	Prix/kg	Coût/kg H ₂ S
ACTIPOL®	32,33 kg	0,53 €	17,13 €
Javel — théorie	70,0 kg	0,37 €	25,90 €
Javel +10 %	77,0 kg	0,37 €	28,49 €
Javel +25 %	87,5 kg	0,37 €	32,38 €
Javel +50 %	105,0 kg	0,37 €	38,85 €
Javel +75 %	122,5 kg	0,37 €	45,33 €
Javel +100 %	140,0 kg	0,37 €	51,80 €

LECTURE IMMÉDIATE

ACTIPOL® : 17,13 €/kg H₂S

contre, dans cette simulation :

Javel théorique : 25,90 €/kg H₂S

et :

Javel avec +50 % d'excès : 38,85 €/kg H₂S.

Le prix réel de Javel du site doit naturellement remplacer le prix illustratif retenu ici.

10. POURQUOI L'EXCÈS DE JAVEL PEUT DEVENIR IMPORTANT

La Javel n'est pas sélective du seul H₂S ou des mercaptans.

Elle peut être consommée par les autres matières oxydables présentes.

On peut donc écrire :

CONSOMMATION JAVEL = STOECHIOMÉTRIE H₂S + DEMANDE OXYDANTE PARASITE + MARGE DE TRAITEMENT

C'est précisément pourquoi la consommation réelle doit être mesurée sur l'installation.

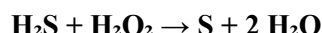
La large réactivité de la Javel peut cependant constituer un avantage lorsque l'objectif recherché est simultanément :

- oxydation de plusieurs contaminants ;
- désodorisation générale ;
- désinfection.

11. PEROXYDE D'HYDROGÈNE — H₂O₂

Le peroxyde d'hydrogène constitue une autre voie d'oxydation du H₂S.

Une réaction simplifiée peut être représentée :



Le besoin théorique est approximativement : **1 kg H₂O₂/kg H₂S**

La consommation réelle peut cependant être supérieure selon :

- la demande oxydante ;
- le pH ;
- la cinétique ;
- les contaminants présents ;
- le degré d'oxydation recherché.

Les ordres de grandeur documentaires étudiés peuvent évoluer : **≈ 1 à >5 kg H₂O₂/kg H₂S** selon les conditions.

La comparaison économique devient :

$$\text{COÛT H}_2\text{O}_2/\text{kg H}_2\text{S} = \text{CONSOMMATION RÉELLE} \times \text{PRIX H}_2\text{O}_2 \text{ ACTIF}$$

Il est donc essentiel de connaître simultanément :

$$\text{concentration commerciale} + \text{prix livré} + \text{consommation réelle.}$$

12. PERMANGANATE — KMnO₄

Le permanganate est un oxydant puissant.

Des données documentaires historiques donnent, pour certaines applications, des consommations pratiques de l'ordre de :

$$\approx 6 \text{ à } 7 \text{ kg KMnO}_4/\text{kg H}_2\text{S}$$

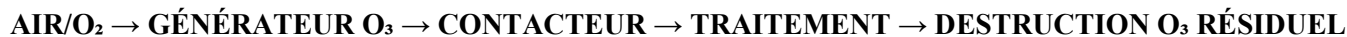
Le coût devient donc :

$$6 \text{ à } 7 \times \text{prix du kg de KMnO}_4$$

Son intérêt économique dépend fortement du prix du réactif et de la charge permanente à traiter.

13. OZONE — O₃

L'ozone est produit directement sur le site :



Des travaux étudiés montrent des rapports réactionnels de l'ordre de : **≈ 2,0 à 3,7 mol O₃/mol H₂S**

avec des taux d'injection pouvant être supérieurs lorsque l'on recherche une concentration résiduelle extrêmement faible.

Le coût réel doit intégrer :

- électricité ;
- oxygène ou préparation de l'air ;
- générateur ;
- contacteur ;
- transfert ;
- destruction de l'ozone résiduel ;
- maintenance ;
- amortissement du CAPEX.

Ainsi :

$$\text{COÛT OZONE} = \text{DOSE O}_3 + \text{ÉNERGIE} + \text{CAPEX} + \text{MAINTENANCE}$$

14. CAS CHIFFRÉS — H₂S ET MERCAPTANS

Afin de comparer les procédés sur une base commune, deux familles de composés soufrés réduits doivent être considérées séparément :

H₂S et mercaptans.

ACTIPOL® est intégré comme référence dans les deux cas.

14.1 - CAS H₂S — BASE DE COMPARAISON

Pour permettre une lecture directe, prenons comme base :

1 kg H₂S à éliminer

ACTIPOL® 21,2 % : Besoin : 32,33 kg ACTIPOL®/kg H₂S

Prix matières : 0,53 €/kg ACTIPOL® soit 17,13 €/kg H₂S éliminé

Cette valeur constitue la référence ACTIPOL®.

14.2 - COMPARAISON AVEC LA JAVEL — H₂S

Pour une oxydation poussée du H₂S, le besoin théorique retenu est : $\approx 8,75 \text{ kg NaClO actif/kg H}_2\text{S}$

Avec une Javel à 12,5 % : $8,75 / 0,125 = 70 \text{ kg de solution/kg H}_2\text{S}$

En prenant comme hypothèse illustrative : Javel = 0,37 €/kg de solution

on obtient :

Procédé	Quantité/kg H ₂ S	Coût/kg H ₂ S
ACTIPOL®	32,33 kg	17,13 €
Javel — théorie	70,0 kg	25,90 €
Javel +25 % d'excès	87,5 kg	32,38 €
Javel +50 %	105,0 kg	38,85 €
Javel +75 %	122,5 kg	45,33 €
Javel +100 %	140,0 kg	51,80 €

Les taux d'excès constituent des scénarios de calcul.

L'excès réel doit être déterminé sur le site en fonction de la demande oxydante de l'effluent.

Lecture directe :ACTIPOL® : 17,13 €/kg H₂S
contre :
Javel théorique : 25,90 €/kg H₂S
Javel +50 % : 38,85 €/kg H₂S
dans les hypothèses économiques retenues.

14.3 - AUTRES OXYDANTS — H₂S

La même méthode doit être appliquée aux autres oxydants :



Besoin théorique simplifié :

$$\approx 1 \text{ kg H}_2\text{O}_2/\text{kg H}_2\text{S}$$

La consommation pratique peut être supérieure en fonction de la demande oxydante et de l'objectif final.



Des données documentaires historiques indiquent, pour certaines applications :

$$\approx 6 \text{ à } 7 \text{ kg KMnO}_4/\text{kg H}_2\text{S}$$



La consommation dépend de la stœchiométrie, du transfert gaz/liquide, de la demande oxydante et de la concentration résiduelle recherchée.

Le coût doit également intégrer :

production O₃ + électricité + O₂/air + CAPEX + maintenance.

Ainsi, la comparaison doit toujours être ramenée à : **€/kg H₂S RÉELLEMENT ÉLIMINÉ**

14.4 - CAS MERCAPTAN — ÉTHYLMERCAPTAN

Débit gazeux : 1 500 m³/h

Éthylmercaptan : 250 mg/m³

Charge : $1\,500 \times 250 = 375\,000$ mg/h soit : 0,375 kg Et-SH/h

14.5 - ACTIPOL® — TRAITEMENT DE ÉTHYLMERCAPTAN

La base ACTIPOL® retenue pour l'éthylmercaptan est :

8,86 kg ACTIPOL®/kg Et-SH

Pour :

0,375 kg EtSH/h

la consommation est : $0,375 \times 8,86 = 3,32$ kg ACTIPOL®/h

Au coût matières de : **0,53 €/kg** : le coût devient : $3,32 \times 0,53 = 1,76$ €/h

soit : **ACTIPOL® = 4,70 €/kg Et-SH éliminé**

14.6 - COMPARAISON SUR LE CAS ÉTHYLMERCAPTAN

Des anciennes évaluations réalisées pour la même charge avaient donné :

Procédé	Consommation estimée	Coût indicatif/h	Coût ramené au kg Et-SH
---------	----------------------	------------------	-------------------------

ACTIPOL®	3,32 kg/h	1,76 €/h	4,70 €/kg Et-SH
Javel 47°	≈ 50–70 L/h	≈ 50–71 €/h	≈ 133–189 €/kg EtS-H
H ₂ O ₂ 130 volumes	≈ 3–4 L/h	≈ 15–20 €/h	≈ 40–53 €/kg Et-SH
ClO ₂ *	≈ 1,2 kg/h actif	≈ 3–5 €/h	≈ 8–13 €/kg Et-SH

*Le cas ClO₂ reposait sur des hypothèses particulières de concentration et de préparation et doit être revérifié avant utilisation commerciale.

Les anciennes valeurs Javel et H₂O₂ doivent également être considérées comme des **ordres de grandeur issus d'une étude antérieure** et non comme des consommations universelles.

14.7 - DOUBLE POSITIONNEMENT ACTIPOL®

Les deux exemples mettent en évidence les deux fonctions essentielles d'ACTIPOL® :

H₂S

32,33 kg ACTIPOL®/kg H₂S

17,13 €/kg H₂S

Éthylmercaptan

8,86 kg ACTIPOL®/kg Et-SH

4,70 €/kg Et-SH

Ces coûts correspondent au **coût matières ACTIPOL® seul**, sur la base de **0,53 €/kg de solution**.

14.8 - PRINCIPE DE COMPARAISON

Pour ACTIPOL® :

CHARGE H₂S / R-SH → STOECHIOMÉTRIE → ACTIPOL® → COÛT

Pour les procédés oxydants :

**CHARGE H₂S / R-SH → STOECHIOMÉTRIE THÉORIQUE → EXCÈS NÉCESSAIRE →
CONCENTRATION COMMERCIALE → CONSOMMATION RÉELLE → COÛT RÉEL**

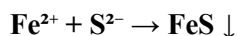
La comparaison industrielle finale doit donc être effectuée sur une base commune :

€/kg DE COMPOSÉ SOUFRE RÉELLEMENT ÉLIMINÉ

15. SELS DE FER

Les sels ferreux ou ferriques fixent les sulfures par précipitation.

Schématiquement :



Des données historiques indiquent, dans certaines applications, des consommations de l'ordre de :

≈ 5 kg FeSO₄/kg H₂S

Le coût réactif peut être faible, mais il faut intégrer :

sels de fer + production de boues + extraction + déshydratation + évacuation.

16. NITRATES

Le nitrate répond principalement à une fonction **préventive**.

Il vise à limiter biologiquement la formation des sulfures dans les réseaux.

Certaines données historiques indiquent des consommations pouvant atteindre approximativement :

10 parts de nitrate pour 1 part de sulfure évitée

dans certaines conditions.

Cette valeur est fortement dépendante du réseau.

La distinction fonctionnelle est essentielle :

NITRATE → PRÉVENIR LA FORMATION DU H₂S

BIOPOL® → TRAITER LE H₂S DÉJÀ FORMÉ

Les deux approches peuvent être complémentaires.

17. CHARBON ACTIF

Le charbon actif est particulièrement intéressant pour :

- faibles concentrations ;
- traitement des gaz ;
- polishing ;
- petites installations.

Son économie dépend de : **kg H₂S CAPTÉ/kg CHARBON**

puis :

prix média + fréquence de remplacement + transport + main-d'œuvre + élimination/régénération.

Il peut être très compétitif à faible charge mais devient progressivement pénalisé par la saturation du média lorsque la charge augmente.

18. BIOFILTRATION / BIOTRICKLING

Les procédés biologiques peuvent présenter un OPEX très intéressant pour des charges :

- relativement stables ;
- continues ;
- compatibles avec l'activité biologique.

Ils nécessitent toutefois :

- contrôle de l'humidité ;
- conditions biologiques adaptées ;
- temps de séjour ;
- stabilité de fonctionnement.

Une installation biologique existante, bien exploitée et amortie peut être économiquement très performante.

ACTIPOLISH® doit donc être évalué en fonction du besoin réel et non comme substitution systématique à un traitement biologique efficace.

19. CAS INDUSTRIEL — JAVEL + SOUDE

Un cas industriel européen précédemment étudié fournit une illustration des quantités réellement consommées par une installation de désodorisation.

Année	Hypochlorite	Soude
2021	556 t	169 t
2022	853 t	155 t
2023	918 t	262 t
1er semestre 2024	273 t	71 t

Capacité nominale étudiée : $\approx 66\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$

Débit effectivement traité dans les conditions considérées : $\approx 50\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$

L'efficacité de désodorisation rapportée était voisine de : **99 % en 2022–2023.**

Ces chiffres illustrent la différence entre une consommation chimique théorique et les consommations annuelles d'une installation réelle.

Ils ne permettent cependant pas de déterminer seuls un coût par kg H_2S sans connaître précisément la charge H_2S et mercaptans réellement éliminée.

20. TABLEAU ÉCONOMIQUE CENTRAL

BASE : TRAITEMENT DE 1 kg DE H_2S

Technologie	Prix produit	Consommation/kg H_2S	Coût matières/kg H_2S
ACTIPOL® 21,2 %	0,53 €/kg	32,33 kg	17,13 €
BIOPOL® 5 %	0,14 €/kg	137,06 kg	19,19 €
Javel 12,5 % — théorie*	0,37 €/kg	70 kg	25,90 €
Javel +25 %*	0,37 €/kg	87,5 kg	32,38 €
Javel +50 %*	0,37 €/kg	105 kg	38,85 €
Javel +100 %*	0,37 €/kg	140 kg	51,80 €
H_2O_2	prix site	$\approx 1 \text{ à } >5\text{ kg actif}$	dose $\times$ prix actif
KMnO_4	prix site	$\approx 6\text{--}7\text{ kg}$	dose $\times$ prix
O_3	production site	variable	$\text{O}_3 + \text{énergie} + \text{CAPEX}$
FeSO_4	prix site	$\approx 5\text{ kg}$	dose $\times$ prix + boues

*Javel 12,5 % et 0,37 €/kg : hypothèse économique illustrative. Les taux d'excès sont des scénarios et doivent être remplacés par les valeurs réelles du site.

21. VISUALISATION DIRECTE ACTIPOL® / JAVEL

ACTIPOL® : 17,13 €/kg H₂S

JAVEL — THÉORIE : 25,90 €/kg H₂S

JAVEL +25 % : 32,38 €/kg H₂S

JAVEL +50 % : 38,85 €/kg H₂S

JAVEL +100 % : 51,80 €/kg H₂S

Dans les hypothèses retenues, le coût matières de la Javel évolue donc directement avec l'excès nécessaire.

Cette comparaison doit être recalculée avec le **prix réel de Javel et la demande oxydante réelle de chaque installation.**

22. COMPARAISON DES MÉCANISMES

Technologie	Mécanisme	H ₂ S déjà formé	Mercaptans	Demande parasite
ACTIPOL®	Substitution	Oui	Oui	Pas de demande oxydante
BIOPOL®	Substitution	Oui	À valider	Pas de demande oxydante
Javel	Oxydation	Oui	Oui	Oui
H ₂ O ₂	Oxydation	Oui	Selon conditions	Oui
O ₃	Oxydation	Oui	Oui	Oui
KMnO ₄	Oxydation	Oui	Oui	Oui
Fer	Précipitation	Oui	—	—
Nitrate	Prévention biologique	Indirect	—	—
Charbon	Adsorption	Oui	Oui	Saturation
Biologique	Biodégradation	Oui	Selon procédé	Charge biologique

23. ESSAIS INDUSTRIELS ACTIPOL®

Les essais industriels historiques disponibles concernent exclusivement **ACTIPOL®**.

STEP — ACHÈRES

Dans les conditions validées des essais :

- traitement **ACTIPOL®** ;
- consommation mesurée ;
- coût recalculable à **0,53 €/kg** ;
- **absence de H₂S après traitement** ;
- **absence de mercaptans après traitement** selon les résultats validés.

Ces résultats constituent une référence expérimentale importante pour le positionnement **ACTIPOL®** en STEP.

INDUSTRIE PÉTROCHIMIQUE

Une démonstration a été réalisée sur un important site américain implanté en France.

Débit gazeux : **≈ 1 000 m³/h**

Consommation validée : **42,17 kg ACTIPOL®**

correspondant selon la feuille de calcul validée à : **9,07 kg de principe actif pur**

Ces résultats ne doivent pas être attribués à **BIOPOL®**.

24. POSITIONNEMENT BIOPOL®

BIOPOL® utilise la même logique chimique dans une formulation au carbonate et à pH plus modéré.

Il est destiné notamment à être étudié pour :

- réseaux d'assainissement ;
- atmosphères riches en CO₂ ;
- ouvrages extérieurs ;
- traitement curatif du H₂S déjà formé ;
- pulvérisation extérieure ;
- environnement naturel.

Ses performances industrielles doivent être validées séparément.

25. LA BONNE COMPARAISON ÉCONOMIQUE

La comparaison ne doit jamais être : **€/kg DE PRODUIT**

mais : **€/kg DE H₂S RÉELLEMENT ÉLIMINÉ**

puis : **€/m³ TRAITÉ**

puis : **€/JOUR → €/AN**

Pour **ACTIPOL®** :

H₂S et mercaptans mesuré → stœchiométrie → quantité ACTIPOL® → coût

Pour un oxydant :

**H₂S mesuré → besoin théorique → demande oxydante → excès réel → quantité consommée
→ coût réel**

26. ZONE DE BASCULE ÉCONOMIQUE

La zone de bascule entre **ACTIPOLISH®** et les technologies conventionnelles dépend de :

**H₂S + mercaptans + débit + durée + demande oxydante + prix des réactifs + énergie
+ CAPEX + maintenance + déchets + effluents.**

ACTIPOLISH® peut présenter un intérêt particulier lorsque :

- le H₂S est déjà formé ;
- les mercaptans doivent également être traités ;
- la demande parasite en oxydant est importante ;
- les charges varient ;
- une réponse chimique rapide est recherchée ;
- un procédé lourd n'est pas justifié.

27. MÉTHODE INDUSTRIELLE

Pour chaque installation :

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

Mesurer :

- **H₂S entrée → H₂S sortie**
- **mercaptans entrée → mercaptans sortie**
- **débit**
- **consommation réelle**
- **énergie**
- **effluents / déchets**
- **maintenance**
- **CAPEX**

Puis déterminer :

€/kg H₂S ÉLIMINÉ → €/m³ → €/jour → €/an

28. CONCLUSION TECHNICO-ÉCONOMIQUE

ACTIPOLISH® se distingue des procédés oxydants par une chimie ciblée sur les composés soufrés réduits.

Les bases économiques de référence sont :

ACTIPOL® 21,2 %

32,33 kg solution/kg H₂S

17,13 €/kg H₂S — COÛT MATIÈRES

BIOPOL® 5 %

137,06 kg solution/kg H₂S

19,19 €/kg H₂S — COÛT MATIÈRES

Pour les procédés oxydants, la bonne comparaison doit intégrer :

STOECHIMÉTRIE THÉORIQUE + EXCÈS RÉEL NÉCESSAIRE

La consommation réelle dépend de la composition de l'effluent et de la performance recherchée.

La comparaison industrielle doit donc être effectuée à partir du : **COÛT RÉEL PAR kg DE H₂S ÉLIMINÉ** et non du simple prix au kilogramme du produit chimique.

POSITIONNEMENT FINAL

ACTIPOLISH® : UNE CHIMIE CIBLÉE ET DIMENSIONNÉE SUR LA STOECHIMÉTRIE DES COMPOSÉS SOUFRÉS RÉDUITS.

Une plateforme — deux formulations complémentaires — une même logique : adapter le traitement à la charge soufrée réellement présente.

ACTIPOL® 21,2 % — coût matières : 0,53 €/kg

BIOPOL® 5 % — coût matières : 0,14 €/kg

POUR LES OXYDANTS : THÉORIE + EXCÈS RÉEL NÉCESSAIRE.

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER