

PTC SYSTEMS — DOSSIER INTÉGRAL

Technologies de traitement des polluants industriels

Purification des gaz • Traitement des composés soufrés
• Valorisation énergétique • Traitement avancé des effluents

Octobre 2026



1. Principe

PTC Systems développe des technologies destinées au traitement ciblé de polluants rencontrés dans l'industrie, l'énergie et l'environnement.

Son développement repose notamment sur une expertise particulière dans le traitement des **composés soufrés réduits**, principalement :

- l'hydrogène sulfuré H_2S ;
- les **mercaptans** ;
- certains autres composés soufrés présents dans les gaz, les hydrocarbures et les effluents industriels.

PTC Systems a développé une approche technologique intégrée permettant d'intervenir depuis la **purification du flux à traiter** jusqu'au **traitement complémentaire des effluents liquides générés par les opérations de lavage**.

L'objectif est de proposer aux industriels des technologies :

- sélectives ;
- simples à mettre en œuvre ;
- adaptables aux installations existantes ;
- industrialisables à différentes échelles ;
- destinées à réduire l'impact environnemental des procédés industriels.

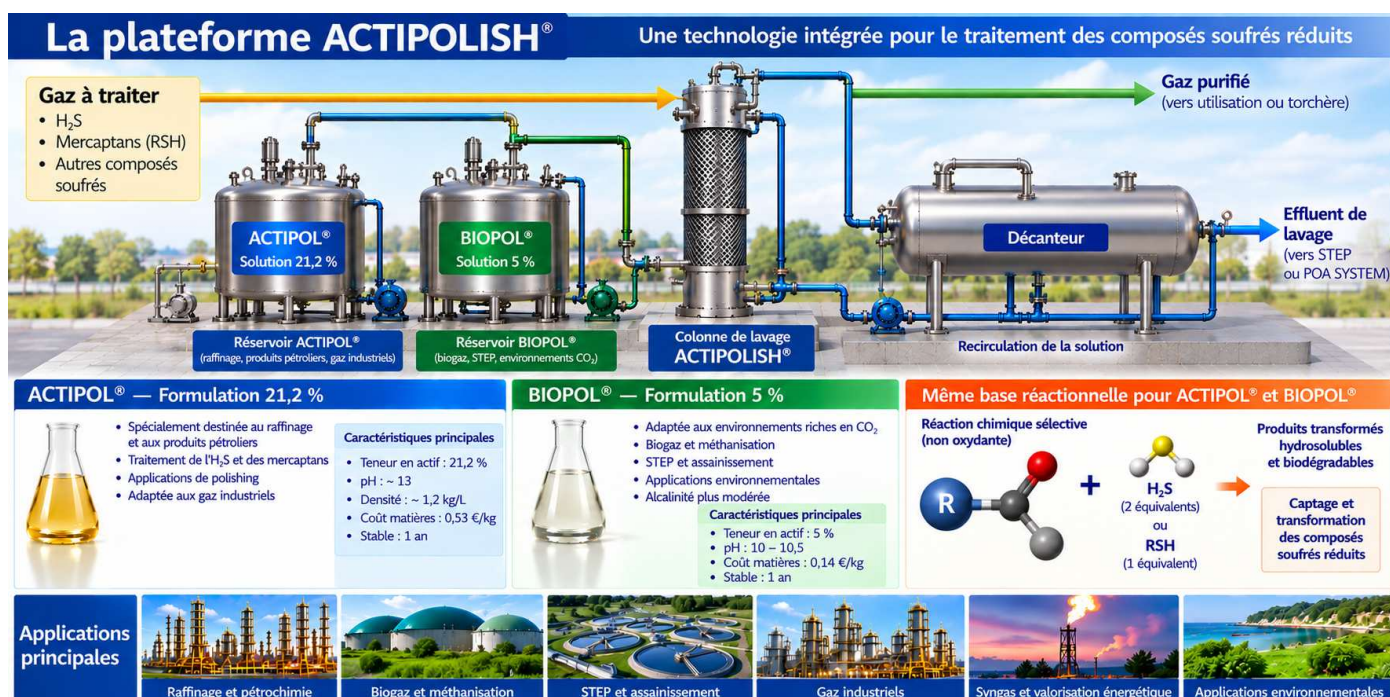
2. Une plateforme technologique intégrée

L'organisation technologique de PTC Systems repose sur plusieurs niveaux complémentaires :

PTC Systems — ACTIPOLISH® — ACTIPOL® — BIOPOL® — POA SYSTEM

Cette architecture permet de distinguer clairement la plateforme technologique, ses formulations chimiques et le traitement complémentaire éventuel des effluents.

3. ACTIPOLISH® — La plateforme technologique



ACTIPOLISH® constitue la plateforme développée pour le traitement chimique sélectif des composés soufrés réduits.

Elle repose sur une réaction chimique **non oxydante**, permettant notamment la transformation de l'H₂S et des mercaptans.

Contrairement aux procédés fondés principalement sur une oxydation des polluants, **ACTIPOLISH®** privilégie une réaction chimique ciblée.

Deux formulations principales permettent d'adapter cette technologie aux différentes conditions industrielles :

ACTIPOL®

Formulation notamment destinée :

- au raffinage ;
- aux produits pétroliers ;
- aux gaz industriels ;
- aux applications de polishing ;
- au traitement simultané de l'H₂S et des mercaptans.

BIOPOL®

Formulation adaptée notamment :

- au biogaz ;
- aux installations de méthanisation ;
- aux STEP ;
- à l'assainissement ;
- aux environnements riches en CO₂ ;
- aux applications environnementales nécessitant une alcalinité plus modérée.

ACTIPOL® et **BIOPOL®** reposent sur **la même base réactionnelle**, leurs formulations étant adaptées aux conditions particulières des applications considérées.

4. POA SYSTEM — Le traitement complémentaire des effluents

Les opérations de purification par lavage peuvent produire des solutions aqueuses contenant les produits issus de la transformation des polluants.

POA SYSTEM constitue une technologie complémentaire destinée au **traitement avancé de ces effluents liquides**.

Il peut intervenir en aval des applications **ACTIPOL®** ou **BIOPOL®** lorsqu'un traitement supplémentaire des eaux de lavage est nécessaire.

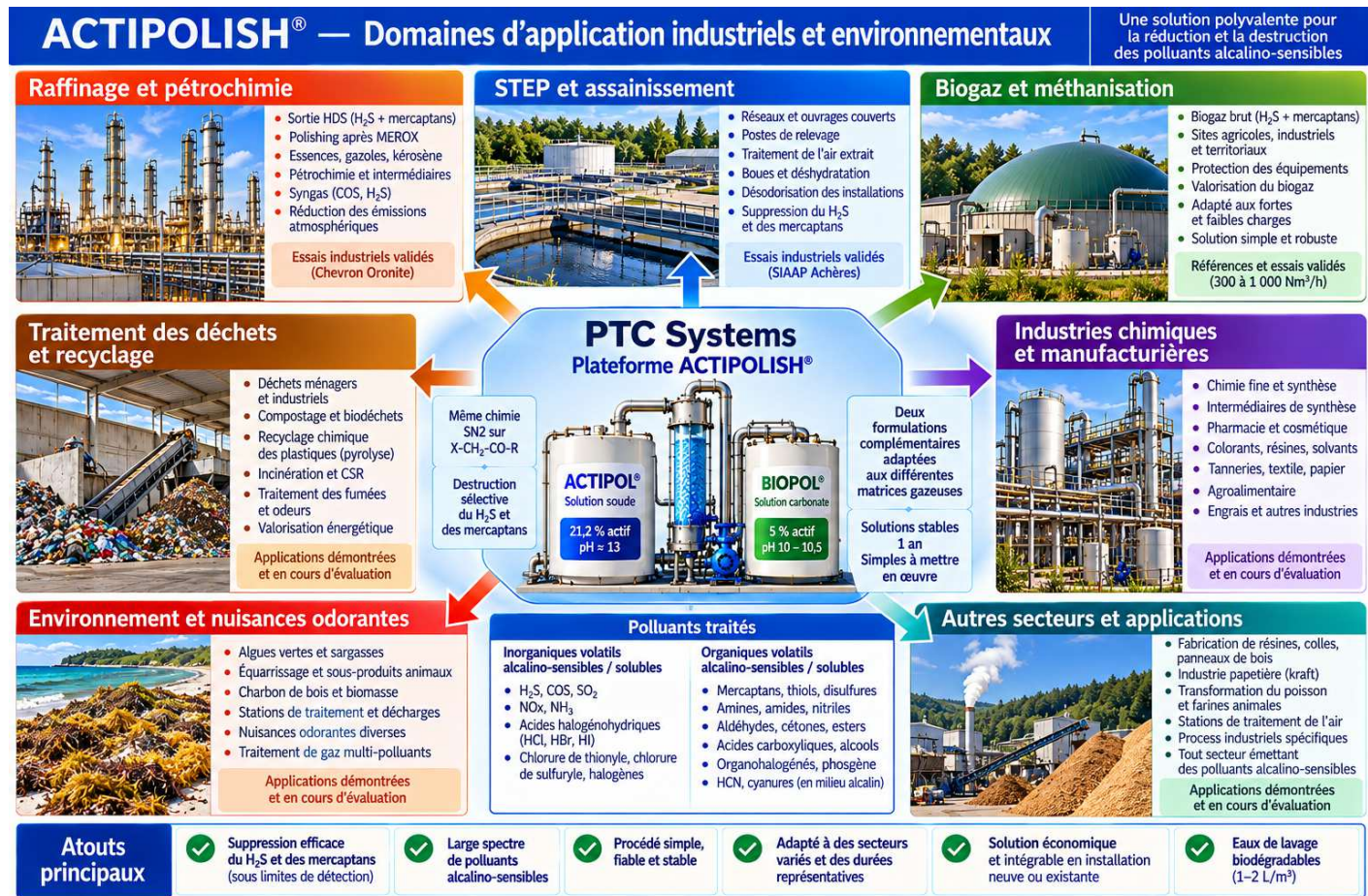
L'ensemble permet ainsi d'envisager une chaîne intégrée :

Polluant :



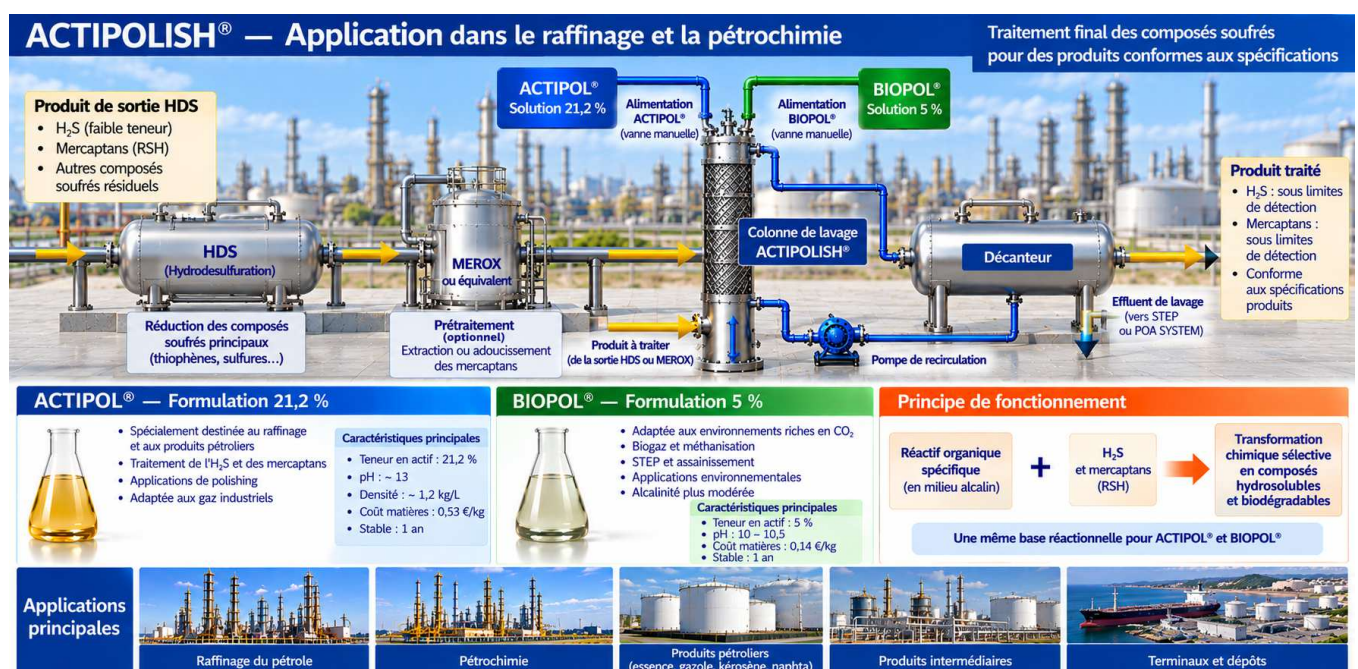
Cette complémentarité élargit l'approche de **PTC Systems** au-delà de la seule purification du flux initial.

5. Les principaux domaines d'application



Les technologies PTC Systems peuvent être étudiées dans plusieurs secteurs industriels.

Raffinage et pétrochimie



Traitement de finition des composés soufrés résiduels après les opérations principales de désulfuration.

Applications possibles :

- naphthas ;
- essences ;
- kérosènes ;
- gazoles ;
- autres coupes pétrolières ;
- flux gazeux contenant H₂S et mercaptans.

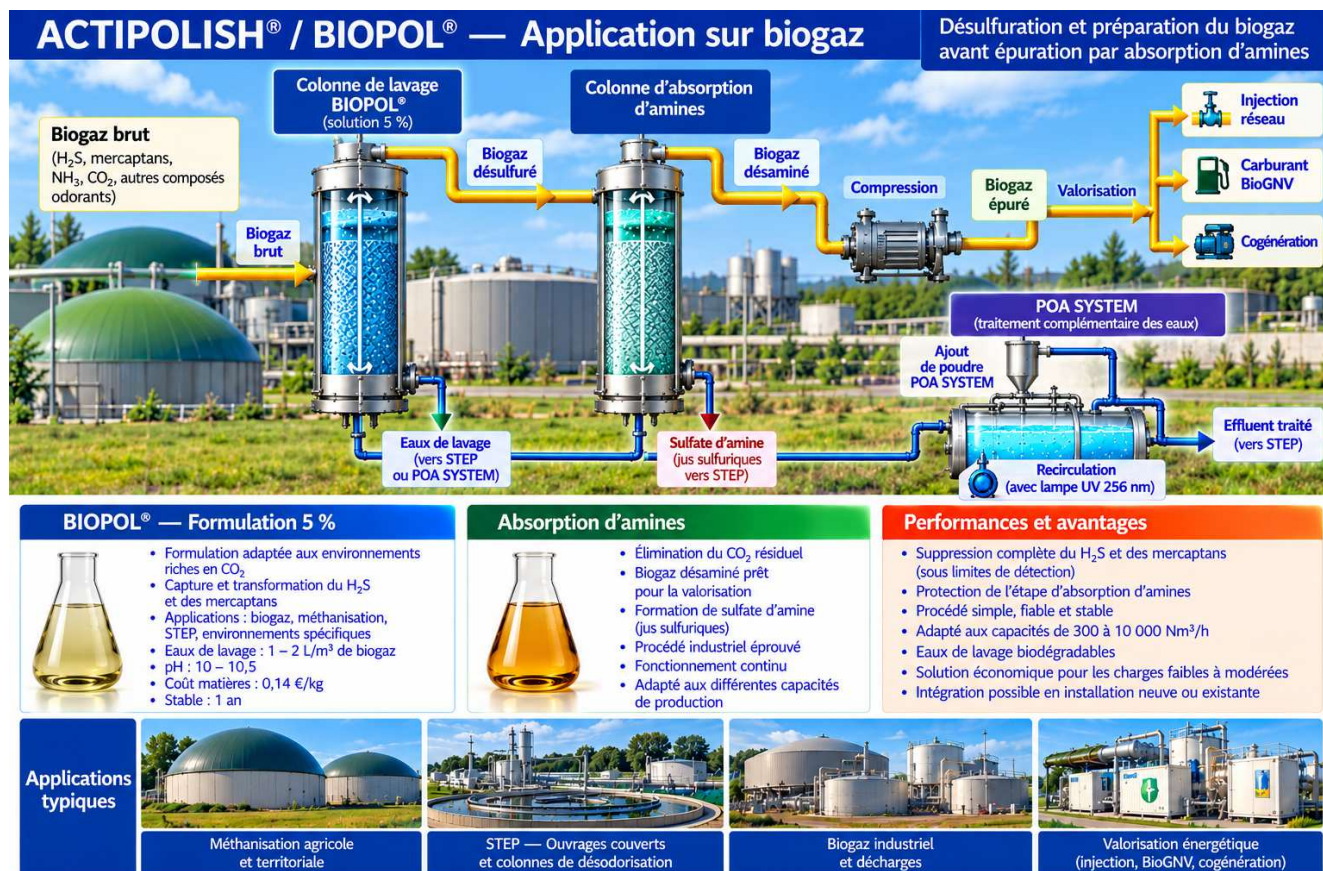
ACTIPOL® est particulièrement destiné à ces applications de « **polishing** ».

Gaz industriels et produits gaziers

Traitement des gaz contenant des composés soufrés indésirables afin de contribuer :

- à leur purification ;
- à la protection des équipements ;
- à la réduction de la corrosion ;
- à la réduction des nuisances ;
- à leur valorisation énergétique.

Biogaz et biométhane



BIOPOL® est notamment destiné à l'élimination sélective de l'H₂S dans les environnements présentant une concentration importante en CO₂.

Cette purification peut intervenir avant les étapes ultérieures d'épuration et de valorisation du biogaz.

STEP et assainissement

ACTIPOLISH® — Applications en assainissement et traitement des eaux usées

Air vicié
(ouvrages couverts, postes de relevage, bassins, épaisseurs)
H₂S, mercaptans, NH₃, autres composés odorants

Colonne de lavage ACTIPOLISH®
(solution 21,2 %)

Air traité
(odeurs supprimées)

ACTIPOLISH® — Formulation 21,2 %

- Formulation concentrée et stable
- Destruction du H₂S et des mercaptans
- Captage des NH₃ et autres composés alcalino-sensibles
- Eaux de lavage : 1 – 2 L/m³ d'air traité
- pH : ≈ 13
- Coût matières : 0,53 €/kg
- Stable : 1 an

Performances et avantages

- ✓ Suppression complète du H₂S et des mercaptans (sous limites de détection)
- ✓ Traitement des NH₃ et autres composés odorants
- ✓ Fonctionnement simple et stable
- ✓ Eaux de lavage biodégradables
- ✓ Adapté aux charges variables et aux pointes de pollution
- ✓ Procédé économique
- ✓ Intégration possible en installation neuve ou existante

Applications typiques

Réseaux d'assainissement et ouvrages couverts

Postes de relevage et bâches de pompage

Bassins et épaisseurs de boues

Digestion anaérobie et traitement des boues

Désodorisation des STEP

Les réseaux et installations de traitement des eaux peuvent générer de l'H₂S et des mercaptans responsables :

- d'odeurs ;
- de corrosion ;
- de risques pour les équipements ;
- de contraintes pour les exploitants et les riverains.

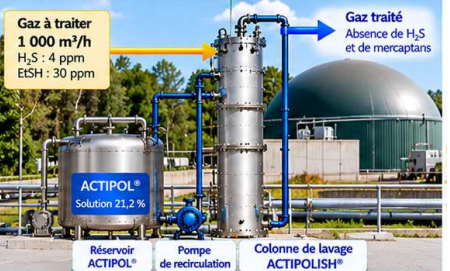
Les technologies **PTC Systems** peuvent intervenir sur les gaz déjà formés et constituent ainsi une approche **curative** complémentaire des méthodes préventives utilisées dans les réseaux.

Syngas et valorisation énergétique

Les gaz issus de la gazéification ou de certaines opérations de pyrolyse peuvent contenir différents contaminants.

PTC Systems étudie l'intégration de ses technologies dans les chaînes de purification nécessaires avant la valorisation énergétique de ces gaz.

6. Une technologie confrontée aux conditions industrielles

ACTIPOLISH® — Essais et démonstrations industriels			Des résultats mesurés sur sites industriels représentatifs
1. STEP SIAAP Achères — Poste 1 (capotages) Traitement des odeurs de réseaux et ouvrages couverts	2. Site Chevron Oronite (pétrochimie) Traitement des gaz de procédé (H ₂ S + mercaptans)	3. Installation de biogaz Traitement du H ₂ S et des mercaptans sur biogaz brut	
 Gaz à traiter 1 000 m³/h H₂S : 35 mg/m³ CH₃-SH : 4 mg/m³ Gaz traité Absence de H₂S et de CH₃-SH (validé GC) Réservoir ACTIPOL® Pompe de recirculation Colonne de lavage ACTIPOLISH®	 Gaz à traiter 1 000 m³/h H₂S : 5,7 mg/m³ (4,1 ppm) EtSH : 130 mg/m³ (51,2 ppm) Gaz traité Absence de H₂S et de mercaptans Réservoir ACTIPOL® Pompe de recirculation Colonne de lavage ACTIPOLISH®	 Gaz à traiter 1 000 m³/h H₂S : 4 ppm EtSH : 30 ppm Gaz traité Absence de H₂S et de mercaptans Réservoir ACTIPOL® Pompe de recirculation Colonne de lavage ACTIPOLISH®	
Conditions opératoires Débit de gaz : 1 000 m ³ /h Durée d'essai : 48 h Concentration entrée : H ₂ S : 35 mg/m ³ CH ₃ -SH : 4 mg/m ³ Équipement : Colonne garnie – Recirculation	Conditions opératoires Débit de gaz : 1 000 m ³ /h Durée d'essai : 30 h Concentration entrée : H ₂ S : 5,7 mg/m ³ (4,1 ppm) EtSH : 130 mg/m ³ (51,2 ppm) Équipement : Colonne 2 m (Ø 100 mm) – Garnissage 1,2 m Recirculation 7,5 m ³ /h – Réservoir 1 000 L	Conditions opératoires Débit de gaz : 1 000 m ³ /h Durée d'essai : 30 h Concentration entrée : H ₂ S : 4 ppm EtSH : 30 ppm Équipement : Colonne garnie – Recirculation 7,5 m ³ /h Réservoir 1 000 L	
Résultats Concentration sortie : Absence totale de H ₂ S et de CH ₃ -SH (validé GC) Consommation ACTIPOL® : 56,5 kg (solution 21,2 %)	Résultats Concentration sortie : Absence totale de H ₂ S et de mercaptans Consommation ACTIPOL® : 42,17 kg (solution 21,2 %) Soit 9,07 kg d'actif pur	Résultats Concentration sortie : Absence totale de H ₂ S et de mercaptans Consommation ACTIPOL® : ≈ 25 kg d'actif pur (soit ≈ 118 kg de solution 21,2 %)	
Coût matières (Achères – Poste 1) ≈ 29,95 € (56,5 kg × 0,53 €/kg)	Coût matières (Chevron Oronite) ≈ 22,35 € (42,17 kg × 0,53 €/kg)	Coût matières (biogaz) ≈ 62,5 € (118 kg × 0,53 €/kg)	
✓ Résultats validés en conditions réelles	✓ Absence de H ₂ S et de mercaptans sous limites de détection	✓ Procédé simple, robuste et économique	✓ Adapté à différents secteurs industriels

Le développement de PTC Systems ne repose pas uniquement sur une approche théorique.

Des essais ont été réalisés sur des flux industriels réels.

Installation pétrochimique

Un flux gazeux contenant simultanément de l'H₂S et de l'éthylmercaptan a été traité sur installation pilote.

Les analyses réalisées en sortie ont montré des concentrations inférieures aux limites de détection des méthodes analytiques employées, dans les conditions de l'essai.

STEP — Achères

Des essais réalisés sur le site d'Achères ont également porté sur des flux contenant notamment de l'H₂S et des mercaptans.

Les contrôles analytiques ont montré des concentrations inférieures aux limites de détection des méthodes analytiques employées en sortie, dans les conditions testées.

Ces essais constituent des références importantes pour le développement industriel de la technologie.

Les caractéristiques détaillées, conditions opératoires et résultats sont présentés dans les dossiers techniques spécialisés de PTC Systems.

7. Une approche industrielle modulaire

L'un des principes du développement de PTC Systems est de permettre l'intégration des technologies dans des installations industrielles existantes.

Selon l'application, une installation peut notamment comprendre :



Effluent de lavage → POA SYSTEM → traitement avancé

Cette architecture permet d'adapter le procédé :

- à la nature du gaz ou du liquide ;
- à la concentration en polluants ;
- aux objectifs de purification ;
- aux équipements déjà disponibles sur le site industriel.

8. Propriété intellectuelle

Le développement de **PTC Systems** s'appuie sur une stratégie de protection de sa propriété intellectuelle.

Elle comprend notamment :

- des titres et demandes de propriété industrielle relatifs aux procédés développés ;
- une nouvelle demande de brevet français déposée auprès de l'INPI en septembre 2026 sous le numéro **FR2612844**, destinée à servir de base à une extension internationale de la protection ;
- les marques **ACTIPOL®**, **BIOPOL®** et **ACTIPOLISH®**.

La propriété intellectuelle constitue un élément central du modèle de développement de **PTC Systems**.

Elle permet d'envisager l'exploitation industrielle des technologies par des partenaires disposant des capacités nécessaires à leur fabrication, leur intégration et leur commercialisation.

9. Un modèle fondé sur les partenariats et les licences

PTC Systems n'a pas vocation à construire une organisation industrielle lourde pour fabriquer et distribuer directement ses technologies sur l'ensemble de ses marchés potentiels.

Le modèle privilégié repose sur la **valorisation de la propriété intellectuelle et le transfert de technologie**.

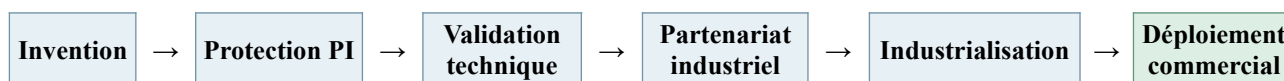
PTC Systems peut ainsi travailler avec des groupes industriels disposant :

- d'unités de production chimique ;
- de capacités d'ingénierie ;
- d'une présence internationale ;
- d'une connaissance approfondie des marchés concernés.

Le modèle économique peut notamment reposer sur des **accords de licence et des redevances liées à l'exploitation de la technologie**.

10. Une technologie française destinée à l'industrialisation

PTC Systems se situe aujourd'hui à une étape charnière entre :



L'objectif n'est donc plus seulement de démontrer un principe chimique.

11. PTC Systems — Une vision d'ensemble

PTC Systems réunit au sein d'une même approche :

*** ACTIPOLISH®**

*** ACTIPOL®**

Formulation destinée notamment au raffinage, aux hydrocarbures et aux applications industrielles.

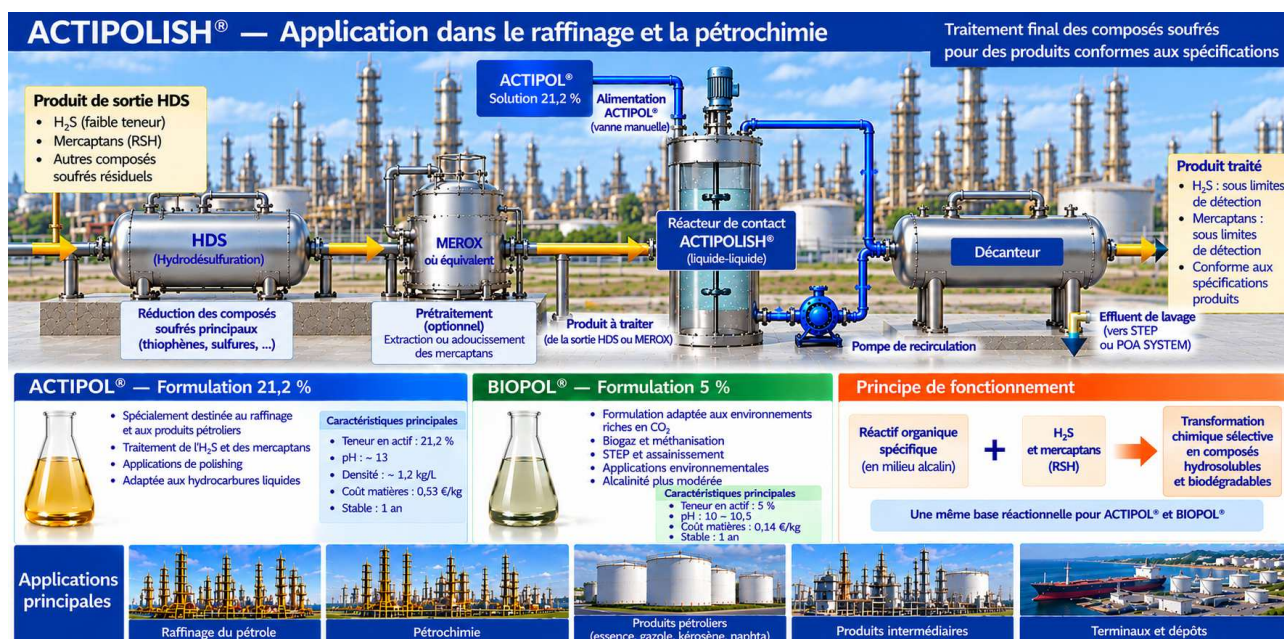
*** BIOPOL®**

*** POA SYSTEM**

Technologie complémentaire de traitement avancé des effluents liquides.

PLATEFORME ACTIPOLISH®

Raffinage pétrolier



Plateforme intégrée de traitement des composés soufrés

Évaluation technico-économique

Applications aux hydrocarbures et au traitement des gaz pétroliers

Octobre 2026

CHAPITRE 1 – RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Plateforme intégrée de traitement des composés soufrés

1.1 Objet du document

Le présent rapport a pour objet de présenter une évaluation technico-économique de la plateforme **ACTIPOLISH®**, développée pour le traitement de l'hydrogène sulfuré (H₂S) et de certains composés organosulfurés, notamment les mercaptans, présents dans les hydrocarbures liquides et les gaz industriels.

Ce document est destiné à alimenter une réflexion technique en vue d'un éventuel partenariat industriel portant sur l'évaluation, le développement et la valorisation de cette plateforme.

1.2 - Présentation de la plateforme ACTIPOLISH®

ACTIPOLISH® est une plateforme de traitement chimique reposant sur deux formulations complémentaires, développées pour répondre à des contextes industriels différents tout en s'appuyant sur un même principe réactionnel.

ACTIPOL® est destiné principalement au traitement des hydrocarbures liquides, des gaz de raffinerie et des applications de finition (« polishing ») visant l'élimination résiduelle de l'H₂S et de certains mercaptans.

BIOPOL® est destiné au traitement des gaz riches en CO₂ (biogaz, méthanisation, stations d'épuration) et peut également être envisagé, selon les applications, comme solution de prétraitement ciblé de certains flux en raffinerie, notamment en amont d'une unité de sweetening lorsque l'élimination préalable de l'H₂S présente un intérêt technique.

La complémentarité de ces deux formulations constitue le fondement de la plateforme **ACTIPOLISH®**.

1.3 - Positionnement industriel

La plateforme **ACTIPOLISH®** n'a pas été développée pour remplacer les technologies industrielles de référence, telles que les procédés aux amines ou les unités de sweetening de type Merox.

Son objectif est de proposer une solution complémentaire susceptible de répondre à certaines applications où les critères suivants sont déterminants :

- simplicité de mise en œuvre ;
- maîtrise des investissements ;
- facilité d'exploitation ;
- traitement ciblé de l'H₂S et des mercaptans ;
- adaptation à des installations existantes ;
- traitement de flux spécifiques ou de capacité faible à moyenne.

Cette approche permet d'envisager **ACTIPOLISH®** comme un complément aux technologies conventionnelles à ce niveau de développement plutôt que comme un procédé de substitution.

1.4 - Niveau de maturité

Les travaux réalisés à ce jour comprennent :

- la définition des formulations **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** ;
- la validation des principes réactionnels ;
- les bases de dimensionnement stœchiométrique ;
- des évaluations technico-économiques ;
- des validations sur des sites industriels représentatifs, notamment la station d'épuration Seine Aval (Achères) et le site pétrochimique Chevron Oronite au Havre ;
- la constitution d'un portefeuille de propriété intellectuelle comprenant un brevet et un certificat d'utilité issus des développements antérieurs, ainsi qu'une nouvelle demande de brevet français déposée en **septembre 2026 sous le numéro FR2612844**, destinée à servir de base à une extension internationale de la protection.

Au regard de ces éléments, la plateforme est estimée à un niveau de maturité technologique de l'ordre de **TRL 5**.

1.5 - Objectifs d'un partenariat industriel

La plateforme **ACTIPOLISH®** est aujourd'hui proposée dans une démarche de partenariat industriel visant à :

- approfondir les évaluations techniques et économiques ;
- identifier les domaines d'application les plus pertinents ;
- conduire des validations complémentaires en environnement industriel ;

- préparer une éventuelle phase d'industrialisation et de déploiement.

Le partenariat recherché pourra prendre différentes formes : évaluation technique conjointe, co-développement, licence d'exploitation ou autre mode de collaboration adapté aux objectifs des parties.

1.6 - Structure du rapport

Le présent rapport présente successivement :

- les enjeux industriels liés au traitement des composés soufrés ;
 - l'architecture de la plateforme **ACTIPOLISH®** ;
 - le positionnement des formulations **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** dans les procédés de raffinage et de traitement des gaz ;
 - une comparaison avec les principales technologies existantes ;
 - les analyses technico-économiques (CAPEX et OPEX) ;
 - le niveau de maturité technologique de la plateforme ;
 - les perspectives de partenariat industriel.
-

CHAPITRE 2

Contexte industriel et positionnement de la plateforme ACTIPOLISH®

2.1 - Contexte industriel

L'élimination des composés soufrés constitue un enjeu majeur dans les industries du raffinage, du traitement des hydrocarbures et des gaz industriels.

L'hydrogène sulfuré (H₂S) et les mercaptans sont à l'origine de nombreuses contraintes industrielles :

- corrosion des installations ;
- risques pour la sécurité des opérateurs ;
- émissions odorantes ;
- contraintes environnementales ;
- non-conformité des produits aux spécifications commerciales.

Selon les applications, les objectifs recherchés peuvent être différents :

- élimination de l'H₂S uniquement ;
- élimination simultanée de l'H₂S et des mercaptans ;
- traitement d'un gaz ;
- traitement d'un hydrocarbure liquide ;
- traitement en continu ou ponctuel.

Aucune technologie ne répond de manière optimale à l'ensemble de ces situations.

2.2 - Les technologies industrielles actuelles

Les raffineries disposent aujourd'hui de plusieurs familles de procédés :

- absorption aux amines ;

- lavage alcalin ;
- procédés de sweetening (**Merox®** et technologies apparentées) ;
- adsorption sur médias solides ;
- autres procédés spécifiques.

Ces technologies ont démontré leur efficacité et répondent chacune à un domaine d'application particulier.

Le choix d'une technologie dépend notamment :

- du débit traité ;
- de la composition du fluide ;
- de la teneur en H₂S ;
- de la teneur en mercaptans ;
- des spécifications du produit fini ;
- des contraintes économiques propres au site industriel.

2.3 - Origine du développement d'ACTIPOLISH®

La plateforme **ACTIPOLISH®** est née du constat qu'il existe des situations industrielles pour lesquelles une solution complémentaire, plus simple de mise en œuvre, peut présenter un intérêt technique et économique.

L'objectif n'a jamais été de remplacer les procédés industriels de référence.

La démarche a consisté à développer une plateforme capable de proposer, selon les applications, une formulation optimisée répondant aux caractéristiques du fluide traité.

Cette approche a conduit au développement de deux formulations complémentaires :

ACTIPOL®

Optimisée pour :

- les hydrocarbures liquides ;
- les applications de finition ("polishing") ;
- le traitement simultané de l'H₂S et de certains mercaptans.

BIOPOL®

Optimisée pour :

- les gaz riches en CO₂ ;
- le biogaz ;
- les stations d'épuration ;
- certaines applications de prétraitement en raffinerie, notamment en amont d'une unité de sweetening lorsque l'élimination ciblée de l'H₂S présente un intérêt technique.

2.4 - Concept de plateforme

ACTIPOLISH® constitue une plateforme de procédés reposant sur un principe réactionnel commun décliné en deux formulations adaptées à des environnements industriels différents.

Cette architecture permet d'envisager plusieurs modes d'intégration dans une chaîne de traitement des composés soufrés.

Selon les applications, les formulations peuvent intervenir :

- en prétraitement de certains flux ;

- en traitement principal sur des installations ciblées ;
- en traitement de finition ("polishing") afin d'atteindre les spécifications finales.

Cette modularité constitue l'une des caractéristiques essentielles de la plateforme.

2.5 - Philosophie de développement

Le développement d'ACTIPOLISH® repose sur cinq principes :

- simplicité d'exploitation ;
- adaptation aux besoins industriels ;
- maîtrise des coûts de traitement ;
- intégration dans les installations existantes ;
- complémentarité avec les technologies de référence.

Cette philosophie conduit à considérer ACTIPOLISH® comme une plateforme destinée à enrichir les solutions de traitement disponibles plutôt qu'à se substituer aux procédés industriels existants.

CHAPITRE 3

Architecture de la plateforme ACTIPOLISH®

3.1 - Principe général

ACTIPOLISH® est une plateforme intégrée de traitement des composés soufrés reposant sur un principe chimique commun décliné en deux formulations complémentaires :

- ACTIPOL®
- BIOPOL®

Les deux formulations utilisent le même concept réactionnel mais sont optimisées pour répondre à des environnements industriels différents.

Cette approche permet d'adapter le procédé à la nature du fluide traité, à sa composition et aux objectifs recherchés.

3.2 - Les deux formulations

ACTIPOL® est principalement destiné :

- au traitement des hydrocarbures liquides ;
- aux applications de raffinage ;
- au traitement simultané de l'H₂S et de certains mercaptans ;
- aux opérations de finition ("polishing") permettant d'atteindre les spécifications finales.

La formulation est optimisée pour les milieux pauvres en CO₂ et les applications nécessitant une forte concentration en matière active.

BIOPOL® est destiné :

- aux gaz riches en CO₂ ;
- au biogaz ;

- aux installations de méthanisation ;
- aux réseaux des stations d'épuration ;
- ainsi qu'à certaines applications de prétraitement en raffinerie pour H₂S seul.

Dans ce dernier cas, **BIOPOL®** peut être utilisé lorsque l'élimination ciblée de l'H₂S en amont d'une unité de sweetening présente un intérêt technique ou économique.

3.3 - Complémentarité des formulations

La plateforme **ACTIPOLISH®** permet de sélectionner la formulation la plus adaptée en fonction :

- de la nature du fluide ;
- de la concentration en H₂S ;
- de la présence de mercaptans ;
- de la teneur en CO₂ ;
- des performances recherchées.

Les deux formulations ne sont donc pas concurrentes mais complémentaires.

Cette complémentarité constitue l'un des fondements de la plateforme.

3.4 - Positionnement dans une chaîne de raffinage

Dans certaines configurations, la plateforme **ACTIPOLISH®** peut être intégrée à différentes étapes d'une chaîne de traitement des composés soufrés.

À titre d'exemple :

- **BIOPOL®** peut être envisagé comme une étape de prétraitement visant à réduire la teneur en H₂S d'un flux avant une unité de sweetening, lorsque cette configuration présente un intérêt pour le procédé considéré.
- Les procédés de sweetening (par exemple **Merox®**) assurent ensuite leur fonction propre de traitement des mercaptans.
- **ACTIPOL®** peut enfin être utilisé en traitement de finition ("polishing") afin d'éliminer les composés soufrés résiduels ou de sécuriser l'obtention des spécifications finales.

3.5 - Philosophie d'intégration

La plateforme **ACTIPOLISH®** a été développée selon une logique d'intégration dans les installations existantes.

Elle n'a pas vocation à remettre en cause les procédés industriels de référence, mais à proposer des solutions complémentaires pour des applications ciblées.

Cette approche permet d'envisager plusieurs stratégies :

- traitement principal sur certains flux spécifiques ;
- prétraitement ciblé ;
- traitement de finition ("polishing") ;
- traitement ponctuel de lots hors spécifications.

Le choix de la configuration dépend des caractéristiques du site industriel et devra être évalué au cas par cas.

3.6 - Synthèse

La plateforme **ACTIPOLISH®** repose sur une architecture modulaire associant deux formulations complémentaires.

Cette modularité permet d'adapter la stratégie de traitement aux besoins industriels tout en conservant un principe chimique commun.

Elle ouvre ainsi la possibilité d'une intégration progressive dans des schémas de procédés existants, en complément des technologies déjà utilisées dans l'industrie.

CHAPITRE 4

Intégration de la plateforme **ACTIPOLISH®** dans les schémas de procédé de raffinage

4.1 - Objet

La plateforme **ACTIPOLISH®** a été développée afin de pouvoir être intégrée, selon les besoins industriels, à différentes étapes des procédés de traitement des composés soufrés.

Cette approche modulaire permet d'adapter la stratégie de traitement aux caractéristiques des flux et aux objectifs de chaque raffinerie.

4.2 - Philosophie d'intégration

Contrairement aux procédés conçus pour assurer une fonction unique, **ACTIPOLISH®** repose sur deux formulations complémentaires pouvant intervenir à différentes étapes d'une chaîne de traitement.

Cette architecture offre plusieurs possibilités d'intégration, selon :

- la nature du fluide traité ;
- la teneur en H₂S ;
- la concentration en mercaptans ;
- les spécifications du produit final ;
- les contraintes d'exploitation de l'installation.

L'objectif est d'apporter une solution complémentaire aux procédés existants, sans remettre en cause leur domaine d'application.

4.3 - Intégration de **BIOPOL®**

BIOPOL® est destiné principalement aux traitements de l'hydrogène sulfuré.

Dans le domaine du raffinage, son utilisation peut être envisagée comme une étape de prétraitement ciblé de certains flux gazeux lorsque la réduction de la teneur en H₂S est susceptible d'améliorer les conditions de fonctionnement des étapes aval.

Cette approche devra être évaluée au cas par cas selon la composition des flux et les objectifs du procédé.

4.4 - Intégration de l'unité de sweetening

Les unités de sweetening, telles que les procédés **Merox®** ou technologies équivalentes, conservent leur rôle principal dans le traitement des mercaptans.

La plateforme **ACTIPOLISH®** est conçue pour fonctionner en complément de ces technologies lorsqu'une stratégie de traitement séquentielle présente un intérêt technique ou économique.

4.5 - Intégration d'ACTIPOL®

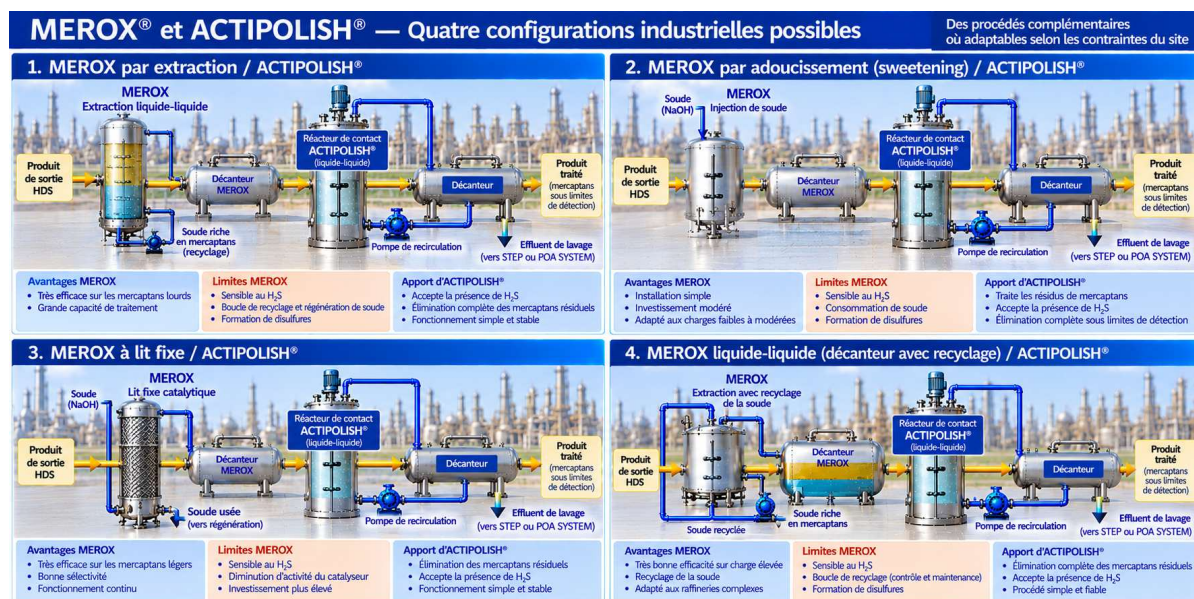
ACTIPOL® est destiné principalement aux opérations de finition ("polishing").

Il permet d'envisager :

- l'élimination résiduelle de l'H₂S ;
- le traitement de certains mercaptans résiduels ;
- la mise en conformité de lots spécifiques ;
- des traitements correctifs ou ponctuels.

Cette étape de finition constitue l'une des applications privilégiées de la plateforme dans le domaine des hydrocarbures.

4.6 - Exemple de schéma d'intégration



À titre d'illustration, une configuration possible peut être représentée de la manière suivante :
Ce schéma est donné à titre d'exemple et devra être adapté aux caractéristiques de chaque installation.

4.7 - Flexibilité de la plateforme

L'un des principaux atouts d'ACTIPOLISH® réside dans sa modularité.

Selon les applications, les formulations peuvent être utilisées :

- indépendamment ;
- de manière séquentielle ;

- en complément de procédés existants.

Cette souplesse permet d'envisager différentes stratégies d'intégration en fonction des objectifs industriels.

Comparaison des quatre configurations industrielles **MEROX** et de leur complémentarité avec le procédé **ACTIPOLISH®** pour le traitement des composés soufrés résiduels.

4.8 - Conclusion

La plateforme **ACTIPOLISH®** ne constitue pas un procédé unique mais une architecture modulaire permettant d'associer deux formulations complémentaires à différentes étapes d'une chaîne de traitement des composés soufrés.

Cette approche ouvre la possibilité d'évaluer plusieurs configurations d'intégration dans les installations existantes, en recherchant pour chaque application le meilleur compromis entre performances techniques, simplicité d'exploitation et coût global de traitement.

CHAPITRE 5

Positionnement technique de la plateforme ACTIPOLISH® par rapport aux procédés industriels existants

5.1 - Objet

La présente analyse a pour objectif de situer la plateforme **ACTIPOLISH®** par rapport aux principales technologies actuellement utilisées pour le traitement des composés soufrés.

L'objectif n'est pas d'établir une hiérarchie générale entre les procédés ni de présenter **ACTIPOLISH®** comme un substitut systématique aux technologies conventionnelles. Les procédés aux amines, les lavages alcalins, les technologies de sweetening telles que **Merox®** et les procédés d'adsorption disposent chacun de domaines d'application dans lesquels leur efficacité industrielle est démontrée.

Le positionnement d'**ACTIPOLISH®** doit donc être recherché dans une logique de **complémentarité**, en identifiant les situations dans lesquelles une technologie chimique simple, modulaire et adaptée à la charge soufrée réellement présente peut présenter un intérêt.

À quel endroit d'une chaîne de traitement et pour quelle charge soufrée ACTIPOLISH® peut-il apporter une solution complémentaire techniquement simple et économiquement pertinente ?

5.2 - ACTIPOLISH® : une plateforme constituée d'ACTIPOL® et de BIOPOL®

ACTIPOLISH®	ACTIPOL®	BIOPOL®
	Formulation concentrée	Formulation adaptée notamment aux milieux riches en CO ₂
Fonction privilégiée	Traitement ciblé et polishing	Traitement principalement orienté H ₂ S
Principe actif	≈ 21,2 %	≈ 5 %

ACTIPOLISH®	ACTIPOL®	BIOPOL®
Base alcaline	Soude	Carbonate de sodium
pH indicatif	≈ 13	≈ 10–10,5
H ₂ S	Oui	Oui
Mercaptans	Oui	Selon application
Domaine privilégié	Hydrocarbures / raffinage / finition	Gaz / biogaz / STEP / assainissement
Positionnement	Polishing et traitements correctifs	Traitement H ₂ S et prétraitements ciblés

Les deux formulations reposent sur la **même famille de chimie réactionnelle développée dans le cadre de PTC Systems**, mais leur composition a été adaptée à des environnements industriels différents.

Dans le présent dossier, **ACTIPOLISH®** désigne la plateforme complète ; **ACTIPOL®** la formulation concentrée principalement destinée au raffinage, aux hydrocarbures et au polishing ; **BIOPOL®** la formulation adaptée principalement au traitement du H₂S dans les environnements pour lesquels sa composition au carbonate présente un intérêt.

5.3 - Principe différenciant de la plateforme ACTIPOLISH®

ACTIPOLISH® repose sur une approche différente des technologies fondées principalement sur l'absorption, l'oxydation, l'adsorption ou la précipitation.

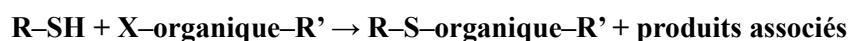
La chimie de **PTC Systems** repose sur une **réaction chimique de substitution**, et non sur une simple absorption physique ou sur une oxydation du composé soufré.

Pour le H₂S, le principe réactionnel simplifié peut être représenté par :



Le H₂S peut ainsi mobiliser deux équivalents réactifs.

Pour un mercaptan :



Le mercaptan mobilise un équivalent réactif.

Cette différence de mécanisme est importante pour comprendre le positionnement industriel d'**ACTIPOLISH®**. L'objectif n'est pas seulement de déplacer le composé soufré d'une phase vers une autre, mais de provoquer sa transformation chimique.

5.4 - Analyse comparative

Panorama des principales technologies industrielles

AMINES	SOUDE	MEROX® / SWEETENING	ADSORPTION	ACTIPOLISH®
Absorption des gaz acides	Neutralisation alcaline	Transformation des mercaptans	Captation sur média	Réaction chimique ciblée
H ₂ S principalement	H ₂ S et composés acides	Mercaptans principalement	Selon média	H ₂ S + mercaptans selon formulation

AMINES	SOUDE	MEROX® / SWEETENING	ADSORPTION	ACTIPOLISH®
Grands débits	Traitements simples	Raffinage	Finition / faibles charges	Traitements ciblés / polishing
Régénération du solvant	Gestion solution usée	Boucle catalytique	Média saturable	Réactif consommé selon charge

Une comparaison pertinente doit porter sur :

débit – charge – sélectivité – CAPEX – OPEX – énergie – maintenance – flexibilité.

5.5 - Traitement aux amines

Les procédés aux amines constituent une technologie de référence pour l'épuration des gaz contenant des gaz acides, en particulier le H₂S. Le gaz contaminé est mis en contact avec une solution d'amine qui absorbe les constituants acides. La solution chargée est ensuite régénérée afin d'être recyclée.

GAZ CONTAMINÉ	→	ABSORBEUR	→	GAZ TRAITÉ
H ₂ S / gaz acides		Solution d'amine		Gaz épuré

AMINE CHARGÉE → RÉGÉNÉRATION → AMINE RÉGÉNÉRÉE

Les amines sont particulièrement adaptées aux débits gazeux importants, aux fortes charges continues et aux installations industrielles fonctionnant en permanence. Cette efficacité s'accompagne généralement d'un absorbeur, d'un régénérateur, d'échangeurs thermiques, de pompes, d'une consommation énergétique, d'une instrumentation développée et d'une maintenance structurée.

ACTIPOLISH® n'a pas vocation à remplacer une unité aux amines destinée à éliminer continuellement une charge massive de gaz acides. Son intérêt potentiel apparaît plutôt lorsque la charge restante devient **faible, résiduelle, variable ou ponctuelle**.

CHARGE MASSIVE ET CONTINUE	→	CHARGE RÉSIDUELLE
Amines particulièrement adaptées		ACTIPOLISH® potentiellement pertinent

5.6 - Lavage alcalin à la soude

La soude constitue l'un des réactifs classiques utilisés pour le traitement de certains composés acides. Le H₂S peut être capté en milieu fortement alcalin sous forme de sulfures ou hydrogénosulfures.

Le lavage à la soude présente une chimie connue, une réaction rapide avec le H₂S, une mise en œuvre relativement simple et un CAPEX généralement limité pour les installations élémentaires. La soude reste toutefois un réactif alcalin susceptible de réagir avec d'autres constituants acides présents dans le flux. Sa consommation réelle peut donc dépendre de la composition globale du fluide.

SOUDE	ACTIPOLISH®
Neutralisation alcaline	Transformation chimique ciblée
Réagit avec différents constituants acides	Réactif destiné aux composés soufrés ciblés
Solution chargée à gérer	Produits réactionnels à gérer selon application
Chimie très connue	Chimie spécifique PTC Systems
CAPEX faible	CAPEX potentiellement faible à modéré

ACTIPOLISH® ne doit donc pas être présenté comme une « soude améliorée » le mécanisme chimique recherché est différent.

5.7 - Merox® et technologies de sweetening

Les technologies de sweetening sont largement utilisées dans le raffinage pour traiter les mercaptans présents dans certaines coupes pétrolières. Leur principe général repose sur leur transformation, notamment par oxydation catalytique..

**HYDROCARBURE → CONTACT → OXYDATION
→ PRODUIT ALCALIN / CATALYTIQUE TRAITÉ → EXTRACTION**

Selon sa configuration, le procédé peut nécessiter une solution alcaline, un catalyseur, de l'air, une boucle de circulation, une séparation des phases et la gestion des composés soufrés transformés.

Merox® et les technologies apparentées constituent des références pour le **sweetening des mercaptans**. Le H₂S doit généralement être suffisamment éliminé en amont pour maintenir les conditions adaptées à l'étape de traitement des mercaptans.

ACTIPOL® présente ici une différence importante : il permet d'envisager le traitement du **H₂S résiduel et de certains mercaptans** dans une même logique de traitement chimique, notamment en polishing, en traitement correctif ou sur des lots hors spécifications.

5.8 - Complémentarité ACTIPOLISH® / Merox®

La plateforme ne doit pas être présentée comme antagoniste de **Merox®**. Une approche séquentielle peut au contraire être étudiée.

**TRAITEMENT → MEROX® / → ACTIPOL® → SPÉCIFICATION
→ H₂S SWEETENING-POLISHING FINAL**

Dans certaines configurations particulières, **BIOPOL®** peut être étudié pour une réduction ciblée du H₂S sur un flux adapté avant une étape aval.

BIOPOL® si pertinent	→	TRAITEMENT PRINCIPAL	→	ACTIPOL® si nécessaire
Prétraitement H ₂ S ciblé		Traitement de la charge principale		Polishing final

Cette architecture n'est pas universelle. Elle illustre la **modularité d'ACTIPOLISH®** et doit être évaluée au cas par cas.

5.9 - Adsorption sur médias solides

Les procédés d'adsorption utilisent des matériaux capables de retenir ou de transformer les composés soufrés

- charbons actifs,
- charbons imprégnés,
- oxydes métalliques
- ou autres médias spécifiques.

L'adsorption peut être particulièrement intéressante pour les faibles concentrations, les débits limités, les installations compactes et certains traitements de finition.

**MÉDIA → ADSORPTION → SATURATION → REMPLACEMENT /NEUF DU SOUFRE
→ RÉGÉNÉRATION /ÉLIMINATION**

Le coût réel dépend de la capacité effective du média, de la charge en polluant, de la fréquence des remplacements, de la manutention et du traitement ou de l'élimination du média usagé.

5.10 - Analyse comparative générale

CRITÈRE	ACTIPOLISH®	AMINES	SOUDE	MEROX®	ADSORPTION
H ₂ S	Oui	Oui	Oui	Prétraitement généralement nécessaire selon configuration	Selon média
Mercaptans	Oui avec ACTIPOL®	Généralement peu adaptée	Limité selon conditions	Oui	Selon média
Traitement massif	À étudier selon économie	Très adapté	Possible	Adapté à son domaine	Généralement limité
Polishing	Très adapté	Peu rationnel seul	Possible	Possible	Très adapté
Réactif régénéré	Non	Oui	Généralement non	Boucle selon procédé	Selon média
Catalyseur spécifique	Non	Non	Non	Oui selon technologie	Selon média
Air de réaction	Non	Non pour absorption	Non	Oui	Généralement non
Énergie	Faible selon architecture	Élevée	Faible	Modérée	Faible
Complexité	Faible	Élevée	Faible	Moyenne à élevée	Faible
CAPEX	Faible à modéré*	Élevé	Faible	Modéré à élevé	Faible à modéré
Charge variable	Très bonne flexibilité	Faible à moyenne	Bonne	Optimisé pour un fonctionnement défini	Bonne
Lot ponctuel	Particulièrement intéressant à étudier	Peu adapté	Possible	Peu flexible	Possible

* Selon débit, installation et configuration retenue.

Ce tableau constitue un outil de positionnement et non une affirmation de supériorité universelle.

5.11 - Positionnement privilégié d'ACTIPOL® : le polishing

Le traitement de finition constitue l'un des domaines privilégiés d'étude pour ACTIPOL®

TRAITEMENT PRINCIPAL	→	CHARGE RÉSIDUELLE	→	ACTIPOL®	→	SPÉCIFICATION FINALE
Élimination de la majeure partie du soufre		Quelques ppm à éliminer		Polishing		Produit conforme

Cette configuration réserve ACTIPOL® à la fraction de pollution pour laquelle il est réellement nécessaire. La consommation de réactif est alors directement fonction de la **charge soufrée résiduelle**.

5.12 - Zone de bascule technico-économique

Une technologie conventionnelle comportant un investissement important peut devenir extrêmement compétitive lorsqu'elle traite en permanence une charge élevée.

À l'inverse, lorsque la quantité de polluant diminue, le coût fixe de l'installation peut devenir disproportionné par rapport à la quantité réelle de soufre éliminée.

FORTE CHARGE CONTINUE	→	ZONE DE BASCULE	→	FAIBLE CHARGE / CHARGE RÉSIDUELLE / VARIABLE
Procédé conventionnel généralement favorisé		Comparaison TCO nécessaire		ACTIPOLISH® à étudier

La position exacte de cette zone dépend du débit, des concentrations en H₂S et mercaptans, du nombre d'heures annuelles, du coût du réactif, du CAPEX évité, de l'énergie, de la maintenance, de la gestion des effluents et des installations déjà disponibles.

Cette zone de bascule doit être calculée pour chaque installation industrielle.

5.13 - Cas industriels particulièrement intéressants

SITUATION	INTÉRÊT POTENTIEL D'ACTIPOL®
Sortie d'un traitement principal avec soufre résiduel	Polishing
H ₂ S + mercaptans résiduels	Traitement simultané à étudier
Lot ponctuellement hors spécifications	Traitement correctif
Charge soufrée variable	Consommation adaptée à la charge
Faible débit	Évite potentiellement une unité complexe
Installation existante difficile à modifier	Retrofit simplifié
Besoin temporaire	Installation modulaire
Spécification finale très basse	Finition ciblée

Le dénominateur commun est la recherche du **minimum d'infrastructure nécessaire pour éliminer uniquement la charge qui reste réellement à traiter.**

5.14 - Simplicité d'ingénierie d'ACTIPOL®

**STOCKAGE → DOSAGE → MÉLANGE / CONTACT → RÉACTION → SÉPARATION
→ LAVAGE SI NÉCESSAIRE → PRODUIT TRAITÉ**

Les principaux éléments sont le stockage **ACTIPOL®**, le dosage, le mélange, un temps de contact suffisant, la séparation des phases lorsque nécessaire, le lavage final selon l'application et le contrôle analytique.

Le mécanisme **ACTIPOL®** ne nécessite pas, pour sa réaction propre, de catalyseur spécifique, d'injection d'air d'oxydation ni de boucle de régénération du réactif.

Cette simplicité potentielle doit être validée dans chaque configuration industrielle réelle.

5.15 - Gestion des effluents

L'analyse d'une technologie de traitement ne peut pas s'arrêter à la disparition du polluant dans le produit traité. La destination des produits réactionnels et des éventuelles eaux de lavage doit être intégrée dès la conception.

**COMPOSÉS SOUFRÉS DANS L'HYDROCARBURE → CONTACT AVEC ACTIPOL®
→ RÉACTION / FIXATION → SÉPARATION DES PHASES → LAVAGE SI NÉCESSAIRE
→ HYDROCARBURE TRAITÉ**

Les jus ou eaux issus du traitement ont vocation à être dirigés vers la filière de traitement des effluents appropriée du site, après validation de leur compatibilité. Cette approche ne repose pas sur une régénération destinée à recréer volontairement un flux concentré de H₂S ou de mercaptans.

L'analyse industrielle devra notamment vérifier le pH, la composition des eaux, la charge saline, les produits soufrés présents, leur compatibilité avec la STEP du site et les volumes réels d'eau nécessaires.

5.16 - Analyse économique : raisonner en TCO

Comparer uniquement le prix d'un kilogramme de produit serait insuffisant.

La comparaison doit porter sur le **coût global de possession – Total Cost of Ownership (TCO)**.

CAPEX	OPEX	EXPLOITATION	EFFLUENTS
Réacteurs / colonnes	Réactifs	Main-d'œuvre	Eaux de lavage
Pompes	Énergie	Maintenance	Purges
Stockage	Catalyseurs éventuels	Arrêts	Déchets
Instrumentation	Médias	Contrôles	Traitement aval
Génie civil	Consommables	Disponibilité	Élimination

Une technologie à faible consommation de réactif peut présenter un TCO élevé si elle nécessite une infrastructure importante.

Inversement, une technologie consommant un réactif non régénéré peut être économiquement intéressante lorsque la charge à éliminer est faible, le CAPEX limité, l'énergie et la maintenance réduites, ou le fonctionnement intermittent ou variable.

5.17 - Méthode de validation industrielle

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

* **Analyser** : nature du flux, débit, H₂S, mercaptans, autres composés, traitement existant et spécification recherchée.

* **Calculer** : convertir les concentrations en charge massique réelle à éliminer.

* **Tester** : vérifier sur le produit réel la réaction, la cinétique, la consommation, la séparation et la qualité finale.

* **Piloter** : reproduire des conditions représentatives du fonctionnement industriel.

* **Dimensionner** : déterminer débit de réactif, stockage, mélange, temps de contact, séparation et instrumentation.

* **Industrialiser** : comparer la solution finale sur la base **performance + CAPEX + OPEX + maintenance + flexibilité + TCO**.

5.18 - Positionnement stratégique de la plateforme

ACTIPOLISH®

BIOPOL®	ACTIPOL®
Traitement H ₂ S adapté à certains environnements	Traitement H ₂ S + mercaptans et polishing

Les formulations peuvent être utilisées indépendamment, séquentiellement ou en complément d'un procédé existant.

TECHNOLOGIE	DOMAINE DE FORCE
Amines	Grandes charges gazeuses continues en gaz acides
Soude	Lavages alcalins simples
Merox® / sweetening	Traitement industriel des mercaptans
Adsorption	Faibles charges et certaines opérations de finition
BIOPOL®	Traitement ciblé du H ₂ S, notamment dans les environnements adaptés à sa formulation
ACTIPOL®	H ₂ S + mercaptans, traitements ciblés et polishing
ACTIPOLISH®	Plateforme réunissant ACTIPOL® et BIOPOL® et permettant de sélectionner la formulation adaptée à l'application

5.19 - Conclusion

Les technologies conventionnelles de traitement du soufre répondent à des fonctions différentes et conservent leurs domaines d'excellence.

Dans cet environnement, ACTIPOLISH® occupe une position complémentaire.

ACTIPOLISH® est la plateforme technologique constituée de deux formulations complémentaires :

ACTIPOL®	BIOPOL®
Formulation concentrée	Formulation au carbonate
H ₂ S + mercaptans	Principalement H ₂ S
Raffinage / hydrocarbures	Gaz / biogaz / STEP / applications adaptées
Polishing	Traitement ciblé / prétraitement selon application

La plateforme vise particulièrement les situations où la charge soufrée est faible, résiduelle ou variable, où un traitement correctif est nécessaire, où un lot est hors spécifications, ou encore lorsqu'une installation conventionnelle complète serait disproportionnée.

TRAITEMENT PRINCIPAL → CHARGE RÉSIDUELLE → ACTIPOLISH® → SPÉCIFICATION FINALE

La question essentielle n'est donc pas : « ACTIPOLISH® peut-il remplacer les technologies existantes ? », mais :

« Où se situe, pour chaque installation, la zone de bascule à partir de laquelle une solution ACTIPOLISH® simple et ciblée devient techniquement et économiquement plus rationnelle que l'ajout, la modification ou le surdimensionnement d'un procédé conventionnel ? »

Démarche de validation industrielle :

La réponse doit être établie à partir des données réelles du site, selon la démarche suivante :

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

Positionnement final ACTIPOLISH® = ACTIPOL® + BIOPOL®

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

ACTIPOL® — Le polishing optimisé des raffineries modernes.

BIOPOL® — Le traitement ciblé du H₂S adapté aux environnements pour lesquels sa formulation présente un avantage.

CHAPITRE 6

Évaluation économique — Analyse des coûts de traitement

6.1 — Objet

L'objectif de cette analyse est de présenter les principaux paramètres influençant le coût de traitement par ACTIPOL® et d'en apprécier le positionnement par rapport aux technologies conventionnelles utilisées dans le raffinage.

L'analyse distingue notamment :

- la consommation de réactif liée à la charge polluante ;
- le coût matières ;
- le CAPEX ;
- l'OPEX ;
- l'énergie ;
- la maintenance ;
- les effluents ;
- la simplicité d'exploitation ;
- la flexibilité de l'installation.

L'évaluation finale doit être conduite sur la base du **coût global de possession — Total Cost of Ownership (TCO)**.

ACTIPOL® est destiné à être étudié comme solution de traitement et de **polishing des composés soufrés réduits résiduels**, notamment après hydrodésulfuration — HDS.

L'objectif n'est pas de présenter ACTIPOL® comme un remplacement systématique des grandes unités de traitement existantes, mais de déterminer les situations dans lesquelles une chimie directe, sans boucle d'oxydation/régénération propre au procédé, peut constituer une solution techniquement et économiquement pertinente.

Le raisonnement économique doit donc porter sur le **coût global du traitement**, et non uniquement sur le prix du réactif.

6.2 — Base technique et économique ACTIPOL®

ACTIPOL® est utilisé ici sous sa formulation de référence :

Paramètre	Base retenue
Concentration ACTIPOL®	21,2 %
Milieu	Alcalin
pH	≈ 13
Densité indicative	≈ 1,20 kg/L
Coût matières	0,53 €/kg de solution

Le coût de **0,53 €/kg** correspond au **coût matières de référence** retenu pour les calculs du présent dossier.

Il ne constitue ni un coût sortie usine ni un prix commercial de vente.

La fabrication, le conditionnement, la logistique et la commercialisation relèveront du futur licencié et devront être évalués selon son organisation industrielle.

La réaction avec les composés soufrés réduits repose sur une **substitution chimique et non sur leur oxydation**.

ACTIPOL® permet ainsi d'envisager :



sans rechercher la transformation préalable des mercaptans en disulfures R-S-S-R.

6.3 — Positionnement dans une raffinerie

Le schéma de principe étudié est :



ACTIPOL® vise particulièrement :

- le naphta ;
- l'essence ;
- le kérosène ;
- le gazole ;
- certaines autres coupes pétrolières nécessitant un polishing ;
- les flux contenant simultanément de l'H₂S résiduel et des mercaptans.

L'intérêt doit être évalué en fonction :



6.4 — Base stœchiométrique des calculs économiques

Les calculs économiques suivants utilisent les consommations ACTIPOL® établies dans les travaux de développement.

a) H₂S

La base de référence est : **1 kg H₂S → 6,853 kg de principe actif pur**

Avec ACTIPOL® à 21,2 % : **1 kg H₂S → ≈ 32,33 kg d'ACTIPOL®**

soit un coût matières d'environ : **32,33 × 0,53 = 17,13 €/kg H₂S traité**

Dans les exemples de coupes pétrolières retenus dans le présent dossier, la base utilisée est approximativement :

1 ppm H₂S → 0,026 kg ACTIPOL®/m³

et :

5 ppm H₂S → ≈ 0,132 kg ACTIPOL®/m³

b) Mercaptans

Pour les mercaptans, la consommation dépend notamment de la nature du composé considéré.

La base de calcul utilisée pour les exemples économiques du présent chapitre conduit notamment à :

120 ppm → ≈ 0,870 kg ACTIPOL®/m³

150 ppm → ≈ 1,088 kg ACTIPOL®/m³

Le coût matières est calculé par :

$$\text{COÛT ACTIPOL®} = \text{CONSOMMATION ACTIPOL®} \times 0,53 \text{ €/kg}$$

6.5 — Coût du traitement de l'H₂S résiduel

H ₂ S	ACTIPOL®	Coût matières
1 ppm	≈ 0,026 kg/m ³	≈ 0,014 €/m ³
2 ppm	≈ 0,053 kg/m ³	≈ 0,028 €/m ³
3 ppm	≈ 0,079 kg/m ³	≈ 0,042 €/m ³
4 ppm	≈ 0,106 kg/m ³	≈ 0,056 €/m ³
5 ppm	≈ 0,132 kg/m ³	≈ 0,070 €/m ³

Le coût associé à quelques ppm de H₂S résiduel reste donc relativement faible par rapport au traitement de concentrations importantes de mercaptans dans les cas étudiés.

6.6 — Coût du traitement des mercaptans

En utilisant la base de calcul proportionnelle retenue :

Mercaptans	ACTIPOL®	Coût matières
10 ppm	≈ 0,073 kg/m ³	≈ 0,039 €/m ³
25 ppm	≈ 0,181 kg/m ³	≈ 0,096 €/m ³
50 ppm	≈ 0,363 kg/m ³	≈ 0,192 €/m ³
75 ppm	≈ 0,544 kg/m ³	≈ 0,288 €/m ³
100 ppm	≈ 0,725 kg/m ³	≈ 0,384 €/m ³
120 ppm	≈ 0,870 kg/m ³	≈ 0,461 €/m ³

150 ppm	≈ 1,088 kg/m ³	≈ 0,577 €/m ³
---------	---------------------------	--------------------------

Ce tableau fait apparaître un élément économique important :

dans les cas étudiés, la charge en mercaptans constitue le principal facteur de consommation d'ACTIPOL®.

6.7 — Coût global avec 5 ppm de H₂S

En ajoutant une charge constante de **5 ppm de H₂S** :

H ₂ S	Mercaptans	ACTIPOL® total	Coût matières
5 ppm	10 ppm	≈ 0,205 kg/m ³	≈ 0,109 €/m ³
5 ppm	25 ppm	≈ 0,313 kg/m ³	≈ 0,166 €/m ³
5 ppm	50 ppm	≈ 0,495 kg/m ³	≈ 0,262 €/m ³
5 ppm	75 ppm	≈ 0,676 kg/m ³	≈ 0,358 €/m ³
5 ppm	100 ppm	≈ 0,857 kg/m ³	≈ 0,454 €/m ³
5 ppm	120 ppm	≈ 1,002 kg/m ³	≈ 0,531 €/m ³
5 ppm	150 ppm	≈ 1,220 kg/m ³	≈ 0,647 €/m ³

Ce tableau constitue la **base économique de référence ACTIPOL® pour le raffinage** dans les hypothèses considérées.

Il montre immédiatement l'influence de la charge résiduelle en mercaptans sur le coût de traitement.

6.8 — Influence du débit

Le coût matières unitaire reste identique pour une composition donnée, mais la dépense journalière évolue directement avec le débit.

Cas : 5 ppm H₂S + 120 ppm mercaptans

Coût matières : ≈ **0,531 €/m³**

Débit	ACTIPOL®/jour	Coût matières/jour
1 000 m ³ /j	≈ 1,00 t	≈ 531 €
5 000 m ³ /j	≈ 5,01 t	≈ 2 655 €
8 000 m ³ /j	≈ 8,02 t	≈ 4 248 €
10 000 m ³ /j	≈ 10,02 t	≈ 5 310 €

À **8 000 m³/j** et 365 jours/an : ≈ **1,55 M€/an** de matières ACTIPOL®

6.9 — Cas particulièrement favorable à étudier

Considérons une sortie HDS déjà performante :

H₂S = 2 ppm

Mercaptans = 10 ppm

Consommation ACTIPOL® :

$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \approx 0,053 \text{ kg/m}^3$

Mercaptans $\rightarrow \approx 0,073 \text{ kg/m}^3$

Total : $\approx 0,126 \text{ kg ACTIPOL®/m}^3$

Coût matières : $0,126 \times 0,53 \approx 0,067 \text{ €/m}^3$

Pour $8\,000 \text{ m}^3/\text{j}$: $\approx 536 \text{ €/jour}$

soit environ : $\approx 196\,000 \text{ €/an}$

C'est précisément dans ce type de configuration — **faible charge résiduelle après un traitement principal performant** — que la comparaison avec l'investissement et l'exploitation d'une unité dédiée prend tout son sens.

6.10 — Cas de forte charge

À l'autre extrémité :

$\text{H}_2\text{S} = 5 \text{ ppm} + \text{mercaptans} = 150 \text{ ppm}$

ACTIPOL® atteint : $\approx 1,220 \text{ kg/m}^3$ soit : $\approx 0,647 \text{ €/m}^3$

Pour $8\,000 \text{ m}^3/\text{j}$: $\approx 9,76 \text{ t ACTIPOL®/jour} \approx 5\,176 \text{ €/jour}$

soit environ : $\approx 1,89 \text{ M€/an}$

Pour $10\,000 \text{ m}^3/\text{j}$: $\approx 6\,470 \text{ €/jour}$ soit environ : $\approx 2,36 \text{ M€/an}$

À ce niveau de charge, une comparaison détaillée avec un procédé régénératif devient indispensable.

ACTIPOL® ne doit donc pas être présenté comme systématiquement économiquement supérieur.

6.11 — MEROX® — procédé concurrent de référence

MEROX constitue l'une des références industrielles majeures pour le traitement des mercaptans.

Son principe peut être résumé ainsi :

CHARGE → EXTRACTION → MERCAPTIDES → OXYDATION À L'AIR → DISULFURES → SÉPARATION → RÉGÉNÉRATION / RECYCLAGE DE LA SOUDE

Le procédé comporte donc une véritable boucle industrielle de traitement pouvant comprendre :

- circulation de solution caustique ;
- catalyseur ;
- injection d'air ;
- oxydation ;
- séparation des disulfures ;
- recyclage/régénération ;
- pompage ;
- instrumentation ;
- maintenance.

MEROX constitue une technologie éprouvée et particulièrement adaptée à son domaine d'application.

La comparaison avec ACTIPOL® doit donc porter sur la **fonction industrielle complète** et non sur le prix respectif d'un kilogramme de soude et d'un kilogramme d'ACTIPOL®.

6.12 — Sulfrex™ — Axens

Sulfrex™ constitue une autre référence pertinente.

Le principe général peut être résumé par :

EXTRACTION → MERCAPTIDES → OXYDATION → DISULFURES → SÉPARATION → RECYCLAGE

La technologie fonctionne selon une logique régénérative différente de celle d'ACTIPOL®.

Là encore, l'évaluation économique doit intégrer l'ensemble de l'installation et de son exploitation.

6.13 — Sweetening catalytique

Une autre approche consiste à convertir les mercaptans en composés moins agressifs.

Le principe simplifié est :



en environnement alcalin et en présence d'un catalyseur.

La distinction avec ACTIPOL® est fondamentale :

dans le sweetening catalytique, les mercaptans sont transformés en disulfures ;

dans ACTIPOL®, l'oxydation des mercaptans en disulfures n'est pas recherchée.

Selon le procédé de sweetening, le soufre peut donc rester dans le produit sous une autre forme chimique.

6.14 — Adsorption

Les adsorbants constituent également une possibilité de purification ou de finition pour certains flux.

Leur économie dépend notamment :

- de la capacité réelle du média ;
- de la concentration d'entrée ;
- de la durée des cycles ;
- du remplacement ou de la régénération ;
- du coût du média ;
- de la manutention ;
- du traitement du média usagé.

Ils peuvent être particulièrement pertinents pour certaines applications de traces ou de polishing.

Leur coût doit néanmoins être calculé à partir des conditions réelles du site.

6.15 — Comparaison des structures de procédé

Caractéristique	ACTIPOL®	MEROX / Sulfrex™
Réactif principal	ACTIPOL®	Soude
Catalyseur d'oxydation	Non	Oui
Air d'oxydation	Non	Oui

Régénération du réactif	Non	Oui
Circulation caustique	Non	Oui
Oxydiseur	Non	Oui
Séparation R-S-S-R	Non	Oui
Formation intentionnelle R-S-S-R	Non recherchée	Oui
Consommation liée à la charge	Oui	Partiellement
Investissement	À dimensionner	Installation industrielle dédiée

Cette comparaison ne constitue pas une affirmation de supériorité universelle d'ACTIPOL®.

Elle met en évidence deux **structures industrielles différentes**.

6.16 — Précaution essentielle pour la comparaison économique

Il serait incorrect de comparer directement : **0,53 €/kg ACTIPOL®**

avec : **le prix de la soude utilisée par MEROX**

car MEROX recycle sa solution caustique.

Inversement, le coût industriel d'une unité MEROX ne se limite pas au prix de la soude.

Une comparaison correcte doit prendre en compte :

CAPEX + CATALYSEUR + AIR + ÉNERGIE + POMPAGE + MAINTENANCE + CONTRÔLE + EFFLUENTS + DISULFURES + PERTES DE SOUDE + EXPLOITATION

contre :

CAPEX ACTIPOL® + CONSOMMATION ACTIPOL® + CONTACT / SÉPARATION + LAVAGE + EFFLUENTS + EXPLOITATION

6.17 — Peut-on donner un coût MEROX en €/m³ ?

Il n'est pas pertinent de retenir une valeur universelle.

Le coût réel dépend notamment :

- du débit ;
- de la concentration en mercaptans ;
- de la coupe pétrolière ;
- de l'existence ou non de l'installation ;
- de son amortissement ;
- de la consommation réelle de soude ;
- du catalyseur ;
- des utilités ;
- de la maintenance ;
- de la gestion des disulfures ;
- des effluents.

La comparaison commerciale et industrielle doit donc utiliser le **coût réel de la raffinerie concernée**.

6.18 — Le véritable avantage économique potentiel d'ACTIPOL®

ACTIPOL® est un réactif consommable.

MEROX/Sulfrex™ sont des procédés régénératifs associés à une infrastructure industrielle.

Les deux modèles économiques sont donc différents.

Pour ACTIPOL® :

$$\text{COÛT} \approx \text{CHARGE SOUFREE} \times \text{DÉBIT} \times \text{CONSOMMATION STœCHIOmétrIQUE}$$

Pour un procédé régénératif :

$$\text{COÛT TOTAL} = \text{INVESTISSEMENT} + \text{COÛTS FIXES} + \text{COÛTS VARIABLES} \\ + \text{MAINTENANCE} + \text{UTILITÉS} + \text{CONSOMMABLES}$$

ACTIPOL® doit donc être particulièrement étudié lorsque la charge résiduelle devient suffisamment faible pour qu'une infrastructure régénérative complète puisse devenir disproportionnée par rapport au service demandé.

6.19 — Notion de zone de bascule

Il s'agit d'un élément central du positionnement économique.

FORTE CHARGE CONTINUE → PROCÉDÉ RÉGÉNÉRATIF POTENTIELLEMENT FAVORISÉ

CHARGE INTERMÉDIAIRE → ZONE DE BASCULE → COMPARAISON TCO

FAIBLE CHARGE / CHARGE RÉSIDUELLE / VARIABLE → ACTIPOL® À ÉTUDIER

À faible charge :

$$\text{HDS} \rightarrow \text{FAIBLE CHARGE RÉSIDUELLE H}_2\text{S / R-SH} \rightarrow \text{ACTIPOL®}$$

peut permettre d'étudier une architecture plus simple spécifiquement destinée au polishing.

Lorsque la concentration augmente :

$$\text{CONSOMMATION ACTIPOL®} \uparrow \text{PROPORTIONNELLEMENT À LA CHARGE}$$

jusqu'au point où une technologie régénérative peut devenir économiquement plus intéressante.

La zone de bascule dépend donc de :

$$\text{ppm H}_2\text{S} + \text{ppm R-SH} + \text{DÉBIT} + \text{DURÉE ANNUELLE} + \text{CAPEX ÉVITABLE} \\ + \text{OPEX CONCURRENT}$$

Elle doit être calculée pour chaque installation.

6.20 — Illustration de la zone de bascule

Avec 5 ppm de H₂S :

Mercaptans	ACTIPOL® €/m³	1 000 m³/j	5 000 m³/j	8 000 m³/j	10 000 m³/j
10 ppm	0,109	109 €/j	545 €/j	872 €/j	1 090 €/j
25 ppm	0,166	166 €/j	830 €/j	1 328 €/j	1 660 €/j
50 ppm	0,262	262 €/j	1 310 €/j	2 096 €/j	2 620 €/j

75 ppm	0,358	358 €/j	1 790 €/j	2 864 €/j	3 580 €/j
100 ppm	0,454	454 €/j	2 270 €/j	3 632 €/j	4 540 €/j
120 ppm	0,531	531 €/j	2 655 €/j	4 248 €/j	5 310 €/j
150 ppm	0,647	647 €/j	3 235 €/j	5 176 €/j	6 470 €/j

Ce tableau permet à une raffinerie de placer directement en regard son **coût complet réel MEROX, Sulfrex™ ou autre procédé de référence**.

6.21 — Différence environnementale et opérationnelle

ACTIPOL® ne recherche pas : **R-SH → R-S-S-R**

mais la transformation chimique ciblée du composé soufré.

Son schéma réactionnel propre ne nécessite donc pas :

- d'injection d'air d'oxydation ;
- de catalyseur d'oxydation ;
- de boucle de régénération caustique ;
- de production intentionnelle de disulfures comme mécanisme de sweetening.

Les jus ou eaux issus du traitement doivent naturellement être gérés conformément aux caractéristiques du site et dirigés vers la filière de traitement appropriée.

6.22 — Eaux de lavage

Dans l'architecture **ACTIPOL®**, la base actuellement retenue est : **≈ 1 à 2 L d'eau de lavage/m³ d'hydrocarbure traité**

selon la configuration, à confirmer industriellement.

Les effluents sont destinés à la STEP du site.

Dans le dossier technique **ACTIPOL®**, ces effluents sont considérés comme biodégradables, sous réserve de validation :

- de leur composition réelle ;
- de leur pH ;
- de leur charge saline ;
- des produits soufrés présents ;
- de leur compatibilité avec la STEP concernée.

6.23 — CAPEX : avantage potentiel à démontrer

Le véritable enjeu n'est pas :

ACTIPOL® CONTRE SOUDE

mais :

ACTIPOL® CONTRE SYSTÈME COMPLET DE TRAITEMENT

MEROX et **Sulfrex™** impliquent plusieurs opérations et équipements.

ACTIPOL® pourrait permettre, pour certaines applications de polishing, une architecture plus courte :

**STOCKAGE → DOSAGE → CONTACT / RÉACTION → SÉPARATION
→ LAVAGE SI NÉCESSAIRE → PRODUIT POLI**

Cet avantage potentiel doit toutefois être démontré par :

PILOTE → DIMENSIONNEMENT → CAPEX RÉEL → OPEX RÉEL → TCO

6.24 — Installation existante ou nouvelle installation : distinction fondamentale

Deux situations doivent impérativement être distinguées.

Raffinerie disposant déjà d'un MEROX amorti

ACTIPOL® doit alors concurrencer essentiellement :

L'OPEX MARGINAL DU MEROX EXISTANT

La comparaison économique est nécessairement plus exigeante.

Nouveau besoin de polishing ou remplacement / extension d'installation

Il faut comparer :

CAPEX + OPEX MEROX / SULFREX

avec :

**CAPEX ACTIPOL® + CONSOMMATION ACTIPOL®
+ SÉPARATION / LAVAGE + EFFLUENTS + EXPLOITATION**

C'est potentiellement dans cette seconde configuration que l'intérêt économique d'ACTIPOL® peut être le plus important.

6.25 — Complémentarité avec une unité existante

Une troisième approche doit également être considérée :

MEROX / TRAITEMENT PRINCIPAL → ACTIPOL® → POLISHING FINAL

ACTIPOL® peut alors être étudié pour :

- absorber les fluctuations ;
- traiter les pointes ;
- garantir une spécification finale ;
- limiter un revamping ;
- augmenter éventuellement la capacité utile d'une installation existante ;
- traiter simultanément un H₂S résiduel et des mercaptans.

Cette configuration illustre le positionnement d'ACTIPOL® comme **outil complémentaire de polishing**.

6.26 — Méthode économique proposée aux raffineries

Pour chaque site :

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

Les données nécessaires sont notamment :

**DÉBIT + DENSITÉ + H₂S + MERCAPTANS PAR ESPÈCE + TEMPÉRATURE + SPÉCIFICATION
FINALE + FONCTIONNEMENT ANNUEL + PROCÉDÉ EXISTANT
+ OPEX RÉEL + CAPEX ÉVITABLE**

Il convient ensuite de calculer :

$$\text{kg ACTIPOL®/m}^3 \rightarrow \text{€/m}^3 \rightarrow \text{€/jour} \rightarrow \text{€/an}$$

puis de comparer ce résultat au :

COÛT COMPLET RÉEL DE LA SOLUTION EXISTANTE OU ENVISAGÉE

6.27 — Tableau décisionnel

Situation industrielle	Positionnement ACTIPOL® à étudier
Très faible charge après HDS	Polishing
Faible R-SH résiduel	Très pertinent à évaluer
H ₂ S + R-SH simultanés	Intérêt spécifique
Charge variable	Traitement flexible / pointes
MEROX proche de sa capacité	Polishing complémentaire
Nouveau petit besoin	Alternative à une installation dédiée
Forte charge permanente	Comparaison soigneuse avec un procédé régénératif
Très forte charge	Traitement principal conventionnel + polishing éventuel

Le dénominateur commun est :

**rechercher le minimum d'infrastructure nécessaire pour éliminer uniquement la charge soufrée
qui reste réellement à traiter.**

6.28 — Conclusion économique

La base économique retenue permet de positionner clairement ACTIPOL®.

Pour **5 ppm H₂S + mercaptans**, le coût matières évolue approximativement de :

0,11 €/m³ à 10 ppm de mercaptans

jusqu'à :

0,65 €/m³ à 150 ppm de mercaptans

ACTIPOL® présente donc un profil particulièrement intéressant à étudier pour :

- les charges résiduelles faibles à modérées ;
- le polishing ;
- les charges variables ;
- les pointes ;
- les lots hors spécification ;
- les besoins nouveaux pour lesquels une infrastructure lourde n'est pas nécessairement justifiée.

À l'inverse, lorsque la charge permanente augmente fortement, l'intérêt d'un procédé régénératif peut devenir plus important.

Il serait prématuré de fixer une concentration universelle de bascule ACTIPOL®/MEROX.

Cette bascule dépend directement :

DU CAPEX ÉVITÉ + DE L'OPEX RÉEL + DU DÉBIT + DE LA CHARGE SOUFRÉE + DE LA DURÉE DE FONCTIONNEMENT

La comparaison doit donc être réalisée à partir des données réelles de chaque raffinerie.

POSITIONNEMENT

ACTIPOL® — Le polishing optimisé des raffineries modernes.

Une chimie directe de l'H₂S et des mercaptans, sans oxydation intentionnelle des mercaptans en disulfures, dont le coût matières est directement proportionnel à la charge soufrée réellement présente.

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

Pour les procédés concurrents, l'analyse économique doit être fondée sur les données réelles de chaque site et sur le **TCO complet**, plutôt que sur un coût générique en €/m³.

**CHARGE RÉELLE → CONSOMMATION ACTIPOL® → COÛT MATIÈRES → TCO → ZONE
DE BASCULE → CHOIX INDUSTRIEL**

CHAPITRE 7

Validation industrielle et niveau de maturité technologique

7.1 - Objet

L'objectif de ce chapitre est de présenter les principaux éléments ayant permis d'évaluer le niveau de maturité technologique de la plateforme **ACTIPOLISH®**.

Cette évaluation repose sur les développements réalisés, les validations expérimentales et les essais conduits en environnement industriel.

7.2 - Développement de la plateforme

Les travaux réalisés à ce jour comprennent notamment :

- développement du concept **ACTIPOLISH®** ;
- définition des formulations **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** ;
- validation des mécanismes réactionnels ;
- établissement des bases stœchiométriques de dimensionnement ;
- premières évaluations technico-économiques ;
- protection de la propriété intellectuelle ;

Ces travaux ont permis d'établir les bases scientifiques et techniques de la plateforme.

7.3 - Validations industrielles

La plateforme a fait l'objet de validations sur des installations industrielles représentatives émettrices de soufre réduit gazeux.

Station d'épuration PARIS - Seine Aval (Achères)

Des essais réalisés sur ce site ont permis d'évaluer le comportement de la technologie dans un environnement industriel réel.

Ces validations ont notamment contribué à confirmer la faisabilité du procédé sur des effluents gazeux contenant des composés soufrés.

Site pétrochimique Chevron Oronite – Le Havre

Des essais ont également été réalisés sur le site pétrochimique Chevron Oronite.

Ces travaux ont permis de valider le fonctionnement de la technologie dans un contexte industriel lié à la fabrication d'une spécialité produisant de l'H₂S et du mercaptan.

Ces retours d'expérience constituent une étape importante dans la maturation de la plateforme.

7.4 - Évaluation du niveau TRL

Au regard des éléments disponibles, la plateforme **ACTIPOLISH®** est estimée à un niveau de maturité technologique de l'ordre de : **TRL 5**

Cette évaluation repose notamment sur :

- une formulation stabilisée ;
- une compréhension des mécanismes réactionnels de type SN2;
- des essais réalisés en environnement industriel représentatif ;
- une première validation du procédé sur des applications réelles.

Les développements futurs auront pour objectif de poursuivre les validations industrielles afin d'atteindre les niveaux supérieurs de maturité technologique.

7.5 - Propriété intellectuelle

La plateforme **ACTIPOLISH®** s'appuie sur un ensemble de développements techniques faisant l'objet d'une stratégie de protection de la propriété intellectuelle.

Cette protection comprend notamment :

- les titres issus des développements antérieurs de **PTC Systems**, comprenant un brevet et un certificat d'utilité ;
- les marques **ACTIPOLISH®**, **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** ;
- une nouvelle demande de brevet français déposée le **21 septembre 2026 sous le numéro FR2612844**, portant sur des développements complémentaires de la technologie et destinée à servir de base à une extension internationale de la protection.

Les éléments détaillés relatifs à cette propriété intellectuelle sont présentés au chapitre 8.

7.6 - Perspectives de développement

Les prochaines étapes envisagées comprennent :

- validation sur d'autres types de flux industriels ;
- optimisation des conditions opératoires ;
- études de dimensionnement ;
- démonstrateurs industriels complémentaires ;
- préparation de l'industrialisation.

Ces développements permettront de consolider les performances techniques et économiques de la plateforme.

7.7 - Conclusion

Les travaux réalisés à ce jour montrent que la plateforme **ACTIPOLISH®** a dépassé le stade de la preuve de concept.

Les validations industrielles obtenues, associées à une stratégie de protection de la propriété intellectuelle et à une analyse technico-économique structurée, constituent une base solide pour engager un partenariat industriel destiné à poursuivre son développement et son industrialisation.

CHAPITRE 8

Propriété intellectuelle et stratégie de valorisation

8.1 — Objet

Le développement d'une nouvelle technologie industrielle repose non seulement sur ses performances techniques, mais également sur la protection de la propriété intellectuelle qui en garantit la valorisation.

La plateforme **ACTIPOLISH®** s'inscrit dans cette démarche en associant une stratégie de protection juridique à une perspective de développement industriel.

8.2 — Protection de la plateforme

La stratégie de protection couvre les principaux éléments constitutifs de la plateforme **ACTIPOLISH®**, notamment :

- les formulations chimiques ;
- les procédés de traitement ;
- les domaines d'application ;
- les marques commerciales.

Cette approche vise à sécuriser le développement industriel de la technologie.

8.3 — Brevets et certificat d'utilité

La propriété intellectuelle de la plateforme **ACTIPOLISH®** repose sur plusieurs titres et demandes complémentaires destinés à protéger les principes techniques, les formulations et les développements successifs de la technologie.

Elle comprend notamment :

- un **brevet français**, correspondant aux développements initiaux de la technologie ;
- un **certificat d'utilité français**, publié et portant sur les développements protégés de la plateforme ;
- une **nouvelle demande de brevet français déposée en septembre 2026 sous le numéro FR2612844**, intégrant les développements et améliorations les plus récents de la technologie.

Cette nouvelle demande couvre notamment des évolutions concernant la préparation des solutions à partir d'un réactif organique spécifique, les formulations commerciales stabilisées et leurs applications industrielles.

Les formulations de référence concernées sont notamment :

ACTIPOL® → 21,2 % de principe actif

BIOPOL® → 5 % de principe actif

La stabilité de ces formulations a été vérifiée sur une durée d'un an.

La nouvelle demande de brevet **FR2612844**, déposée en **septembre 2026**, complète les protections antérieures et porte notamment sur les développements récents relatifs à la préparation et à la stabilité des formulations.

Elle est destinée à constituer une base pour l'extension internationale de la protection de la technologie.

Cet ensemble de titres et de demandes constitue le socle de propriété intellectuelle du modèle de valorisation de **PTC Systems**, fondé prioritairement sur la **licence de technologie et d'exploitation** auprès de partenaires industriels susceptibles d'assurer la fabrication, l'intégration et le déploiement de la technologie.

**TECHNOLOGIE → PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE → VALIDATION INDUSTRIELLE
→ LICENCE DE TECHNOLOGIE ET D'EXPLOITATION → INDUSTRIALISATION**

8.4 — Marques

Les dénominations suivantes constituent l'identité de la plateforme et de ses deux formulations complémentaires :

- **ACTIPOLISH®** : plateforme intégrée de traitement des composés soufrés réduits ;
- **ACTIPOL®** : formulation principalement destinée au raffinage, aux hydrocarbures et au polishing de l'H₂S et des mercaptans ;
- **BIOPOL®** : formulation principalement destinée au traitement ciblé de l'H₂S dans les environnements pour lesquels sa formulation présente un avantage, notamment les gaz riches en CO₂, le biogaz, les stations d'épuration et l'assainissement.

Ces marques permettent d'identifier clairement la plateforme et ses différentes composantes tout en distinguant leurs domaines d'application privilégiés.

Positionnement

ACTIPOL® — Le polishing optimisé des raffineries modernes.

BIOPOL® — Le traitement ciblé du H₂S adapté aux environnements pour lesquels sa formulation présente un avantage.

ACTIPOLISH® → ACTIPOL® + BIOPOL®

8.5 — Stratégie de partenariat

La démarche engagée vise à rechercher un partenaire industriel capable d'accompagner les prochaines étapes de développement de la plateforme.

Plusieurs formes de collaboration peuvent être envisagées :

- évaluation technique conjointe ;
- essais industriels complémentaires ;
- co-développement ;
- licence d'exploitation ;
- partenariat commercial ou industriel.

Le choix du modèle de collaboration sera déterminé en fonction des objectifs communs et des domaines d'application retenus.

8.6 — Valeur industrielle de la propriété intellectuelle

La combinaison :

- d'une plateforme technologique,
- d'une protection par brevet et certificat d'utilité,
- d'une architecture modulaire reposant sur deux formulations complémentaires,
- d'un positionnement sur plusieurs domaines industriels,

constitue un ensemble cohérent destiné à favoriser la création de valeur dans le cadre d'un partenariat industriel.

L'objectif n'est pas uniquement de protéger une invention, mais de permettre son développement industriel dans un environnement sécurisé.

8.7 — Conclusion

La stratégie de propriété intellectuelle mise en œuvre autour de la plateforme **ACTIPOLISH®** constitue un élément essentiel de sa valorisation.

Associée aux validations techniques et aux analyses technico-économiques présentées dans ce rapport, elle offre un cadre favorable à l'engagement d'un partenariat industriel visant à poursuivre le développement et l'industrialisation de la technologie.

CHAPITRE 9

Perspectives de partenariat industriel

9.1 - Objet

La plateforme **ACTIPOLISH®** a été développée avec l'objectif de proposer une approche complémentaire pour le traitement des composés soufrés dans les hydrocarbures et les gaz.

Les développements réalisés à ce jour permettent désormais d'envisager une phase de consolidation industrielle nécessitant l'appui d'un partenaire disposant d'une expertise reconnue dans le domaine des procédés.

9.2 - Pourquoi un partenariat industriel ?

Les prochaines étapes du développement de la plateforme concernent principalement :

- la validation sur un plus grand nombre d'applications ;
- l'optimisation des paramètres opératoires ;
- les études de dimensionnement industriel ;
- l'évaluation économique sur différents cas d'application ;
- la préparation d'un déploiement industriel.

Ces développements nécessitent les compétences d'un partenaire spécialisé dans l'ingénierie des procédés et le développement de solutions industrielles.

9.3 - Intérêt potentiel pour un partenaire industriel

Une plateforme telle qu'**ACTIPOLISH®** pourrait présenter plusieurs intérêts :

- élargissement du portefeuille de solutions de traitement des composés soufrés ;
- développement d'applications complémentaires dans le raffinage et le traitement des gaz ;
- valorisation d'une technologie protégée par la propriété intellectuelle ;
- possibilité d'intégration dans des schémas industriels existants.

L'objectif est d'évaluer ces perspectives dans le cadre d'une analyse technique conjointe.

9.4 - Modalités possibles de collaboration

Plusieurs formes de partenariat peuvent être envisagées :

- étude conjointe de faisabilité ;
- essais industriels complémentaires ;
- co-développement ;
- licence d'exploitation ;
- accord de développement industriel ;
- autre forme de coopération adaptée aux objectifs des parties.

Le choix du modèle de collaboration dépendra des résultats des évaluations techniques et économiques.

9.5 - Vision à long terme

L'ambition du projet **ACTIPOLISH®** est de constituer une plateforme de procédés complémentaires capable de répondre à des problématiques spécifiques de traitement des composés soufrés.

Son développement futur repose sur une démarche progressive fondée sur :

- la validation scientifique ;
- la démonstration industrielle ;
- la protection de la propriété intellectuelle ;
- la coopération avec un partenaire industriel.

Cette approche vise à construire une solution durable, adaptée aux besoins des industriels et évolutive dans le temps.

9.6 – Modèle de valorisation industrielle

La stratégie de **PTC Systems** repose prioritairement sur un modèle de **licence de technologie et d'exploitation**.

PTC Systems a vocation à assurer la protection, la maîtrise et la valorisation de la propriété intellectuelle associée à la plateforme **ACTIPOLISH®**, tandis que le partenaire industriel licencié pourra, selon les accords conclus, assurer :

- la fabrication des formulations ;
- leur intégration dans ses procédés ou ceux de ses clients ;
- les validations industrielles complémentaires nécessaires ;
- l'industrialisation et le déploiement commercial de la technologie.

Ce modèle permet d'éviter la constitution par **PTC Systems** d'une infrastructure propre de fabrication et de distribution et de s'appuyer sur les capacités industrielles, techniques et commerciales du licencié.

Des phases préalables d'évaluation technique, d'essais, de validation ou de co-développement pourront naturellement être organisées avant la mise en place d'une licence industrielle.

9.7 - Conclusion

Le présent rapport n'a pas pour objet de proposer une technologie de substitution aux procédés existants.

Il vise à présenter une plateforme de procédés complémentaires dont le potentiel mérite une évaluation industrielle approfondie.

La recherche d'un partenariat avec un acteur reconnu du secteur constitue l'étape naturelle permettant d'apprécier objectivement les performances, les domaines d'application et les perspectives de développement de la plateforme **ACTIPOLISH®**.

CHAPITRE 10

Conclusion générale

10.1 - Synthèse

Le présent rapport avait pour objectif de présenter la plateforme **ACTIPOLISH®**, son positionnement industriel, son niveau de maturité technologique ainsi que les premières évaluations technico-économiques réalisées à ce jour.

Les analyses montrent que la plateforme repose sur une architecture modulaire associant deux formulations complémentaires :

- **ACTIPOL®**, principalement destinée au traitement des hydrocarbures liquides, aux applications de raffinage et aux opérations de finition (« polishing ») ;
- **BIOPOL®**, adaptée aux gaz riches en CO₂ et susceptible d'être étudiée comme solution de prétraitement ciblé dans certaines configurations de raffinage, notamment en amont d'une unité de sweetening lorsque cette stratégie présente un intérêt technique.

Cette complémentarité permet d'envisager plusieurs stratégies d'intégration selon la nature des flux à traiter et les objectifs industriels recherchés.

10.2 - Positionnement de la plateforme

ACTIPOLISH® n'a pas été développée pour remplacer les technologies industrielles de référence telles que les procédés aux amines, le lavage alcalin ou les unités de sweetening.

La plateforme a été conçue comme une **solution complémentaire**, destinée à élargir les possibilités de traitement des composés soufrés dans des applications ciblées où la simplicité du procédé, la modularité et la maîtrise des coûts peuvent constituer des avantages.

Son positionnement devra être apprécié au cas par cas, en fonction des caractéristiques des flux, des spécifications recherchées et des contraintes propres à chaque installation.

10.3 - Atouts de la plateforme

Les travaux réalisés mettent en évidence plusieurs caractéristiques susceptibles de présenter un intérêt industriel :

- architecture reposant sur deux formulations complémentaires ;
- possibilité d'intervenir à différentes étapes d'une chaîne de traitement selon les applications ;
- simplicité de mise en œuvre et d'exploitation ;

- coût matière directement calculable à partir de la charge en composés soufrés ;
- validations réalisées sur des sites industriels représentatifs ;
- protection de la propriété intellectuelle en cours de finalisation.

Ces éléments constituent une base solide pour poursuivre les évaluations techniques et économiques.

10.4 - Perspectives

Les prochaines étapes du développement concernent principalement :

- l'élargissement des validations industrielles ;
- la consolidation des modèles technico-économiques ;
- l'étude de nouvelles configurations d'intégration dans les procédés existants ;
- la préparation d'un déploiement industriel progressif avec un partenaire.

Ces travaux permettront de préciser les domaines dans lesquels la plateforme ACTIPOLISH® apportera la plus forte valeur ajoutée.

10.5 - Ouverture à un partenariat

La démarche présentée dans ce rapport s'inscrit dans une volonté de collaboration avec un partenaire industriel disposant d'une expertise reconnue dans le développement et l'intégration de procédés.

L'objectif est de conduire une évaluation conjointe, fondée sur des données techniques, économiques et opérationnelles, afin de déterminer les applications pour lesquelles la plateforme ACTIPOLISH® présente le meilleur potentiel.

Cette approche permettra, le cas échéant, de définir les modalités d'un développement industriel dans un cadre de coopération équilibré.

10.6 – Conclusion et perspectives

La plateforme ACTIPOLISH® propose une approche modulaire du traitement des composés soufrés reposant sur deux formulations complémentaires :

ACTIPOL®, principalement destiné aux hydrocarbures, au raffinage et aux opérations de finition (« polishing »), et **BIOPOL®**, principalement destiné au traitement ciblé de l'H₂S dans les environnements pour lesquels sa formulation présente un avantage.

Les développements réalisés, les essais industriels disponibles, les bases stœchiométriques établies et les premières évaluations technico-économiques permettent aujourd'hui d'envisager une nouvelle étape de validation et de développement industriel.

La stratégie de **PTC Systems** est prioritairement orientée vers la conclusion de **licences de technologie et d'exploitation** avec des partenaires industriels disposant des capacités nécessaires à la fabrication, à l'intégration et au déploiement de la technologie.

Dans le domaine du raffinage, les prochaines étapes pourront notamment porter sur :

- l'identification de flux présentant une charge résiduelle adaptée ;
- la réalisation d'essais complémentaires sur hydrocarbures ou gaz de raffinerie ;
- l'établissement d'un bilan technico-économique propre au site considéré ;
- la définition de l'architecture industrielle adaptée ;
- puis, lorsque les résultats le justifient, la mise en place d'un accord de licence.

PTC Systems reste ainsi propriétaire et développeur de la technologie, tandis que son industrialisation peut être confiée à des partenaires disposant des moyens industriels et commerciaux nécessaires à son déploiement.

PLATEFORME ACTIPOLISH®

STEP – Assainissement - Environnement naturel



ACTIPOL® + BIOPOL®

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

Octobre 2026

PARTIE I — ANALYSE TECHNIQUE

1. OBJET DU DOSSIER

La plateforme ACTIPOLISH®, constituée des formulations ACTIPOL® et BIOPOL®, est destinée au traitement chimique ciblé des composés soufrés réduits : principalement H_2S , 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**
- **nitrate**
- **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 STœCHIMÉTRIQUE

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.

**STœCHIMÉTRIE 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 8,94 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 historique : 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 $\approx$ 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 % : 56,5 kg, soit $\approx$ 12 kg de matière active pure

Durée:

48 h → $\approx$ 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 ↔ 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 : $56,5 \times 0,53 = 29,95 \text{ €} / 48 \text{ h}$, soit $\approx 0,00062 \text{ €/m}^3$ 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 → $\approx 15\,000 \text{ m}^3$ 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 : $131,5 \times 0,53 = 69,70 \text{ €} / 15 \text{ h}$, soit $\approx 0,00465 \text{ €/m}^3$ 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 SOUFREE 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	Oui,	Limité	Précipitation /	Consommation de fer

Technologie	Fonction principale	H ₂ S déjà formé	Mercaptans déjà formés	Principe	Principal point de vigilance
	phase liquide	principalement dissous		fixation	et boues supplémentaires
Nitrates	Prévention de la formation	Pas directement dans le gaz	Limité	Contrôle biologique	Conditions biologiques et hydrauliques
Hypochlorite / oxydants	Traitement chimique curatif	Oui	Variable selon procédé	Oxydation	Caractère oxydant et 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 ATMOSPHERIQUE**
- **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

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 : $32,33 \times 0,53 = 17,13 \text{ €/kg H}_2\text{S}$

3.2 BIOPOL® 5 % :

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

Coût matières : $137,06 \times 0,14 = 19,19 \text{ €/kg H}_2\text{S}$

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 :

$$\text{CONSOMMATION JAVEL} = \text{STOECHIOLOGIE H}_2\text{S} + \text{DEMANDE OXYDANTE PARASITE} + \text{MARGE DE TRAITEMENT}$$

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

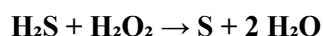
La large réactivité de la Javel peut cependant constituer un avantage lorsque l'objectif recherché est simultanément :

- 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 — KMnO_4

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 — O_3

L'ozone est produit directement sur le site :



Des travaux étudiés montrent des rapports réactionnels de l'ordre de : $\approx 2,0 \text{ à } 3,7 \text{ mol O}_3/\text{mol H}_2\text{S}$

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 — H_2S ET MERCAPTANS

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

H_2S 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 : **≈ 8,75 kg NaClO actif/kg H₂S**

Avec une Javel à 12,5 % : **8,75 / 0,125 = 70 kg de solution/kg H₂S**

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 :

H₂O₂

Besoin théorique simplifié :

≈ 1 kg H₂O₂/kg H₂S

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

KMnO₄

Des données documentaires historiques indiquent, pour certaines applications :

≈ 6 à 7 kg KMnO₄/kg H₂S

O₃

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 × 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 × 8,86 = 3,32 kg ACTIPOL®/h**

Au coût matières de : **0,53 €/kg** : le coût devient : **3,32 × 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**

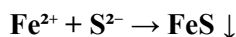
La comparaison industrielle finale doit donc être effectuée sur une base commune :

€/kg DE COMPOSÉ SOUFRÉ 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 H₂S sans connaître précisément la charge H₂S et mercaptans réellement éliminée.

20. TABLEAU ÉCONOMIQUE CENTRAL

BASE : TRAITEMENT DE 1 kg DE H₂S

Technologie	Prix produit	Consommation/kg H ₂ S	Coût matières/kg H ₂ S
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 ₂ O 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	O₃ + énergie + 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 : **8,94 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

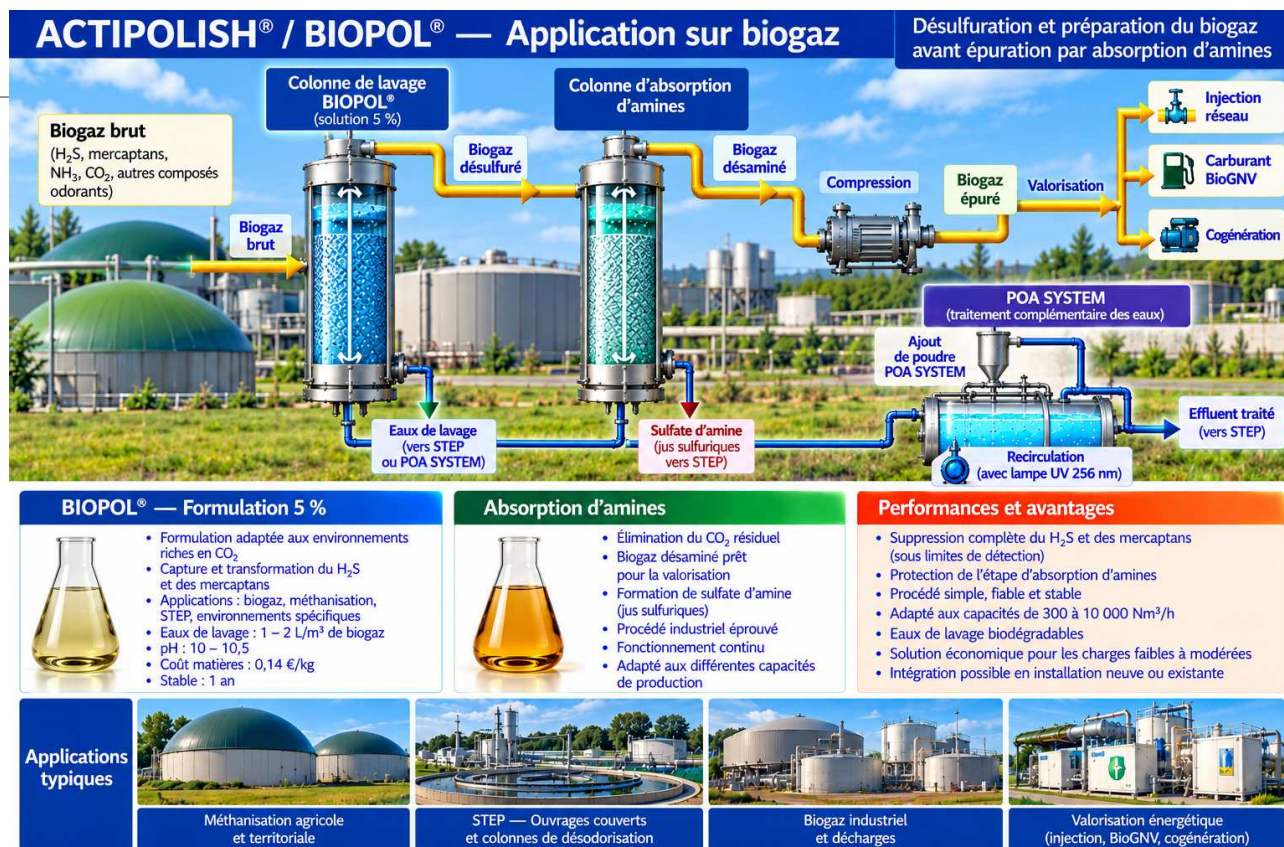
POUR LES OXYDANTS : THÉORIE + EXCÈS RÉEL NÉCESSAIRE.

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

PTC SYSTEMS - PLATEFORME ACTIPOLISH®

ACTIPOL® - BIOPOL® — MÉTHANISATION / BIOGAZ

Dossier technique et technico-économique



1. PTC SYSTEMS ET LA PLATEFORME ACTIPOLISH®

PTC Systems développe une technologie de traitement physico-chimique destructif et non oxydant de composés soufrés réduits présents dans des effluents gazeux ou liquides.

Cette technologie est regroupée sous la plateforme ACTIPOLISH®, comprenant deux formulations principales :

- ACTIPOL®** : formulation fortement alcaline, notamment destinée au polishing industriel et au raffinage ;
- BIOPOL®** : formulation à alcalinité modérée, particulièrement adaptée aux environnements riches en CO₂ tels que biogaz, méthanisation, stations d'épuration et certaines applications environnementales.

ACTIPOLISH® → même chimie fondamentale → formulation adaptée au milieu → ACTIPOL® ou BIOPOL®

La différenciation ne repose donc pas sur deux mécanismes chimiques distincts, mais sur l'adaptation de la formulation aux caractéristiques du milieu à traiter.

Principe chimique

La plateforme ACTIPOLISH® repose sur une réaction chimique non oxydante de type **substitution nucléophile bimoléculaire — SN2**.

Le principe actif comporte un site électrophile de type : **X-ORGANIQUE-R**

susceptible de réagir avec les espèces soufrées nucléophiles.

En milieu alcalin, H₂S forme notamment HS⁻ et les mercaptans R-SH peuvent former des thiolates R-S⁻.

Composé soufré réduit → espèce nucléophile → réaction SN2 → transformation chimique → composé soufré non volatil

Le soufre n'est donc pas éliminé par oxydation : il est transformé chimiquement.

2. BIOPOL® ET LA PROBLÉMATIQUE DU BIOGAZ

Le biogaz issu de la méthanisation contient principalement :

- CH₄ : généralement 50 à 70 % ;
- CO₂ : généralement 30 à 50 % ;
- vapeur d'eau ;
- H₂S : de quelques ppm à plusieurs milliers de ppm, voire davantage selon les intrants ;
- mercaptans et autres composés soufrés ;
- éventuellement NH₃, siloxanes et COV.

La présence simultanée d'une forte proportion de CO₂ et de composés soufrés constitue une caractéristique essentielle du biogaz.

Le H₂S peut entraîner toxicité, corrosion, dégradation des moteurs de cogénération, vieillissement des compresseurs, contraintes pour les membranes d'upgrading, maintenance accrue, nuisances olfactives et difficultés à atteindre les spécifications du biométhane.

Les mercaptans peuvent compléter cette charge soufrée et générer des nuisances importantes même à faible concentration.

BIOGAZ → H₂S + mercaptans + CO₂ élevé → nécessité d'un traitement soufré sélectif → BIOPOL®

3. POSITIONNEMENT SPÉCIFIQUE DE BIOPOL®

BIOPOL® est la formulation ACTIPOLISH® destinée aux milieux dans lesquels une alcalinité modérée présente un avantage, notamment les gaz riches en CO₂.

Formulation commerciale de référence

Paramètre	BIOPOL®
Principe actif	5 % massique
pH	≈ 10–10,5
Milieu	Alcalin modéré
Forme	Solution aqueuse
Stabilité vérifiée	≥ 1 an

BIOPOL® conserve la réactivité nécessaire vis-à-vis des composés soufrés tout en limitant l'alcalinité du milieu.

Il n'a pas vocation à devenir un procédé de décarbonation du biogaz. Son objectif est de privilégier le traitement des composés soufrés.

**CO₂ élevé + H₂S/mercaptans → alcalinité modérée → traitement ciblé des composés soufrés
→ BIOPOL®**

4. CHIMIE ET STœCHIOMÉTRIE

4.1 H₂S

En solution aqueuse alcaline : $\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{H}^+$

L'ion HS^- constitue une espèce nucléophile réactive vis-à-vis du principe actif **ACTIPOLISH®**.

Pour H₂S, la base stœchiométrique retenue est :

2 équivalents de principe actif par équivalent de H₂S

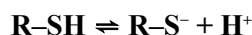
Valeur de référence : **1 kg H₂S → 6,853 kg de principe actif pur, BIOPOL® étant formulé à 5 % :**

1 kg H₂S → 137,06 kg de BIOPOL® à 5 %

1 kg H₂S → 6,853 kg actif pur → 137,06 kg BIOPOL® 5 %

Cette valeur constitue la base de calcul théorique. La consommation industrielle réelle dépend du transfert gaz/liquide, des conditions opératoires, du rendement recherché et du dimensionnement.

4.2 Mercaptans



Le thiolate R-S^- peut réagir selon le même mécanisme SN2.

Mercaptans : 1 équivalent de principe actif par équivalent de mercaptan

La distinction doit donc être conservée dans tous les calculs :

H₂S → 2 équivalents | Mercaptans → 1 équivalent

4.3 Caractère non oxydant

ACTIPOLISH® ne repose ni sur l'hypochlorite, ni sur le peroxyde, ni sur l'injection d'oxygène comme agent de destruction du polluant.

**Polluant soufré → réaction SN2 non oxydante → transformation chimique
→ soufre non volatil**

Cette caractéristique différencie **ACTIPOLISH®** de nombreuses technologies conventionnelles de désulfuration.

5. POURQUOI BIOPOL® POUR LES BIOGAZ RICHES EN CO₂ ?

Une solution fortement alcaline peut consommer inutilement une partie de son alcalinité en présence d'un gaz contenant 30 à 50 % de CO₂.

BIOPOL® a été formulé pour limiter cet inconvénient.

Son pH modéré, voisin de 10–10,5, permet de conserver un environnement favorable au traitement du H₂S sans rechercher une absorption massive du CO₂.

La sélectivité recherchée repose sur deux éléments complémentaires :

- réactivité des espèces soufrées nucléophiles vis-à-vis du principe actif ;
- formulation moins fortement alcaline que celle d'**ACTIPOL®**.

Gaz pauvre/modéré en CO₂ + polishing industriel → ACTIPOL®

Gaz riche en CO₂ + traitement ciblé H₂S → BIOPOL®

Ainsi :

ACTIPOLISH® → ACTIPOL® 21,2 % / pH élevé → Raffinage, polishing

ACTIPOLISH® → BIOPOL® 5 % / pH 10–10,5 → Biogaz, méthanisation, STEP, environnement

6. INTÉGRATION INDUSTRIELLE

BIOPOL® doit être mis en œuvre dans un système assurant un transfert efficace entre la phase gazeuse et la solution liquide.

Plusieurs architectures sont envisageables : colonne à garnissage, laveur gaz/liquide, venturi, tour de pulvérisation, contacteur compact ou autre dispositif adapté.

Schéma fonctionnel général :

**BIOGAZ BRUT → CONTACTEUR BIOPOL® → SÉPARATION GAZ/LIQUIDE
→ BIOGAZ TRAITÉ**

Boucle liquide :

CUVE BIOPOL® → POMPE → CONTACTEUR → RETOUR CUVE

Il n'est pas pertinent de définir a priori une architecture unique à partir du seul débit ou de la seule concentration en H₂S.

Le dimensionnement doit suivre la méthodologie **PTC Systems** :

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

Paramètres essentiels : débit gazeux, H₂S, mercaptans, CO₂, température, humidité, objectif résiduel, transfert gaz/liquide, temps de contact, recirculation, concentration résiduelle en actif, évolution du pH et fréquence des purges.

7. RÉSULTATS INDUSTRIELS ACQUIS PAR ACTIPOLISH®

Une distinction stricte doit être maintenue entre :

- **résultats industriels effectivement obtenus avec ACTIPOL® ;**
- **performances attendues de BIOPOL® sur la base de la chimie commune**, à confirmer dans les conditions spécifiques de son application.

Les essais ACTIPOL® constituent une validation industrielle de la chimie ACTIPOLISH®, mais ne sont pas présentés comme des essais BIOPOL®.

7.1 Industrie pétrochimique

Démonstration sur un important site américain implanté en France.

Conditions

Air 1 000 m³/h → H₂S 5,7 mg/m³ ≈ 4,1 ppm → Et-SH 130 mg/m³ ≈ 51,2 ppm

Installation :

Réservoir 1 000 L → recirculation 7,5 m³/h → colonne H 2 m / Ø 100 mm / garnissage 1,2 m

Résultat

Absence totale de H₂S et de mercaptans détectables en sortie dans les conditions de contrôle de l'essai.

Consommation :

42,17 kg ACTIPOL® 21,2 % → 8,94 kg de principe actif pur

Cet essai démontre notamment la capacité de la chimie ACTIPOLISH® à traiter simultanément H₂S et mercaptans.

7.2 Station d'épuration — SIAAP Achères

Essai sur effluents gazeux issus de capotages de bâches.

Débit 1 000 m³/h → H₂S 35 mg/m³ → CH₃-SH 4 mg/m³ → durée 48 h

Résultat

Absence totale de H₂S et de CH₃-SH détectables après traitement dans les conditions de l'essai.

Validation notamment par chromatographie en phase gazeuse.

Consommation 56,5 kg ACTIPOL® / 48 h → coût matières ≈ 30 €

Un second poste concernant les gaz du traitement des boues a également été étudié ; les données quantitatives doivent être complétées avant présentation chiffrée détaillée.

7.3 Essai biogaz antérieur

Débit 1 000 m³/h → H₂S 4 ppm → Et-SH 30 ppm → 30 h → recirculation 7,5 m³/h

Consommation de référence corrigée : ≈ 25 kg de principe actif pur ACTIPOL®

Cet essai a été réalisé avec ACTIPOL®, et non BIOPOL®.

Son intérêt pour BIOPOL® réside dans la confirmation du fonctionnement de la chimie commune ACTIPOLISH® sur un flux contenant simultanément H₂S et mercaptans.

8. MODÈLE TECHNICO-ÉCONOMIQUE BIOPOL®

8.1 Coût matières

Le coût matières de référence retenu pour BIOPOL® est : **0,14 €/kg de BIOPOL® à 5 %**

Il s'agit exclusivement d'un **coût des matières premières**.

Ce montant ne constitue ni un coût de fabrication industrielle, ni un coût sortie usine, ni un prix de vente.

Dans le modèle **PTC Systems**, la fabrication industrielle est destinée à être assurée par le licencié ou un fabricant choisi par celui-ci.

**Matières premières → fabrication par licencié → coût industriel du licencié
→ commercialisation par licencié**

PTC Systems valorise la technologie et la propriété intellectuelle.

8.2 Coût matières théorique par kg H₂S

1 kg H₂S → 137,06 kg BIOPOL® 5 % → $137,06 \times 0,14 \text{ €} = 19,19 \text{ €}$

Coût matières théorique $\approx 19,19 \text{ €/kg H}_2\text{S traité}$

Cette valeur constitue une référence stœchiométrique et non une garantie de consommation industrielle universelle.

8.3 Exemple — 500 m³/h et 2 500 ppm H₂S

Pour un biogaz de 500 Nm³/h à 2 500 ppmv H₂S,
le coût matières théorique est d'environ 0,073 €/Nm³, soit 36,46 €/h,
sur la base **BIOPOL® 5 %** : 137,06 kg de solution/kg H₂S, 0,14 €/kg et un volume molaire normal de 22,414 Nm³/kmol (0 °C, 1 atm).

Cet exemple montre l'importance de la charge soufrée.

L'évaluation économique doit considérer :

**Charge H₂S → objectif de traitement → consommation réelle → procédé concurrent
→ maintenance → consommables → corrosion → TCO**

8.4 Coût total de possession

L'analyse industrielle doit porter sur le TCO :

TCO = réactif + énergie + maintenance + consommables + résidus + indisponibilités + corrosion

BIOPOL® peut être étudié comme traitement principal, traitement curatif, prétraitement avant finition, réduction de charge avant charbon actif ou polishing selon la configuration.

9. COMPARAISON AVEC LES PRINCIPALES TECHNOLOGIES

Technologie	Atouts	Limites / contraintes	Positionnement possible de BIOPOL®
Micro-oxygénation	Simple, coût souvent faible	Procédé oxydant, dépendance biologique/opératoire	Traitement chimique externe non oxydant
Charbon actif	Mature, excellent polishing	Saturation, remplacement, charbon usagé	Réduction de charge avant charbon
Médias ferriques	Robustesse sur H ₂ S	Média solide, saturation, manutention	Traitement liquide sans lit réactif
Biofiltration	Faible consommation chimique possible	Biomasse, température, stabilité	Réaction chimique immédiate
Lavage oxydant	Rendements élevés possibles	Oxydants, corrosion, sous-produits	Transformation chimique non oxydante

BIOPOL® ne doit pas être comparé sur le seul prix du réactif mais sur l'ensemble :

Réactif → exploitation → maintenance → déchets → corrosion → disponibilité → TCO

10. APPLICATIONS BIOPOL®

Méthanisation agricole

**Biogaz brut → BIOPOL® → réduction H₂S/mercaptans → protection moteur
/ réduction odeurs / finition éventuelle**

Méthanisation territoriale et industrielle

Les unités présentant des débits de plusieurs centaines de Nm³/h constituent une application naturelle à étudier.

Le dosage doit être fonction de la **charge massique réelle en soufre**, et non du seul débit de biogaz.

Stations d'épuration

Les STEP regroupent plusieurs problématiques : réseaux, ouvrages couverts, traitement des boues, biogaz, désodorisation, H₂S, mercaptans et corrosion.

Traitement préventif → nitrates / sels ferriques

H₂S déjà formé → traitement curatif → BIOPOL®

Biométhane

BIOPOL® peut être étudié en amont de l'upgrading :

**BIOGAZ BRUT → BIOPOL® → réduction charge soufrée → membranes/adsorbants
→ upgrading → biométhane**

L'objectif est de protéger les équipements et de faciliter l'atteinte des spécifications finales.

11. EFFLUENTS LIQUIDES ET EXPLOITATION

La réaction ACTIPOLISH® conduit à une phase liquide contenant les produits issus de la transformation des composés soufrés ainsi que les sels associés au procédé.

Dans les applications STEP, les jus de traitement peuvent être réintroduits en tête de station lorsque leur composition et les conditions d'exploitation le permettent.

Les eaux de lavage ACTIPOLISH® sont conçues pour être compatibles avec un traitement biologique.

**Traitement gaz → phase liquide chargée → contrôle pH/composition → purge maîtrisée
→ traitement biologique / STEP selon conditions du site**

La gestion finale doit être définie au cas par cas en fonction de la concentration en sels, du pH, de la charge organique, des volumes de purge et des règles d'exploitation locales.

12. PRÉPARATION ET STABILITÉ DU RÉACTIF

Un développement important de la technologie ACTIPOLISH® concerne la préparation du principe actif à partir d'un réactif spécifique organique.

Cette voie permet la préparation des formulations commerciales :

**préparation du principe actif → ACTIPOL® 21,2 % ou BIOPOL® 5 %
→ solution commerciale stable**

La stabilité des solutions a été vérifiée pendant au moins : **1 an**

Les quantités, ordres d'introduction, conditions opératoires et paramètres détaillés de fabrication relèvent du savoir-faire PTC Systems et de la documentation confidentielle de la technologie.

Ils n'ont pas vocation à être intégralement divulgués dans ce dossier sectoriel.

13. PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

La technologie ACTIPOLISH® s'inscrit dans une stratégie de propriété intellectuelle comprenant notamment :

- certificat d'utilité antérieur publié ;
- demande de brevet antérieure ;
- marques ACTIPOL®, BIOPOL® et ACTIPOLISH® ;
- une nouvelle demande de brevet français déposée auprès de l'INPI en septembre 2026 sous le numéro **FR2612844**, destinée à servir de base à une extension internationale de la protection.

Cette nouvelle demande porte notamment sur les améliorations du procédé, la préparation du réactif et son utilisation industrielle.

Protection française → priorité → stratégie d'extension internationale → valorisation par licences

14. MODÈLE INDUSTRIEL PTC SYSTEMS

PTC Systems n'a pas vocation à imposer une chaîne intégrée de fabrication et de distribution.

Le modèle privilégié est celui de la :

LICENCE DE TECHNOLOGIE ET D'EXPLOITATION

PTC Systems concède au licencié le droit d'exploiter la technologie **ACTIPOLISH®**, dans le périmètre défini par l'accord de licence.

Le licencié assure ou fait assurer la fabrication, l'industrialisation et la commercialisation des solutions correspondantes.

PTC Systems conserve la propriété de ses droits de propriété intellectuelle et de son savoir-faire.

Le licencié peut fabriquer les solutions, les faire fabriquer par une société de son groupe ou un façonnier, optimiser ses achats, déterminer son coût industriel et organiser sa commercialisation.

Répartition du modèle :

PTC Systems → propriété intellectuelle + technologie + savoir-faire + accompagnement

Licencié → matières premières + fabrication + industrialisation + commercialisation

Marché → utilisation industrielle ACTIPOLISH®

La rémunération de **PTC Systems** repose principalement sur la valorisation de sa propriété intellectuelle et de son savoir-faire.

15. MÉTHODOLOGIE PTC SYSTEMS

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

ANALYSER : débit, H₂S, mercaptans, CO₂, température, humidité, variabilité.

CALCULER : charges massiques, besoin stœchiométrique, consommation théorique, ordre de grandeur économique.

TESTER : cinétique, transfert gaz/liquide, rendement, concentration résiduelle, consommation effective.

PILOTER : contacteur, recirculation, dosage, pH, purge, instrumentation.

DIMENSIONNER : extrapolation des résultats à l'installation industrielle.

INDUSTRIALISER : CAPEX, OPEX, automatisation, maintenance, sécurité et intégration au procédé.

16. POSITIONNEMENT INDUSTRIEL DE BIOPOL®

BIOPOL® n'est pas présenté comme une solution universelle remplaçant systématiquement toutes les technologies existantes.

Son positionnement repose sur la combinaison suivante :

**Chimie non oxydante → réaction SN2 → H₂S + mercaptans → alcalinité modérée
→ environnement riche en CO₂ → phase liquide → intégration adaptable**

Ses caractéristiques principales sont :

- transformation chimique non oxydante ;
- traitement ciblé du H₂S et des mercaptans ;
- formulation 5 % ;
- pH modéré ≈ 10–10,5 ;
- réaction immédiate sans adaptation biologique ;
- fonctionnement en phase liquide ;
- absence de lit solide réactif ;
- flexibilité d'intégration.

17. DONNÉES DE RÉFÉRENCE BIOPOL®

Paramètre	Valeur de référence
Principe actif	5 %
pH	≈ 10–10,5
Stabilité vérifiée	≥ 1 an
H ₂ S	2 équivalents
Mercaptans	1 équivalent
Actif pur / kg H ₂ S	6,853 kg
BIOPOL® 5 % / kg H₂S	137,06 kg
Coût matières BIOPOL®	0,14 €/kg
Coût matières théorique / kg H ₂ S	≈ 19,19 €
Nature du procédé	Non oxydant
Mécanisme	SN2
Milieus privilégiés	Biogaz, méthanisation, STEP, CO ₂ élevé

Les coûts indiqués sont exclusivement des coûts matières de référence et ne constituent pas des prix commerciaux.

18. RÉSERVES TECHNIQUES

Les calculs stœchiométriques constituent la base théorique du procédé.

La consommation industrielle réelle dépend du transfert gaz/liquide, du temps de contact, de la température, du pH, de la concentration des polluants, de la présence simultanée de plusieurs composés soufrés, du rendement recherché et de l'architecture du contacteur.

Les résultats obtenus avec **ACTIPOL®** démontrent les performances de la chimie **ACTIPOLISH®** dans les conditions précises des essais réalisés.

Ils ne doivent pas être assimilés automatiquement à des performances industrielles garanties de **BIOPOL®**.

Chaque nouvelle application doit suivre :

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

19. CONCLUSION GÉNÉRALE

BIOPOL® constitue la formulation de la plateforme **ACTIPOLISH®** spécifiquement positionnée pour les environnements riches en CO₂ et les applications où une alcalinité modérée présente un avantage.

La technologie repose sur une réaction :

**RAPIDE → NON OXYDANTE → SN2
→ TRANSFORMATION DES COMPOSÉS SOUFRÉS RÉDUITS**

Les éléments désormais acquis sont :

- chimie **ACTIPOLISH®** commune à **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** ;
- stœchiométrie définie ;
- **BIOPOL®** à 5 % ;
- pH ≈ 10–10,5 ;
- stabilité vérifiée ≥ 1 an ;
- coût matières de référence : 0,14 €/kg ;
- résultats industriels **ACTIPOL®** démontrant le fonctionnement de la plateforme chimique sur H₂S et mercaptans ;
- protection renforcée de la technologie ;
- modèle industriel orienté vers la licence.

BIOPOL® doit être évalué lorsque la combinaison suivante présente un avantage :

**H₂S + MERCAPTANS → TRAITEMENT NON OXYDANT → CO₂ ÉLEVÉ
→ BIOPOL® → POLLUTION SOUFRÉE RÉDUITE**

ACTIPOL® - DOSSIER COMPLET

ACTIPOL® DOSSIER COMPLET
Traitement chimique non oxydant du H₂S, des mercaptans et des composés soufrés réduits
DOSSIER TECHNIQUE, INDUSTRIEL ET ÉCONOMIQUE DE RÉFÉRENCE

Gaz contenant H₂S et mercaptans → ACTIPOL® → Gaz traité (absence H₂S et mercaptans)

Recirculation ACTIPOL®
Eaux de lavage vers STEP ou POA SYSTEM

- ✓ Élimination du H₂S et des mercaptans
- ✓ Réaction chimique non oxydante
- ✓ Haute sélectivité
- ✓ Simplicité de mise en œuvre
- ✓ Adaptation aux installations existantes
- ✓ Fiabilité industrielle
- ✓ Coûts maîtrisés

Applications :

- Raffinage et pétrochimie
- Produits pétroliers : Naphtas • Essences, Kérosènes • Gazoles
- Gaz industriels : Protection des équipements, Réduction de la corrosion, Valorisation énergétique
- Biogaz et biométhane : Traitement simultané H₂S et mercaptans
- STEP et assainissement : Réduction des odeurs et de la corrosion
- Syngas et valorisation énergétique : Prétraitement des gaz de gazéification et pyrolyse

Traitement chimique non oxydant du H₂S, des mercaptans et des composés soufrés réduits

DOSSIER TECHNIQUE, INDUSTRIEL ET ÉCONOMIQUE DE RÉFÉRENCE

1. ACTIPOL® DANS LE PROCÉDE PTC SYSTEMS

ACTIPOL® constitue, avec BIOPOL®, l'une des deux formulations de la plateforme ACTIPOLISH®, intégrée au PTC System :

PTC SYSTEMS → ACTIPOLISH® → ACTIPOL® + BIOPOL®

Les deux formulations utilisent une même logique chimique de fixation des composés soufrés réduits mais sont adaptées à des environnements différents.

ACTIPOL® : formulation concentrée et fortement alcaline, destinée en priorité au raffinage, à la pétrochimie, aux hydrocarbures, au polishing industriel et au traitement H₂S + mercaptans.

BIOPOL® : formulation au carbonate, plus diluée et à pH modéré, développée notamment pour les environnements riches en CO₂ et certaines applications environnementales.

ACTIPOL® et BIOPOL® sont complémentaires et non concurrents.

2. PROBLÉMATIQUE DU SOUFRE RÉDUIT

Les principaux composés concernés sont : H₂S, CH₃-SH, C₂H₅-SH, mercaptans R-SH et autres composés soufrés réduits. Ils peuvent provoquer odeurs, toxicité, corrosion, risques de sécurité, non-conformité des produits, perturbations des procédés aval et émissions atmosphériques.

Le traitement du soufre réduit constitue donc simultanément un problème de **procédé, sécurité, environnement et qualité produit**.

3. PRINCIPE CHIMIQUE D'ACTIPOL®

ACTIPOL® repose sur une **substitution nucléophile SN2**, différente des technologies d'oxydation ou de simple adsorption.

Le composé actif comporte un carbone activé de type :



où X représente un groupe partant, notamment un halogène ou pseudo-halogène. Le composé soufré réduit agit comme nucléophile et se fixe chimiquement sur ce carbone activé.

4. RÉACTION AVEC LE H₂S

Réaction globale de principe :



Une molécule de H₂S possède donc **2 équivalents réactifs**.

5. RÉACTION AVEC LES MERCAPTANS

Pour un mercaptan :

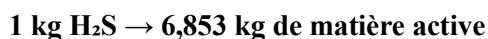


Le mercaptan possède **1 équivalent réactif**.

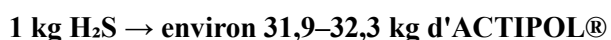
Cette différence H₂S/mercaptans doit impérativement être conservée dans les calculs.

6. BASE STœCHIO MÉTRIQUE DE RÉFÉRENCE

Pour le H₂S, la consommation théorique consolidée est :



Pour ACTIPOL® à environ 21,2–21,5 % :



La valeur exacte dépend du titre réel de la formulation.

7. FORMULATION ACTIPOL®

Paramètre	Valeur de référence
Matière active	≈ 21,2 %
Base	Soude
pH	≈ 13
Densité indicative	≈ 1,2 kg/L
H ₂ S	Réactif
Mercaptans	Réactifs
Mécanisme	Chimique non oxydant
Stabilité	> 1 an en milieu basique

8. STABILITÉ

ACTIPOL® présente une bonne stabilité en milieu basique, supérieure à un an dans des conditions appropriées de stockage. Cette propriété facilite stockage industriel, transport, constitution de stocks et injection continue ou intermittente.

Les conditions définitives sont précisées dans la fiche produit industrielle.

9. CARACTÈRE NON OXYDANT

ACTIPOL® ne repose ni sur l'hypochlorite, ni sur l'eau de Javel, ni sur une oxydation à l'air, ni sur la conversion recherchée des mercaptans en disulfures.

ACTIPOL® = fixation chimique du soufre réduit par substitution.

10. SECTEURS INDUSTRIELS CONCERNÉS

Secteur	Soufre réduit / problématique
Raffinage	H ₂ S, mercaptans, spécifications produits
Pétrochimie / hydrocarbures	H ₂ S, organosoufrés, polishing
Chimie / chimie fine	H ₂ S, mercaptans, composés odorants
Papeterie / pâte à papier	H ₂ S, composés soufrés réduits
Tanneries	Sulfures, H ₂ S
Agroalimentaire	H ₂ S, nuisances olfactives
Équarrissage	H ₂ S, mercaptans, odeurs
STEP urbaines et industrielles	H ₂ S, mercaptans, odeurs
Réseaux d'assainissement	Formation et dégagement de H ₂ S
Boues	H ₂ S, composés odorants
Méthanisation / biogaz	H ₂ S, mercaptans
Déchets / lixiviats	H ₂ S, soufre réduit, odeurs
Désodorisation / air industriel	H ₂ S, mercaptans

Cette liste n'est pas limitative. La présence effective de **H₂S ou de fonctions thiol réactives** constitue le premier critère chimique d'étude.

11. POSITIONNEMENT INDUSTRIEL

ACTIPOL® n'a pas vocation à remplacer systématiquement toutes les technologies existantes. Son intérêt dépend de la nature et concentration du soufre réduit, du débit, de la matrice, du CO₂, de l'eau, de la température, du temps de contact, des spécifications finales, des installations existantes et du coût global.

Positionnement privilégié : traitement ciblé et polishing.

12. ACTIPOL® EN RAFFINAGE

Après HDS, une coupe peut encore contenir du H₂S résiduel et des mercaptans :

HDS → SOUFRE RÉDUIT RÉSIDUEL → ACTIPOL® → POLISHING → PRODUIT TRAITÉ

ACTIPOL® intervient donc sur la charge soufrée réduite restant après le traitement principal.

13. COUPES PÉTROLIÈRES CONCERNÉES

ACTIPOL® peut notamment être étudié sur :

- **naphtha,**
- **essence,**
- **kérosène,**
- **gazole,**
- **distillats et autres coupes compatibles.**

Chaque matrice doit faire l'objet d'une validation spécifique.

14. SORTIE HDS

Ordres de grandeur étudiés :

- **Naphtha/essence** : H₂S typiquement 0–5 ppm ; mercaptans de quelques ppm à plusieurs dizaines de ppm selon procédé et charge.
- **Gazole/kérosène** : H₂S traces à quelques ppm ; mercaptans généralement plus faibles.

Ces valeurs restent indicatives : **le dimensionnement doit partir des analyses réelles du site.**

15. ARCHITECTURE ACTIPOL®

**STOCKAGE → DOSAGE → MÉLANGE/CONTACT → RÉACTION
→ SÉPARATION DES PHASES → LAVAGE SI NÉCESSAIRE → PRODUIT TRAITÉ**

Le dimensionnement dépend notamment du débit, de la viscosité, de la température, du mélange, du temps de contact et de la séparation eau/hydrocarbure.

16. ACTIPOL® ET MEROX

MEROX fonctionne schématiquement selon :

**LAVAGE ALCALIN → EXTRACTION MERCAPTANS → OXYDATION À L'AIR
→ DISULFURES → RÉGÉNÉRATION/RECYCLAGE**

ACTIPOL® fonctionne par réaction chimique directe. La comparaison doit donc intégrer **CAPEX + réactifs + énergie + air + catalyseur + exploitation + maintenance + effluents + gestion des disulfures.**

17. ACTIPOL® EN COMPLÉMENT DE MEROX

L'approche recherchée n'est pas nécessairement MEROX ou ACTIPOL®, mais :

**HDS → TRAITEMENT PRINCIPAL OPTIMISÉ → CHARGE RÉSIDUELLE
→ ACTIPOL® → SPÉCIFICATION FINALE**

L'objectif est de déterminer la **zone de bascule économique** où le polishing ACTIPOL® devient pertinent.

18. IMPORTANCE DES MERCAPTANS

Dans plusieurs cas de raffinage étudiés, la consommation d'ACTIPOL® est davantage déterminée par les mercaptans que par le H₂S résiduel.

Quelques ppm de H₂S peuvent représenter une faible charge tandis que **100–150 ppm de mercaptans** deviennent déterminants dans le bilan matière et économique.

19. MÉTHODE DE CALCUL INDUSTRIEL

DÉBIT → DENSITÉ → ppm H₂S → ppm MERCAPTANS → MASSES
→ STœCHIMÉTRIE → ACTIPOL® → COÛT

H₂S et mercaptans doivent être calculés **séparément**, puis additionnés.

20. CAS DE RÉFÉRENCE RAFFINAGE— 8 000 m³/j gazole

Cas étudié : 8 000 m³/j ; densité 0,80–0,83 ; H₂S 5 ppm ; mercaptans 120–150 ppm.

Dans cette configuration, la charge en mercaptans représente l'essentiel de la consommation.
Ce cas reste un exemple économique utile mais doit être recalculé avec la stœchiométrie définitive et la composition exacte des mercaptans lorsque celle-ci est connue.

21. COÛT MATIÈRES ACTIPOL®

Référence actuelle :

0,53 €/kg d'ACTIPOL® — matières premières seules

Cette valeur **n'est pas un prix de vente**.

Prix final = matières + fabrication + conditionnement + logistique + frais + marge.

22. CALCUL ÉCONOMIQUE

Consommation ACTIPOL® (kg) × 0,53 €/kg = coût matières

puis :

Coût matières journalier ÷ volume traité = €/m³

La comparaison industrielle doit toutefois porter sur le **coût global du traitement**, et non uniquement sur le prix des réactifs.

23. STEP ET ASSAINISSEMENT

ACTIPOL® a été étudié dans le traitement des eaux et du H₂S. Les essais historiques réalisés avec ACTIPOL® restent importants pour démontrer le comportement de la chimie.

Cependant, dans certains environnements aqueux et/ou riches en CO₂, **BIOPOL® est aujourd'hui la formulation privilégiée**, grâce à son carbonate et à son pH plus modéré.

24. ESSAIS ACTIPOL® — RÈGLE DE PRÉSENTATION

ESSAI RÉALISÉ AVEC ACTIPOL® = RÉSULTAT ACTIPOL®

Les essais ACTIPOL® ne doivent pas être présentés comme des essais BIOPOL®. Ils peuvent seulement servir, lorsque cela est chimiquement justifié, de **preuve de concept de la chimie commune**.

Les performances spécifiques de BIOPOL® doivent être validées séparément.

25. BIOGAZ ET MÉTHANISATION

Les essais ACTIPOL® réalisés sur des flux contenant H₂S et mercaptans apportent des informations sur la réactivité du système.

Cependant :

BIOGAZ / CO₂ IMPORTANT → BIOPOL® PRIORITAIRE

MILIEU COMPATIBLE / POLISHING / H₂S + MERCAPTANS → ACTIPOL®

26. TRAITEMENT DES ODEURS

Le H₂S et les mercaptans sont responsables de nombreuses odeurs industrielles. ACTIPOL® peut être étudié lorsque ces molécules constituent effectivement la nuisance.

L'objectif n'est pas de masquer l'odeur mais de **réagir chimiquement avec les composés responsables**.

27. EAUX DE LAVAGE — BIO-DÉGRADABILITÉ

Après traitement, une étape de lavage peut être utilisée lorsque la matrice le nécessite.

En raffinage, les volumes envisagés sont de l'ordre de **1 à 2 L d'eau/m³ d'hydrocarbure**, à confirmer industriellement.

Les eaux de lavage issues du procédé ACTIPOL® sont biodégradables.

Elles peuvent être dirigées vers la **STEP du site** pour traitement biologique, sous réserve de compatibilité avec sa capacité, son pH admissible, sa charge organique, sa salinité et les prescriptions locales.

Le procédé vise à éviter la **régénération du H₂S et des mercaptans initialement captés**. Le comportement des produits de réaction dans la filière d'effluents devra être confirmé pour chaque application industrielle.

28. ACTIPOL® FACE À L'HYPOCHLORITE

Critère	ACTIPOL®	Hypochlorite
Principe	Substitution	Oxydation
H ₂ S	Oui	Oui
Mercaptans	Oui	Selon conditions
Oxydant	Non	Oui
Chlore actif	Non	Oui
Sous-produits chlorés liés au procédé	Non	À considérer

Le choix final doit également intégrer coût, matrice, sécurité, exploitation et effluents.

29. TECHNOLOGIES CONCURRENTES OU COMPLÉMENTAIRES

Selon l'application :

- charbon actif,
- médias fer,
- hypochlorite,
- oxydation chimique,
- traitement biologique,
- bio-trickling,
- lavage alcalin,
- MEROX et autres procédés de désulfuration.

ACTIPOL® peut être utilisé comme **traitement principal, complémentaire ou polishing final**.

30. INTÉRÊT DU POLISHING

Un traitement primaire peut éliminer économiquement l'essentiel du contaminant mais devenir moins performant ou plus coûteux pour atteindre les dernières ppm.

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

L'objectif est d'utiliser chaque technologie dans sa **zone optimale d'efficacité et de coût**.

31. LIMITES ET PRÉCAUTIONS

Le dimensionnement nécessite : **débit, matrice, densité, nature et masse molaire des composés soufrés, température, pH, CO₂, autres espèces réactives, temps de contact, mélange et séparation.**

La stœchiométrie définit le **besoin chimique théorique** ; elle est confirmée par la validation expérimentale.

32. MÉTHODOLOGIE INDUSTRIELLE

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

Analyser la charge → **Calculer** la stœchiométrie → **Tester** sur matrice réelle → **Piloter** les conditions opératoires → **Dimensionner** l'installation → **Industrialiser** et établir l'économie globale.

33. TROIS NIVEAUX DE VALIDATION

Niveau 1 — Stœchiométrie : données résultant directement de la réaction chimique.

Niveau 2 — Essais ACTIPOL® : performances réellement observées expérimentalement ou industriellement.

Niveau 3 — À valider : extrapolations ou nouvelles applications nécessitant un pilote.

Cette distinction doit être conservée dans toutes les présentations techniques et commerciales.

34. ACTIPOL® / BIOPOL® — FRONTIÈRE

Paramètre	ACTIPOL®	BIOPOL®
Matière active	≈21,2 %	5 %

Base	Soude	Carbonate
pH	≈13	≈10–10,5
H ₂ S	Oui	Oui
Mercaptans	Oui	À étudier selon application
CO ₂ important	Moins favorable	Prioritaire
Raffinage	Prioritaire	Non prioritaire
Polishing hydrocarbures	Oui	Non prioritaire
Biogaz riche CO ₂	Moins favorable	Prioritaire
STEP/environnement	Selon application	Positionnement privilégié

La frontière dépend donc de **l'ensemble de la matrice industrielle**, et non seulement de la molécule soufrée.

35. ACTIPOL® DANS ACTIPOLISH®

$$\text{ACTIPOLISH®} = \text{ACTIPOL®} + \text{BIOPOL®}$$

ACTIPOL® : formulation concentrée — soude — pH ≈13

BIOPOL® : formulation carbonate — 5 % — pH ≈10–10,5

**UNE MÊME LOGIQUE CHIMIQUE → DEUX FORMULATIONS
ADAPTÉES AUX CONDITIONS INDUSTRIELLES**

36. INTÉRÊTS POTENTIELS D'ACTIPOL®

ACTIPOL® associe :

- réaction avec **H₂S + mercaptans**,
- mécanisme **non oxydant**,
- formulation concentrée,
- traitement simultané possible,
- intégration après traitement principal,
- fonction de polishing,
- simplification potentielle de certaines chaînes de traitement et **eaux de lavage biodégradables pouvant être orientées vers une STEP compatible**.

Ces avantages doivent être confirmés pour chaque application réelle.

37. LOGIQUE ÉCONOMIQUE

La question n'est pas seulement :

« **ACTIPOL® est-il moins cher ?** » mais :

« Pour quelle charge soufrée et dans quelle configuration ACTIPOL® permet-il de minimiser le coût global nécessaire pour atteindre la spécification ? »

L'analyse doit intégrer consommation, point d'injection, traitement principal, polishing, CAPEX, OPEX, exploitation et effluents.

38. POSITIONNEMENT INDUSTRIEL GLOBAL

ACTIPOL® peut être étudié lorsque sont réunies :

**SOUFRE RÉDUIT → ACCESSIBILITÉ DU H₂S / DES FONCTIONS THIOL
→ CONDITIONS DE PROCÉDÉ COMPATIBLES → INTÉRÊT TECHNICO-ÉCONOMIQUE**

Son champ potentiel dépasse le raffinage, même si celui-ci constitue un domaine privilégié en raison de la présence possible simultanée de H₂S et mercaptans et des faibles spécifications finales recherchées.

39. SYNTHÈSE

ACTIPOL® est une formulation concentrée destinée au traitement du **H₂S, des mercaptans et de certains composés soufrés réduits** par **substitution nucléophile SN2 non oxydante**.

Base stœchiométrique H₂S :

1 kg H₂S → 6,853 kg de matière active → ≈32 kg d'ACTIPOL® à ~21,2 %

Les mercaptans sont calculés séparément selon leur masse molaire et une stœchiométrie de **1 équivalent/molécule R-SH**.

ACTIPOL® trouve un positionnement privilégié dans le **polishing industriel et le raffinage**, mais peut être étudié dans de nombreux secteurs confrontés au soufre réduit.

Les **eaux de lavage sont biodégradables** et peuvent être dirigées vers une STEP compatible, sous réserve de validation des caractéristiques de l'effluent et des capacités de la station.

40. POSITIONNEMENT FINAL

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER → DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

ACTIPOLISH® = ACTIPOL® + BIOPOL®

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

ACTIPOL® - Le polishing optimisé des raffineries modernes.

Une solution de traitement chimique non oxydant du H₂S et des mercaptans pour les industries confrontées au soufre réduit.

BIOPOL® - DOSSIER COMPLET



BIOPOL® DOSSIER COMPLET
Désulfuration sélective des biogaz, gaz industriels et émissions soufrées
Formulation carbonatée de la plateforme ACTIPOLISH®

Biogaz brut (H₂S + CO₂ + autres gaz) → Biogaz désulfuré (vers épuration et valorisation)

Recirculation BIOPOL® (solution carbonatée)

Eaux de lavage vers STEP ou POA SYSTEM

- ✓ Élimination sélective du H₂S
- ✓ Adapté aux environnements riches en CO₂
- ✓ Formulation carbonatée (5 % actif)
- ✓ Réaction chimique non oxydante
- ✓ Haute sélectivité
- ✓ Simplicité de mise en œuvre
- ✓ Adaptation aux installations existantes
- ✓ Eaux de lavage facilement traitables
- ✓ Coûts maîtrisés

Biogaz et biométhane
Méthanisation agricole et territoriale

Gaz industriels
Gaz de procédés et émissions soufrées

STEP et assainissement
Réseaux, ouvrages, boues et biogaz

Compostage et biodéchets
Réduction des émissions odorantes soufrées

Sites de déchets
Captage et traitement des émissions soufrées

Autres secteurs
Chimie, énergie, valorisation énergétique

Désulfuration sélective des biogaz, gaz industriels et émissions soufrées

Formulation carbonatée de la plateforme ACTIPOLISH®

1. POSITIONNEMENT GÉNÉRAL

ACTIPOLISH® = ACTIPOL® + BIOPOL®

ACTIPOL® et BIOPOL® constituent deux formulations complémentaires reposant sur une même logique chimique de transformation non oxydante des composés soufrés réduits. Le choix de la formulation dépend de la nature du flux à traiter et de son environnement chimique.

ACTIPOL® est une formulation fortement alcaline, particulièrement adaptée au raffinage pétrolier, au polishing après HDS, au traitement du H₂S et des mercaptans et aux applications nécessitant une forte réactivité.

BIOPOL® est une formulation carbonatée à alcalinité plus modérée, développée notamment pour les biogaz, la méthanisation, les gaz riches en CO₂, les STEP, l'assainissement, les gaz industriels, certains syngas, les émissions diffuses de H₂S, les nuisances olfactives et certaines applications environnementales extérieures.

BIOPOL® — formulation de référence	Valeur
Actif	5 %
Base alcaline	Carbonate de sodium
pH	≈ 10–10,5
Procédé	Non oxydant

BIOPOL® n'est donc pas simplement une version diluée d'ACTIPOL®. Sa formulation répond à une logique différente d'utilisation, notamment en présence de fortes concentrations de CO₂.

2. PARTICULARITÉ DU BIOGAZ

Le biogaz issu de méthanisation contient généralement :



Les concentrations en H_2S sont très variables selon la nature des intrants, les conditions biologiques, le fonctionnement du digesteur et les traitements déjà présents.

Le CO_2 représente une fraction importante du gaz, alors que le H_2S constitue un contaminant minoritaire mais particulièrement corrosif, toxique et indésirable.

Objectif industriel : éliminer sélectivement une charge soufrée relativement faible dans un flux contenant une quantité importante de CO_2 .

Une solution fortement sodique peut entraîner une consommation alcaline liée au CO_2 . **BIOPOL®** utilise donc une formulation au carbonate à pH plus modéré.

3. OBJECTIF DE BIOPOL®

BIOPOL® n'a pas pour fonction principale d'éliminer le CO_2 .
Son objectif est de :

traiter les composés soufrés réduits sans rechercher simultanément une décarbonatation massive du gaz.

BIOPOL® est donc une technologie de **désulfuration** et non une technologie d'upgrading du biogaz.

Lorsque la production de biométhane est recherchée :



4. PRINCIPE CHIMIQUE

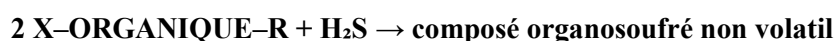
BIOPOL® ne repose ni sur une simple adsorption du H_2S ni sur son oxydation.



Dans le milieu carbonaté, le H_2S transféré vers la phase liquide peut être présent sous forme bisulfure HS^- .
Le soufre réduit réagit ensuite avec l'actif électrophile **BIOPOL®** selon la chimie de substitution nucléophile SN_2 commune à la plateforme **ACTIPOLISH®**.

5. RÉACTION AVEC LE H_2S

Base réactionnelle retenue :



La transformation vise à fixer chimiquement le soufre sous une forme non volatile transférée vers la phase liquide. Il ne s'agit donc pas seulement de déplacer l'équilibre entre H_2S gazeux et H_2S dissous.

6. RÉACTION AVEC LES MERCAPTANS

Les mercaptans ou thiols peuvent également réagir selon la même logique SN_2 :



1 mole de mercaptan = 1 équivalent réactif

Cette propriété peut présenter un intérêt particulier lorsqu'un traitement primaire élimine correctement le H₂S mais laisse subsister certains composés organosoufrés odorants.

La spéciation du soufre doit donc être prise en compte dans chaque étude.

7. BASE STœCHIMÉTRIQUE DE RÉFÉRENCE H₂S

La feuille de calcul de référence conduit à : **1 kg H₂S = 6,853 kg d'actif pur**

Cette quantité d'actif constitue la base commune de calcul pour **ACTIPOL®** et **BIOPOL®**.

Produit	Actif	Calcul	Solution/kg H ₂ S
BIOPOL®	5 %	6,853 / 0,05	137,06 kg
ACTIPOL®	21,2 %	6,853 / 0,212	32,33 kg

Donc :

1 kg H₂S → 137,06 kg BIOPOL® à 5 %

1 kg H₂S → 32,33 kg ACTIPOL® à 21,2 %

8. COÛTS MATIÈRES DE RÉFÉRENCE

Les valeurs suivantes correspondent exclusivement au **COÛT MATIÈRES SEUL**

Elles ne constituent ni un prix de vente ni un coût industriel complet.

Produit	Coût matières seul
BIOPOL®	0,14 €/kg de solution
ACTIPOL®	0,53 €/kg de solution

Ces valeurs n'intègrent pas :

- fabrication,
- main-d'œuvre,
- énergie,
- conditionnement,
- stockage,
- transport,
- marge commerciale,
- installation,
- maintenance, exploitation et traitement éventuel des effluents.

9. COÛT MATIÈRES THÉORIQUE PAR kg DE H₂S

Produit	Besoin/kg H ₂ S	Coût matières/kg	Coût matières/kg H ₂ S
BIOPOL®	137,06 kg	0,14 €	19,19 €
ACTIPOL®	32,33 kg	0,53 €	17,13 €

Calculs :

BIOPOL® : $137,06 \times 0,14 = 19,19$ €/kg H₂S

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

Malgré leurs concentrations très différentes, les deux formulations conduisent donc à des coûts matières théoriques par kg de H₂S relativement proches.

Le choix entre ACTIPOL® et BIOPOL® ne doit pas être fondé sur ce seul coût matières, mais avant tout sur les conditions du procédé et la nature du flux traité.

10. POSITIONNEMENT EN MÉTHANISATION

BIOPOL® peut être étudié :

- en traitement direct sur certaines charges ;
- en polishing ; après traitement biologique ;
- après média fer ;
- après une autre désulfuration primaire ; pour absorber les pointes de H₂S ;
- pour traiter une charge soufrée résiduelle ;
- comme traitement complémentaire.

Le choix doit être déterminé à partir des données réelles de l'installation.

11. ARCHITECTURE DE POLISHING

**BIOGAZ BRUT → DÉSULFURATION PRINCIPALE → H₂S / MERCAPTANS RÉSIDUELS
→ BIOPOL® → BIOGAZ POLI**

Cette configuration présente un intérêt potentiel lorsque la désulfuration principale réalise l'abattement massif mais que la concentration résiduelle fluctue, que des pointes de H₂S subsistent, que des mercaptans restent présents ou qu'une spécification finale basse doit être maintenue.

BIOPOL® devient alors un traitement de finition et de sécurisation de la qualité finale du gaz.

12. TRAITEMENT DIRECT OU POLISHING

Traitement direct :

BIOGAZ BRUT → BIOPOL® → GAZ TRAITÉ

Traitement combiné :

BIOGAZ BRUT → DÉSULFURATION PRINCIPALE → BIOPOL® → GAZ POLI

Plus la concentration initiale en H₂S augmente, plus la consommation stœchiométrique de BIOPOL® augmente. L'étude économique doit donc déterminer la zone dans laquelle le traitement direct reste pertinent et celle dans laquelle un traitement primaire suivi d'un polishing **BIOPOL®** devient préférable.

13. MISE EN ŒUVRE GAZ/LIQUIDE

**GAZ CONTAMINÉ → CONTACTEUR GAZ/LIQUIDE ↔ RECIRCULATION BIOPOL®
→ SÉPARATION GAZ/LIQUIDE → GAZ TRAITÉ**

Les équipements pouvant être étudiés comprennent :

- Venturi scrubber,
- colonne à garnissage,
- tour de lavage,
- spray tower,
- scrubber compact et boucle de lavage.

Le dimensionnement dépend notamment du :

- débit gazeux,
- H₂S,
- mercaptans,
- CO₂,
- température,
- pression,
- humidité,
- temps de contact,
- perte de charge admissible et spécification de sortie.

14. AUTOMATISATION

Le dosage peut être adapté à la concentration H₂S en entrée et en sortie, au débit de gaz et à la charge en mercaptans lorsqu'elle est connue.

MESURER → CALCULER → DOSER → TRAITER → CONTRÔLER → AJUSTER

Cette adaptation à la charge réelle constitue une caractéristique importante du traitement liquide.

15. BIOPOL® ET CHARBON ACTIF

BIOPOL® ne doit pas être présenté comme simplement « **un charbon actif moins cher** ». Il s'agit de deux logiques de traitement différentes.

Charbon actif	BIOPOL®
Média solide	Réactif liquide
Capacité de traitement déterminée	Réaction chimique
Surveillance de saturation	Dosage ajustable
Remplacement ou régénération	Contact gaz/liquide
Gestion du média usé	Produits de réaction transférés en phase liquide

La comparaison économique doit porter sur :

**CONSOMMABLES + ÉNERGIE + MAINTENANCE + MANUTENTION + DÉCHETS
+ ARRÊTS + DISPONIBILITÉ**

Le coût matières seul de **BIOPOL®** ne suffit pas à établir à lui seul sa compétitivité industrielle.

16. TABLEAU ÉCONOMIQUE THÉORIQUE BIOPOL®

Base : **BIOPOL® 5 % actif** — 137,06 kg/kg H₂S — coût matières seul 0,14 €/kg.

H ₂ S	H ₂ S approx. g/Nm ³	BIOPOL® approx. kg/Nm ³	Coût matières seul
100 ppm	0,152	0,0208	0,0029 €/Nm ³
500 ppm	0,760	0,1042	0,0146 €/Nm ³

800 ppm	1,216	0,1667	0,0233 €/Nm³
1 000 ppm	1,520	0,2084	0,0292 €/Nm³
2 500 ppm	3,801	0,5210	0,0729 €/Nm³
3 000 ppm	4,561	0,6252	0,0875 €/Nm³
5 000 ppm	7,602	1,0420	0,1459 €/Nm³
10 000 ppm	15,205	2,0840	0,2918 €/Nm³

IMPORTANT — Ces valeurs correspondent uniquement au **COÛT MATIÈRES THÉORIQUE** et non au coût industriel complet du traitement.

17. EXEMPLE — 500 Nm³/h à 2 500 ppm H₂S

Charge H₂S : $500 \times 3,801 = 1\,900,6 \text{ g/h} \approx 1,901 \text{ kg/h}$.

Besoin BIOPOL® : $1,901 \times 137,06 \approx 260,5 \text{ kg/h}$.

Coût matières : $\approx 36,47 \text{ €/h}$. Coût rapporté au gaz : $\approx 0,0729 \text{ €/Nm}^3$.

Coût matières théorique $\approx 7,29 \text{ centimes/Nm}^3$.

18. EXEMPLE — 600 Nm³/h à 800 ppm H₂S

Conversion de référence (0 °C, 1 atm) : $800 \text{ ppmv} \approx 1\,216,4 \text{ mg H}_2\text{S/Nm}^3$.

Charge H₂S : $600 \times 1,2164 \approx 729,8 \text{ g/h} = 0,730 \text{ kg/h}$. BIOPOL® : $\approx 100,0 \text{ kg/h}$.

Coût matières : $\approx 14,00 \text{ €/h}$, soit $\approx 0,0233 \text{ €/Nm}^3$.

Sur 24 h : BIOPOL® $\approx 2\,400 \text{ kg/jour}$ — coût matières $\approx 336 \text{ €/jour}$.

19. EXEMPLE — 1 000 Nm³/h à 3 000 ppm H₂S

À environ $4,561 \text{ g H}_2\text{S/Nm}^3$ (0 °C, 1 atm) :

Charge : $\approx 4,561 \text{ kg H}_2\text{S/h}$. BIOPOL® : $\approx 625,2 \text{ kg/h}$.

Coût matières : $\approx 87,53 \text{ €/h}$, soit $\approx 0,0875 \text{ €/Nm}^3$.

20. INTÉRÊT POTENTIEL DU POLISHING

La diminution de la charge H₂S avant BIOPOL® entraîne directement une diminution de la consommation stœchiométrique.

H ₂ S résiduel	Coût matières théorique
100 ppm	$\approx 0,0014 \text{ €/Nm}^3$
500 ppm	$\approx 0,0069 \text{ €/Nm}^3$
800 ppm	$\approx 0,0110 \text{ €/Nm}^3$

Cela montre l'intérêt particulier à étudier BIOPOL® comme traitement de polishing après une désulfuration primaire. Le coût industriel réel devra cependant être déterminé par essais et pilote.

21. ESSAI INDUSTRIEL HISTORIQUE ACTIPOL®

Une donnée expérimentale importante de la plateforme ACTIPOLISH® provient d'un essai réalisé dans les conditions suivantes :

Paramètre	Valeur
Débit gaz	1 000 m³/h
H ₂ S	4 ppm
EtSH	30 ppm
Durée	30 h
Recirculation	7,5 m³/h
Actif pur consommé	21 kg

POINT ESSENTIEL : cet essai a été effectué avec ACTIPOL® et non avec BIOPOL®.

Il constitue une donnée expérimentale utile concernant la chimie ACTIPOLISH®, mais ne doit jamais être présenté comme un essai industriel BIOPOL®. BIOPOL® devra faire l'objet de sa propre validation expérimentale.

22. STEP ET ASSAINISSEMENT

BIOPOL® peut être étudié pour certaines applications liées aux :

- réseaux,
- postes de relevage,
- ouvrages confinés,
- bassins,
- boues,
- digestion et désodorisation.

Cependant :

Les essais historiques réalisés en STEP Seine Aval – PARIS avec la technologie PTC Systems ont utilisé ACTIPOL®.

L'expérience industrielle citée chez Chevron Oronite concernait également ACTIPOL®.

Ces références constituent une expérience de la chimie ACTIPOLISH®, mais ne doivent pas être attribuées à BIOPOL®.

23. ÉMISSIONS DIFFUSES

BIOPOL® peut également être étudié pour des applications hors contacteur fermé :

**SOURCE ÉMISSIVE → PULVÉRISATION BIOPOL® → CAPTURE H₂S
→ RÉACTION → FIXATION DU SOUFRE**

Applications potentielles :

- bassins,
- lagunes,
- stockages organiques,
- digestats,
- zones de chargement,

- biomasses en décomposition et surfaces générant du H₂S.

24. APPLICATION AUX ALGUES VERTES

La décomposition anaérobie d'algues vertes peut générer des émissions de H₂S.

BIOPOL® peut être étudié comme traitement par pulvérisation destiné à réduire les émissions à proximité de leur source.

**ALGUES EN DÉCOMPOSITION → H₂S → PULVÉRISATION BIOPOL® → CAPTURE
→ FIXATION CHIMIQUE → BIO-DEGRADATION SUR PLACE**

Cette application doit cependant être spécifiquement validée. Les paramètres à étudier comprennent :

- efficacité H₂S,
- dosage au m²,
- fréquence de pulvérisation,
- biodégradabilité naturelle,
- écotoxicité,
- impact sur les sols et les eaux et sécurité des opérateurs.

Les propriétés environnementales ne doivent pas être considérées comme démontrées avant les essais correspondants.

25. EFFLUENTS LIQUIDES

Les produits de réaction sont transférés vers la phase liquide. Selon le site, les jus pourront éventuellement être orientés vers **une STEP, un traitement interne ou une filière spécifique**.

Cette orientation devra être validée à partir notamment :

- du pH,
- de la salinité,
- de la charge organique,
- du soufre,
- des produits de réaction,
- de la capacité de la STEP et des contraintes réglementaires locales.

26. STATUT DES DONNÉES

Niveau	Statut	Contenu
A	Chimie de référence	Principe SN2, transformation non oxydante, actif commun ACTIPOLISH® , base stœchiométrique
B	Expériences ACTIPOL®	Résultats effectivement obtenus avec ACTIPOL® , non présentés comme essais BIOPOL®
C	Calculs BIOPOL®	Charge H ₂ S, ratio de référence, concentration 5 %, coût matières seul 0,14 €/kg
D	Performances BIOPOL® à valider	Rendement, cinétique, transfert gaz/liquide, consommation réelle, influence CO ₂ , mercaptans, recirculation, durée d'utilisation du bain, effluents, coût industriel réel

27. DU COÛT MATIÈRES AU COÛT INDUSTRIEL

Trois niveaux économiques doivent être clairement distingués :

Niveau	Définition
1 — Coût matières	BIOPOL® 0,14 €/kg — ACTIPOL® 0,53 €/kg
2 — Coût du produit fabriqué	Matières + fabrication + énergie + main-d'œuvre + contrôle qualité + conditionnement + stockage
3 — Coût du traitement industriel	Produit fabriqué + consommation réelle + contacteur + pompage + instrumentation + maintenance + transport + effluents + exploitation

Le coût matières théorique ne doit pas être présenté comme le coût industriel annoncé au client.

28. DONNÉES NÉCESSAIRES POUR UNE ÉTUDE DE SITE

Gaz : débit Nm³/h ; H₂S entrée ; H₂S sortie recherchée ; mercaptans ; autres composés soufrés ; CO₂ ; CH₄ ; humidité ; température ; pression.

Installation : technologie existante ; contacteur ; recirculation ; instrumentation ; stockage ; possibilités de traitement des jus.

Économie : coût de la désulfuration actuelle ; consommables ; médias ; fréquence de remplacement ; déchets ; main-d'œuvre ; maintenance ; arrêts ; disponibilité.

29. PROGRAMME DE VALIDATION BIOPOL®

ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER
→ DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER

ANALYSER — Déterminer le flux réel et la spéciation du soufre.

CALCULER — Établir le besoin stœchiométrique et le coût matières théorique.

TESTER — Vérifier la réaction sur une matrice représentative.

PILOTER — Tester BIOPOL® dans les conditions réelles.

DIMENSIONNER — Déterminer consommation réelle, contacteur, recirculation, automatisation, stockage, effluents et coût industriel.

INDUSTRIALISER — Définir l'installation définitive et ses conditions d'exploitation.

30. POSITIONNEMENT FINAL

ACTIPOLISH® = ACTIPOL® + BIOPOL®

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

ACTIPOL® — Le polishing optimisé des raffineries modernes et des applications nécessitant une forte réactivité.

BIOPOL® — La désulfuration sélective adaptée aux biogaz, aux environnements riches en CO₂ et aux applications à alcalinité modérée.

BASES DE RÉFÉRENCE À CONSERVER

Référence	BIOPOL®	ACTIPOL®
Concentration actif	5 %	21,2 %

Actif pur/kg H ₂ S	6,853 kg	6,853 kg
Solution/kg H ₂ S	137,06 kg	32,33 kg
Coût matières seul	0,14 €/kg	0,53 €/kg
Coût matières théorique/kg H ₂ S	19,19 €	17,13 €

NE PAS CONFONDRE COÛT MATIÈRES, COÛT DU PRODUIT FABRIQUÉ ET COÛT DU TRAITEMENT INDUSTRIEL.

NE PAS CONFONDRE POTENTIEL TECHNIQUE ET PERFORMANCE DÉMONTRÉE.

Toute proposition industrielle doit être établie à partir des données réelles du site selon la démarche :

**ANALYSER → CALCULER → TESTER → PILOTER
→ DIMENSIONNER → INDUSTRIALISER**

PTC SYSTEMS — PRODUITS GAZIERS



PTC Systems
PRODUITS GAZIERS
Désulfuration et purification des produits gaziers
UNE SOLUTION SÉLECTIVE, EFFICACE ET INDUSTRIALISABLE

Gaz contenant H_2S et mercaptans →

ACTIPOL®

Gaz traité (absence H_2S et mercaptans)

Recirculation ACTIPOL®

ACTIPOL® 21,2 % actif pH ~ 13

Eaux de lavage vers STEP ou POA SYSTEM

- ✓ Élimination du H_2S et des mercaptans
- ✓ Réaction chimique non oxydante
- ✓ Haute sélectivité
- ✓ Adapté à différents types de gaz
- ✓ Protection des équipements
- ✓ Réduction de la corrosion
- ✓ Intégration aux installations existantes
- ✓ Exploitation simple et fiable
- ✓ Coûts maîtrisés

 Gaz de raffinerie Off-gaz, gaz de tête, gaz de craquage	 Gaz naturel et biométhane Élimination du H_2S et des mercaptans	 Hydrogène Purification des gaz pour applications H_2	 GNL (LNG) Traitement des gaz associés et boil-off	 Gaz industriels Air, azote, CO_2 , gaz spéciaux et mélanges	 Gaz de torchère Réduction des émissions soufrées et des odeurs	 Transport et stockage Qualité des gaz et protection des réseaux
---	---	--	---	--	--	---

Désulfuration et purification des produits gaziers

Une solution industrielle pour des gaz plus propres, plus sûrs et mieux valorisés

PTC Systems développe des solutions destinées au traitement et à la purification des gaz combustibles d'origine fossile ou renouvelable.

La plateforme **ACTIPOLISH®** intervient notamment dans l'élimination des **composés soufrés réduits**, en particulier le **sulfure d'hydrogène (H_2S)** et les **mercaptans**.

Elle repose sur deux formulations complémentaires :

- **ACTIPOL®**, destiné notamment au traitement des gaz et effluents contenant du H_2S et des mercaptans lorsque les conditions de procédé permettent l'emploi d'une formulation fortement alcaline ;
- **BIOPOL®**, formulation à alcalinité modérée, particulièrement adaptée aux gaz riches en CO_2 , notamment au **biogaz**.

Le traitement peut être complété par le procédé **POA**, destiné à la minéralisation des jus aqueux issus du lavage lorsque cette étape est nécessaire.

Cette approche répond à plusieurs enjeux industriels :

- réduction des composés soufrés corrosifs et malodorants ;
- protection des équipements ;
- amélioration de la qualité des gaz ;
- réduction des nuisances environnementales ;
- valorisation énergétique des gaz traités.

LES PRODUITS GAZIERS CONCERNÉS

Les besoins de purification concernent aussi bien les gaz d'origine fossile que les gaz renouvelables ou issus de procédés thermochimiques.

1. — Gaz naturel

Le gaz naturel est principalement constitué de méthane (CH_4), mais le gaz brut peut également contenir différentes impuretés dont :

- du sulfure d'hydrogène (H_2S) ;
- des composés organiques soufrés ;
- du dioxyde de carbone (CO_2) ;
- de la vapeur d'eau ;
- différents constituants susceptibles d'affecter sa qualité ou son utilisation.

Avant son transport, son stockage ou son utilisation, le gaz doit être traité afin de satisfaire aux spécifications correspondant à sa destination.

La désulfuration constitue alors l'une des opérations essentielles de purification.

La technologie PTC Systems peut intervenir comme procédé de traitement ou de finition des composés soufrés résiduels.

2. — Les gaz renouvelables

Les gaz renouvelables occupent une place croissante dans la production énergétique.

Ils nécessitent cependant une purification adaptée avant leur valorisation.

La plateforme ACTIPOLISH® peut notamment concerner :

- le biogaz ;
- le biométhane ;
- certains gaz renouvelables dérivés ;
- les gaz de synthèse ou **syngas**, selon leur composition.

3. — Biogaz et méthanisation

Production du biogaz

La méthanisation est un processus biologique de dégradation anaérobie des matières organiques.

Elle conduit principalement à la production :

- d'un **biogaz**, contenant essentiellement du méthane (CH_4) et du dioxyde de carbone (CO_2) ;
- d'un **digestat**, susceptible d'être valorisé selon sa composition et la réglementation applicable.

Les matières méthanisables peuvent notamment provenir :

- de l'agriculture ;
- de l'industrie agroalimentaire ;

- des déchets organiques ;
- des boues de stations d'épuration ;
- de différentes biomasses adaptées à la méthanisation.

Le biogaz brut peut contenir du **H₂S**, ainsi que d'autres composés indésirables.

Le H₂S présente plusieurs inconvénients :

- toxicité ;
- odeur caractéristique ;
- corrosion des installations ;
- dégradation de certains équipements ;
- incompatibilité avec les spécifications nécessaires à certaines valorisations énergétiques.

Sa réduction constitue donc une étape importante du conditionnement du biogaz.

BIOPOL® pour les gaz riches en CO₂

La présence importante de CO₂ dans le biogaz impose de tenir compte des interactions entre le gaz et le milieu de lavage.

BIOPOL® a été développé avec une alcalinité modérée pour répondre notamment à cette configuration.

Sa formulation à environ **5 % de principe actif** et son pH modéré permettent de cibler le traitement du H₂S dans des environnements gazeux riches en CO₂.

BIOPOL® constitue ainsi la formulation privilégiée de la plateforme **ACTIPOLISH®** pour les applications biogaz nécessitant cette sélectivité.

Après épuration complémentaire du CO₂, de l'eau et des autres constituants indésirables selon les spécifications requises, le biogaz peut être transformé en **biométhane**.

4. — GAZ DE SYNTHÈSE — SYNGAS

Les gaz de synthèse peuvent être produits par différents procédés thermochimiques appliqués à des matières carbonées :

- biomasse ;
- bois ;
- déchets ;
- charbon ;
- certains résidus industriels.

La gazéification et d'autres procédés thermochimiques génèrent des mélanges gazeux dont la composition varie fortement selon la matière première et la technologie utilisée.

Ces gaz peuvent contenir des composés soufrés qui doivent être éliminés avant certaines étapes de valorisation.

Après caractérisation précise du gaz et validation des conditions de fonctionnement, la technologie **ACTIPOLISH®** peut constituer une étape de traitement des composés soufrés réduits.

LE PRINCIPE ACTIPOLISH®

Une transformation chimique ciblée des composés soufrés

Contrairement aux procédés reposant principalement sur l'oxydation des composés soufrés, **ACTIPOLISH®** met en œuvre une **réaction chimique non oxydante**.

Le procédé repose sur la mise en contact du gaz avec une solution réactive aqueuse.

Le transfert gaz/liquide permet la captation des composés concernés puis leur transformation chimique dans la phase liquide.

La technologie vise particulièrement :

- le **H₂S** ;
- les **mercaptans**.

Cette transformation permet d'éviter le recours à un mécanisme d'oxydation générant notamment des disulfures comme produits recherchés de la réaction.

ACTIPOL® ET BIOPOL® : DEUX FORMULATIONS COMPLÉMENTAIRES

La plateforme **ACTIPOLISH®** repose sur une même chimie fondamentale, adaptée à différents environnements industriels.

ACTIPOL®

ACTIPOL® est une formulation concentrée, contenant environ **21,2 % de principe actif**.

Elle est destinée notamment aux applications dans lesquelles sont recherchés :

- le traitement du H₂S ;
- le traitement simultané du H₂S et des mercaptans ;
- une opération de finition ou de polishing ;
- une forte capacité réactionnelle dans un volume réduit de solution.

BIOPOL®

BIOPOL® contient environ **5 % de principe actif**.

Son alcalinité plus modérée le destine particulièrement :

- aux biogaz riches en CO₂ ;
- aux applications environnementales ;
- à certaines installations de méthanisation ;
- aux traitements pour lesquels une alcalinité modérée constitue un avantage opérationnel.

Le choix entre **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** dépend donc de la **composition réelle du gaz**, de la teneur en CO₂, des composés soufrés présents et des objectifs de purification.

TRAITEMENT DES JUS DE LAVAGE

Après réaction, les composés soufrés captés sont transférés et transformés dans la phase aqueuse.

Selon la nature de l'installation et la composition de ces effluents, les jus de lavage peuvent être orientés vers une filière de traitement biologique appropriée après vérification de leur compatibilité.

PTC Systems dispose également d'une solution complémentaire :

POA — Minéralisation des jus de lavage

Lorsque le traitement sur site est recherché, le procédé **POA** peut être utilisé en aval du lavage des gaz afin de poursuivre le traitement des composés organiques présents dans les jus.

On obtient ainsi une chaîne de traitement intégrée :

**GAZ BRUT → LAVAGE ACTIPOLISH® → GAZ DÉSULFURÉ
→ JUS DE LAVAGE → TRAITEMENT POA**

Cette association permet de dissocier clairement deux fonctions :

ACTIPOLISH® traite le gaz.

POA traite les jus aqueux issus du lavage lorsque leur minéralisation complémentaire est nécessaire.

APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Après purification adaptée à sa destination, le gaz peut notamment être valorisé pour :

- la production d'électricité ;
- la production de chaleur ;
- la cogénération ;
- les procédés thermiques industriels ;
- la production de biométhane ;
- l'injection dans les réseaux lorsque les spécifications réglementaires sont atteintes ;
- la mobilité utilisant du biométhane ou du gaz compatible.

La technologie **ACTIPOLISH®** peut être intégrée, après étude des conditions de procédé, dans différentes installations :

- unités de méthanisation ;
- stations d'épuration ;
- installations de traitement du gaz ;
- sites industriels ;
- installations énergétiques ;
- unités de purification ou de polishing existantes.

INTÉRÊTS INDUSTRIELS

La réduction des composés soufrés peut contribuer à :

- diminuer les phénomènes de corrosion liés au H₂S ;
- protéger les équipements situés en aval ;

- réduire les nuisances olfactives ;
- améliorer la qualité du gaz ;
- faciliter sa valorisation énergétique ;
- réduire l'utilisation de procédés oxydants pour les applications auxquelles ACTIPOLISH® est adapté.

La technologie présente également l'intérêt de pouvoir être intégrée sous forme de lavage gaz/liquide dans des installations nouvelles ou existantes, sous réserve de l'étude technique de chaque application.

UNE TECHNOLOGIE VALIDÉE EN CONDITIONS INDUSTRIELLES

La chimie ACTIPOLISH® ne repose pas uniquement sur une approche théorique.

Des essais réalisés en conditions industrielles ont démontré la capacité de la technologie ACTIPOL® à traiter simultanément du H₂S et des mercaptans dans un effluent gazeux.

Sur un site pétrochimique exploité en France, un essai réalisé sur un débit gazeux de **1 000 m³/h** contenant initialement :

- **5,7 mg/m³ de H₂S ;**
- **130 mg/m³ d'éthylmercaptan ;**

a conduit à l'absence détectée de ces deux composés en sortie dans les conditions de l'essai.

Ces résultats constituent une référence expérimentale importante pour le développement de la plateforme ACTIPOLISH® dans le domaine des produits gaziers.

PTC SYSTEMS ET LA VALORISATION DES GAZ

La purification des gaz constitue une étape essentielle de nombreuses chaînes énergétiques.

L'objectif n'est pas seulement d'éliminer un polluant.

Il s'agit également de :

- protéger les installations ;
- améliorer la qualité du produit énergétique ;
- réduire les nuisances ;
- permettre une meilleure valorisation du gaz ;
- développer des procédés de traitement plus simples et plus ciblés.

La plateforme ACTIPOLISH®, associant ACTIPOL® et BIOPOL®, apporte une approche spécifique du traitement chimique non oxydant des composés soufrés réduits.

Le procédé POA peut compléter cette technologie pour le traitement des phases aqueuses issues du lavage.

CONCLUSION

PTC Systems — Une approche intégrée de la désulfuration des produits gaziers

La plateforme ACTIPOLISH® associe :

ACTIPOL®

pour le traitement du H₂S et des mercaptans dans les applications adaptées à sa formulation concentrée,

BIOPOL®

pour le traitement du H₂S, notamment dans les environnements gazeux riches en CO₂,
et, lorsque nécessaire,

POA

pour le traitement complémentaire et la minéralisation des jus aqueux issus du lavage.

Une chaîne technologique cohérente

GAZ CONTAMINÉ → CAPTATION → TRANSFORMATION CHIMIQUE → GAZ PURIFIÉ

puis, lorsque l'application le nécessite :

JUS DE LAVAGE → POA → MINÉRALISATION

PTC Systems propose ainsi une approche industrielle associant **purification du gaz, traitement ciblé des composés soufrés et gestion des effluents de lavage.**

PTC Systems — Des technologies de purification au service de la valorisation des gaz.

PTC SYSTEMS – LES BIO-ÉNERGIES

De la matière organique à une énergie renouvelable valorisable

La transition énergétique ne repose pas uniquement sur la production d'électricité renouvelable.

La valorisation énergétique de la matière organique constitue également une filière stratégique permettant de transformer des déchets agricoles, industriels, urbains ou issus de l'assainissement en **énergie renouvelable produite localement**.

La méthanisation occupe une place particulière dans cette évolution.

Elle permet simultanément :

- de valoriser des matières organiques et certains déchets ;
- de produire du biogaz ;
- de produire de la chaleur et de l'électricité ;
- après épuration, de produire du biométhane injectable dans les réseaux ;
- de développer des usages du biométhane comme carburant ;
- de restituer au sol, lorsque les conditions réglementaires et agronomiques le permettent, une partie de la matière organique sous forme de digestat.

PTC Systems intervient dans cette chaîne au niveau d'une étape déterminante :

la purification du gaz et notamment l'élimination des composés soufrés indésirables.

1. DE LA MATIÈRE ORGANIQUE AU BIOGAZ

La méthanisation est un processus biologique de dégradation de matières organiques en absence d'oxygène.

Les ressources utilisables sont diverses :

- effluents d'élevage ;

- résidus agricoles ;
- déchets agroalimentaires ;
- biodéchets ;
- matières issues de certaines activités industrielles ;
- boues de stations d'épuration.

La digestion anaérobie produit principalement :

BIOGAZ + DIGESTAT

Le biogaz est constitué majoritairement de **méthane (CH₄)** et de **dioxyde de carbone (CO₂)**.

Il contient également, en concentrations variables, des composés indésirables parmi lesquels peuvent se trouver :

- hydrogène sulfuré (H₂S) ;
- mercaptans et autres composés soufrés ;
- ammoniac ;
- vapeur d'eau ;
- différents composés traces selon l'origine du biogaz.

La qualité du gaz obtenu conditionne directement ses possibilités de valorisation.

2. DU BIOGAZ À L'ÉNERGIE

Le biogaz brut constitue déjà une ressource énergétique.

Selon la configuration de l'installation, il peut être utilisé directement ou subir différentes étapes d'épuration.

Quatre grandes voies de valorisation peuvent être distinguées.

Production de chaleur

Le biogaz peut alimenter une chaudière et produire de la chaleur utilisée localement.

Une partie de cette énergie peut notamment être nécessaire au fonctionnement du méthaniseur lui-même.

Cogénération

Le biogaz peut alimenter un moteur ou une turbine permettant de produire simultanément :

ÉLECTRICITÉ + CHALEUR

Cette solution a historiquement constitué une voie importante de valorisation du biogaz.

Production de biométhane

Lorsque le biogaz est suffisamment épuré et que l'essentiel du CO₂ ainsi que les constituants incompatibles avec les spécifications du réseau ont été retirés, on obtient un gaz riche en méthane : le **biométhane**.

Après respect des spécifications applicables et odorisation, celui-ci peut être injecté dans les réseaux de gaz.

Mobilité

Le biométhane peut également être utilisé comme carburant sous forme de **Bio-GNV**, et après liquéfaction sous forme de **Bio-GNL**, selon les filières et infrastructures disponibles.

3. L'ÉPURATION : UNE ÉTAPE ESSENTIELLE DE LA VALORISATION

Produire du biogaz ne suffit pas.

Plus le gaz est destiné à une utilisation exigeante, plus sa purification devient importante.

Les constituants indésirables peuvent provoquer :

- corrosion des installations ;
- dégradation des équipements ;
- perturbation des procédés situés en aval ;
- émissions polluantes lors de la combustion ;
- difficultés pour atteindre les spécifications nécessaires à certaines valorisations.

Parmi ces contaminants, **l'H₂S occupe une place particulière** en raison de sa toxicité, de son caractère corrosif et des problèmes qu'il peut provoquer dans les équipements.

Les composés soufrés doivent donc être maîtrisés avant les étapes finales de valorisation du gaz.

4. LA PLACE DE PTC SYSTEMS DANS LA CHAÎNE BIO-ÉNERGÉTIQUE

PTC Systems ne cherche pas à remplacer l'ensemble des technologies constituant une unité de méthanisation ou d'épuration du biogaz.

La technologie intervient de manière ciblée sur la **purification des composés soufrés**.

La plateforme **ACTIPOLISH®** repose sur une réaction chimique sélective, non oxydante et destructive des polluants soufrés ciblés.

Pour les environnements contenant une proportion importante de CO₂, notamment le biogaz, la formulation **BIOPOL®** a été développée avec des conditions alcalines modérées.

Son objectif est le traitement ciblé de l'H₂S tout en étant adapté à un environnement gazeux riche en CO₂.

PTC Systems peut ainsi prendre place dans une chaîne industrielle comprenant :

MATIÈRES ORGANIQUES → MÉTHANISATION → BIOGAZ BRUT → TRAITEMENT DES COMPOSÉS SOUFRÉS → ÉPURATION DU CO₂ → BIOMÉTHANE → VALORISATION

La technologie PTC Systems constitue donc **une brique de purification**, intégrable dans une installation globale de production et de valorisation du biométhane.

5. BIOPOL® : UNE FORMULATION ADAPTÉE AU BIOGAZ

BIOPOL® est une formulation de la plateforme **ACTIPOLISH®** destinée notamment aux environnements gazeux riches en CO₂.

Sa concentration en principe actif est de **5 %** et son pH se situe généralement autour de **10 à 10,5**.

Le traitement repose sur la chimie sélective développée par **PTC Systems** et non sur une oxydation massive du milieu.

Cette approche permet de distinguer la technologie des procédés utilisant des oxydants conventionnels qui peuvent nécessiter des excès de réactifs selon les conditions industrielles.

Le dimensionnement d'une installation dépend naturellement :

- du débit de biogaz ;
- de la concentration en H₂S ;
- de la présence éventuelle d'autres composés soufrés ;
- de la composition globale du gaz ;
- des performances recherchées en sortie.

Les calculs de consommation sont établis à partir de ces paramètres et de la stœchiométrie propre au procédé.

6. UNE TECHNOLOGIE COMPLÉMENTAIRE DES PROCÉDÉS D'ÉPURATION DU CO₂

La séparation du CO₂ et l'élimination de l'H₂S correspondent à deux problématiques différentes.

PTC Systems se concentre sur le **traitement chimique des composés soufrés ciblés**.

La séparation du CO₂ peut ensuite être réalisée par les technologies industrielles adaptées à la configuration de l'installation : membranes, adsorption, lavage ou autres procédés d'épuration.

Cette distinction est importante.

Elle permet d'intégrer la technologie **PTC Systems** à différentes architectures industrielles **sans imposer une chaîne d'épuration unique**.

Le procédé peut ainsi être étudié comme une étape de traitement complémentaire au sein d'une installation nouvelle ou existante.

7. LE BIOMÉTHANE : UNE FILIÈRE EN DÉVELOPPEMENT

Le développement du biométhane français s'est fortement accéléré au cours des dernières années.

Au **30 juin 2026**, la France comptait :

- **837 installations** injectant du biométhane dans les réseaux ;
- une capacité totale installée de **16,2 TWh/an** ;
- **1 357 projets** en file d'attente représentant une capacité de **23,4 TWh/an**.

Les unités de méthanisation représentent environ **91 % de la capacité installée** de production de biométhane injecté.

Ces chiffres montrent que le traitement et la purification des gaz renouvelables constituent désormais un véritable marché industriel.

8. DES OBJECTIFS NATIONAUX EN FORTE PROGRESSION

La politique énergétique française prévoit une progression importante de la production de biométhane.

La Programmation pluriannuelle de l'énergie 2026-2035 fixe pour le biométhane injecté un objectif de :

44 TWh en 2030

et une fourchette de :

47 à 82 TWh en 2035.

À plus long terme, les trajectoires françaises de décarbonation accordent également une place importante au biométhane et aux autres gaz renouvelables.

La méthanisation constitue ainsi l'un des éléments d'un ensemble plus vaste comprenant également, à différents degrés de maturité, la pyrogazéification, la méthanation et d'autres voies de production de gaz renouvelables ou bas-carbone.

9. LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ À PARTIR DU BIOGAZ

La valorisation électrique reste présente dans le paysage français, même si la dynamique récente se concentre davantage sur l'injection de biométhane.

Au **30 juin 2026**, la France comptait **1 162 installations** produisant de l'électricité à partir de biogaz raccordées au réseau, représentant une puissance installée totale de **579 MW**.

Les unités de méthanisation représentent environ **83 % du nombre d'installations** de ce parc.

La diversité de ces débouchés confirme que le biogaz ne correspond pas à une seule utilisation mais à une **plateforme énergétique susceptible d'alimenter plusieurs filières**.

10. UNE ÉCONOMIE CIRCULAIRE DE L'ÉNERGIE

L'intérêt de la méthanisation dépasse la seule production de gaz.

La filière permet d'associer :

DÉCHETS ET MATIÈRES ORGANIQUES → PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE → VALORISATION DU GAZ → RETOUR AU SOL DE MATIÈRE ORGANIQUE

Elle participe ainsi à une logique territoriale d'économie circulaire.

La production locale de biométhane peut également contribuer à réduire la dépendance aux ressources gazières fossiles importées.

La qualité de la purification devient alors un élément essentiel de la valeur du gaz produit.

11. DU CO₂ À UNE NOUVELLE RESSOURCE

L'épuration du biogaz sépare une fraction riche en méthane d'une fraction riche en CO₂.

Ce CO₂ est majoritairement d'origine biogénique.

Plutôt que de considérer systématiquement ce flux comme un simple rejet, le développement des bio-énergies ouvre progressivement de nouvelles possibilités de valorisation.

Selon les projets et leur viabilité technique et économique, le CO₂ biogénique peut notamment être envisagé pour certains usages industriels ou comme matière première de procédés de synthèse.

Le couplage du biométhane avec d'autres technologies énergétiques pourrait ainsi renforcer à terme la valorisation globale du carbone biogénique.

12. LES BIO-ÉNERGIES : UN ENSEMBLE PLUS LARGE QUE LE BIOGAZ

La méthanisation n'est qu'une des voies de valorisation énergétique de la biomasse.

Les bio-énergies regroupent également :

- la biomasse solide ;
- les biocarburants ;
- la pyrogazéification ;
- les gaz renouvelables issus de nouvelles filières ;
- différentes formes de valorisation thermique ou chimique de ressources biologiques.

Dans cet ensemble, **PTC Systems** se positionne là où la présence de **composés soufrés** constitue un obstacle à la qualité, à la sécurité ou à la valorisation d'un flux gazeux.

Cette approche ouvre donc un champ d'application qui peut dépasser la seule méthanisation.

13. PTC SYSTEMS : PURIFIER POUR MIEUX VALORISER

La valeur d'un gaz renouvelable dépend non seulement de sa production mais également de sa **qualité finale**.

L'objectif de **PTC Systems** est précisément de contribuer à cette qualité.

La technologie **ACTIPOLISH®** permet d'envisager une étape de purification ciblée des composés soufrés dans une logique :

- de sélectivité chimique ;
- de traitement non oxydant ;
- d'intégration à des installations existantes ou nouvelles ;
- de protection des équipements situés en aval ;
- d'amélioration de la qualité du gaz avant sa valorisation.

BIOPOL® constitue la formulation particulièrement adaptée aux environnements riches en CO₂ rencontrés dans la filière biogaz.

CONCLUSION

Des déchets organiques à une ressource énergétique de qualité

Les bio-énergies transforment progressivement la manière de considérer les déchets et les ressources organiques.

- La méthanisation permet de produire localement un gaz renouvelable.
- L'épuration transforme ce biogaz en biométhane.
- Les réseaux permettent de transporter et de valoriser cette énergie à grande échelle.

Dans cette chaîne, la maîtrise des contaminants reste indispensable.

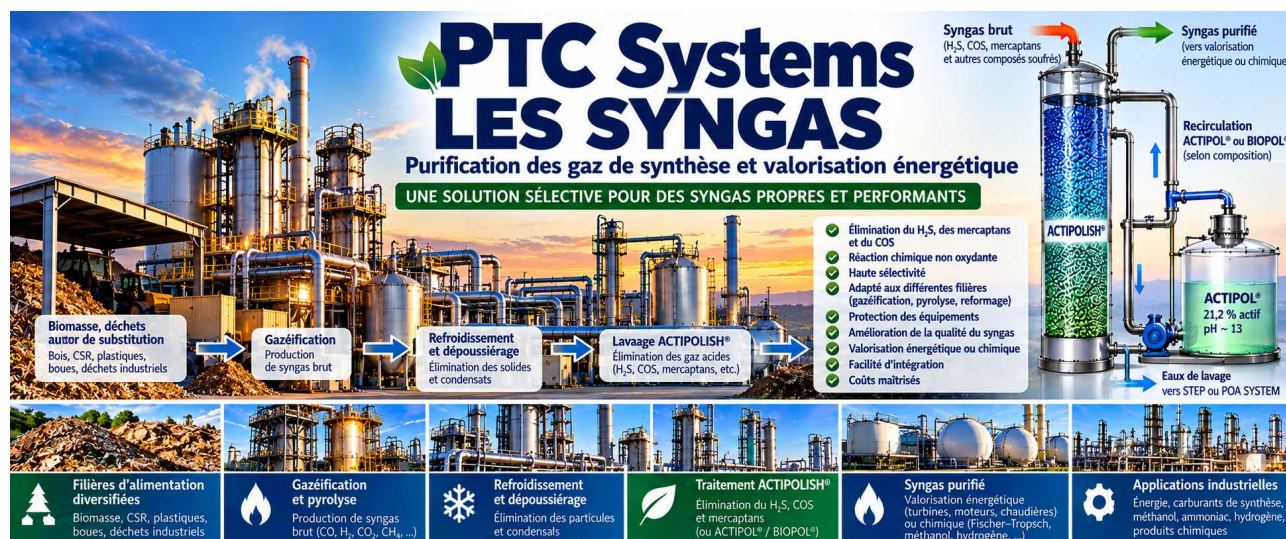
PTC Systems apporte une technologie spécifique de traitement des composés soufrés destinée à contribuer à la purification et à la valorisation de ces nouveaux gaz énergétiques.

La plateforme **ACTIPOLISH®**, et plus particulièrement **BIOPOL®** pour les environnements riches en CO₂, s'inscrit ainsi dans une chaîne industrielle beaucoup plus large :

PRODUIRE → PURIFIER → VALORISER

PTC Systems — La chimie sélective au service de la qualité des gaz de demain.

PTC SYSTEMS – LES SYNGAS



Purification des gaz de synthèse et valorisation énergétique

PTC Systems dans la chaîne de traitement des syngas

Les **syngas**, ou gaz de synthèse, peuvent être produits par gazéification de biomasse, de matières carbonées ou de certains déchets.

Ils constituent un vecteur énergétique pouvant être utilisé pour la **production combinée de chaleur et d'électricité**, notamment dans des installations de cogénération.

Selon la matière première et le procédé de gazéification, le syngas contient principalement :

- du **monoxyde de carbone (CO)** ;
- de l'**hydrogène (H₂)** ;
- du **dioxyde de carbone (CO₂)** ;
- du **méthane (CH₄)** ;
- de la vapeur d'eau ;
- éventuellement de l'azote.

À ces constituants principaux s'ajoutent différents contaminants dont la nature et la concentration dépendent de la matière première et des conditions de gazéification.

PTC Systems s'intègre dans cette chaîne de purification pour le **traitement ciblé et destructif des composés soufrés**, notamment le H₂S, le COS et les mercaptans.

1 – Principe de la gazéification

La gazéification consiste à transformer une matière carbonée solide en un gaz combustible par réaction à haute température avec une quantité contrôlée d'air, d'oxygène et/ou de vapeur d'eau.

Le gaz obtenu peut contenir différentes familles de contaminants :

- poussières et particules ;
- goudrons ;
- **hydrogène sulfuré (H₂S)** ;
- **sulfure de carbone (COS)** ;
- mercaptans ;
- ammoniac (NH₃) ;
- composés chlorés ;
- composés alcalins ;
- composés organiques volatils ;
- autres contaminants dépendant de la matière première.

Avant son utilisation dans une chaudière, un moteur à gaz, une turbine ou une autre unité de valorisation, le syngas doit donc être **conditionné et purifié selon les exigences de l'équipement situé en aval**.

2 – Exemple de composition d'un syngas

À titre d'exemple, considérons un débit de **100 m³/h de syngas issu de la gazéification de biomasse bois**.

Composition indicative du gaz brut

Composé	Concentration
Hydrogène H ₂	34 %
Dioxyde de carbone CO ₂	18 %
Monoxyde de carbone CO	45 %
Méthane CH ₄	2 %
Azote N ₂	1 %

À ces constituants peuvent notamment s'ajouter des impuretés minoritaires:

- **H₂S : 105 ppm** ;
- **COS : 20 ppm** ;
- mercaptans éventuels ;
- goudrons ;

- particules ;
- NH_3 ;
- HCl ;
- composés organiques et autres impuretés.

Ces valeurs constituent un **exemple de simulation** et ne représentent pas une composition universelle du syngas.

Chaque installation nécessite une caractérisation préalable du gaz à traiter afin de définir la chaîne de purification adaptée.

3 – Une chaîne de purification adaptée au syngas

La technologie **PTC Systems** s'intègre dans une **architecture modulaire de traitement**.

L'objectif consiste à associer les opérations les mieux adaptées aux différentes familles de contaminants présentes dans le gaz.

La chaîne peut notamment comprendre :

- **SYNGAS BRUT**
- **PRÉTRAITEMENT**
- **ÉLIMINATION DES PARTICULES ET GOUDRONS**
- **LAVAGE DES COMPOSÉS SOUFRÉS**
- **TRAITEMENT ACTIPOLISH®**
- **SYNGAS PURIFIÉ**
- **VALORISATION ÉNERGÉTIQUE**

Cette organisation permet de traiter successivement les contaminants tout en protégeant les équipements situés en aval.

4 – Prétraitement : particules et goudrons

Selon la composition du syngas, une première étape permet notamment :

- l'élimination des particules ;
- le refroidissement éventuel du gaz ;

- la séparation des condensats ;
- la réduction des goudrons ;
- la protection des équipements situés en aval.

Le traitement des goudrons peut notamment faire appel à un **lavage par un liquide organique approprié**, lorsque cette solution est techniquement retenue.

Le choix du procédé dépend notamment :

- de la température du syngas ;
- de la quantité et de la nature des goudrons ;
- de la matière première gazéifiée ;
- de l'utilisation finale du gaz.

Cette étape prépare le syngas au traitement chimique des composés soufrés.

5 – Traitement des composés soufrés par PTC Systems

Après prétraitement, le syngas est soumis à une opération de lavage permettant le traitement des composés soufrés.

La plateforme **ACTIPOLISH®** intervient directement sur les principaux composés soufrés ciblés :

- **hydrogène sulfuré – H₂S** ;
- **sulfure de carbonyle – COS** ;
- **mercaptans**.

La technologie repose sur une **transformation chimique non oxydante et destructive des polluants soufrés**, contrairement aux procédés reposant principalement sur une oxydation chimique.

Le traitement permet ainsi de supprimer les molécules soufrées ciblées et de protéger les installations situées en aval.

6 – ACTIPOL® et BIOPOL®

La plateforme **ACTIPOLISH®** repose sur deux formulations complémentaires.

ACTIPOL® est la formulation concentrée destinée notamment aux applications industrielles nécessitant une capacité de traitement élevée.

Elle peut être utilisée pour le traitement des composés soufrés présents dans différents flux industriels uniquement en présence faible de CO₂.

BIOPOL® est une formulation plus diluée, à alcalinité modérée.

Elle est particulièrement adaptée aux environnements dans lesquels sa formulation présente un avantage, notamment en présence importante de CO₂.

Le choix entre **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** dépend donc :

- de la composition du syngas ;
- de sa teneur en CO₂ ;
- de la concentration en H₂S ;
- de la présence de COS et de mercaptans ;
- des conditions de lavage ;
- des contraintes propres à l'installation.

7 – Traitement direct du COS

Le sulfure de carbone (COS) constitue un composé soufré pouvant être présent dans les gaz issus de la gazéification.

Dans la technologie **PTC Systems**, son traitement est intégré à celui des composés soufrés.

Le COS peut être traité directement par la technologie PTC Systems, sans nécessiter une conversion préalable en H₂S.

Cette caractéristique simplifie la chaîne de purification lorsqu'un syngas contient simultanément :

H₂S + COS + mercaptans.

Ces différents composés soufrés peuvent ainsi être pris en charge dans une même logique de traitement **ACTIPOLISH®**.

8 – Gestion des solutions de lavage

Les composés soufrés éliminés du syngas sont transformés chimiquement au cours du traitement.

Les solutions issues du lavage doivent ensuite être prises en charge en fonction des équipements disponibles sur le site.

Deux configurations principales peuvent être envisagées.

a) Site disposant d'une station d'épuration

Lorsque leur composition est compatible avec le traitement biologique, les eaux de lavage peuvent être dirigées vers une **station d'épuration**.

b) Site sans station d'épuration adaptée

Lorsque le site ne dispose pas d'un traitement biologique approprié, une étape complémentaire peut être mise en œuvre.

PTC Systems dispose pour cette fonction d'un **procédé d'oxydation avancée – Procédé POA**, distinct de la chimie **ACTIPOLISH®**.

Le POA permet de poursuivre la destruction des composés organiques résiduels jusqu'à une **minéralisation aussi complète que possible**, conduisant principalement à de l'eau et à des composés minéraux.

9 – Architecture globale PTC Systems

La chaîne complète peut ainsi être représentée :

**BIOMASSE / MATIÈRE CARBONÉE → GAZÉIFICATION → SYNGAS BRUT →
PARTICULES / GOUDRONS → LAVAGE DES COMPOSÉS SOUFRÉS → ACTIPOLISH®**

Pour les effluents liquides :

EAUX DE TRAITEMENT

→ **STATION D'ÉPURATION**

ou, lorsque nécessaire :

EAUX DE TRAITEMENT

→ **POA**

→ **TRAITEMENT / MINÉRALISATION DES COMPOSÉS RÉSIDUELS**

10 – Valorisation du syngas purifié

Après purification adaptée aux spécifications requises, le syngas peut notamment alimenter :

- des **chaudières** ;
- des **moteurs à gaz** ;
- des **turbines** ;
- des installations de **cogénération** ;
- certaines unités industrielles de valorisation énergétique.

La purification contribue à :

- protéger les équipements ;
- réduire la corrosion ;

- limiter les dépôts et l'encrassement ;
- réduire les émissions polluantes ;
- améliorer la fiabilité de l'installation ;
- favoriser une valorisation énergétique maîtrisée du syngas.

11 – Une approche modulaire

PTC Systems ne cherche pas à traiter l'ensemble des contaminants du syngas par un réactif unique.

La technologie s'intègre dans une **chaîne industrielle de purification**, chaque opération étant consacrée aux contaminants pour lesquels elle est adaptée.

Prétraitement → particules, condensats, goudrons

ACTIPOLISH® → H₂S, COS, mercaptans

Traitement des effluents → station d'épuration ou POA selon les conditions du site

Valorisation → chaleur et électricité

Cette architecture permet d'adapter la chaîne de traitement à la composition réelle du syngas et à son utilisation finale.

Conclusion

La valorisation énergétique des syngas issus de la biomasse ou de matières carbonées nécessite une **purification adaptée à la nature des contaminants présents**.

Dans cette chaîne, **PTC Systems apporte une réponse spécifique au traitement des composés soufrés** grâce à la plateforme **ACTIPOLISH®**.

La technologie permet notamment le traitement direct :

du H₂S → du COS → des mercaptans.

Les formulations **ACTIPOL®** et **BIOPOL®** permettent d'adapter le traitement aux caractéristiques du flux gazeux et aux conditions d'exploitation.

Associée aux étapes nécessaires de prétraitement du gaz et, lorsque cela est nécessaire, au traitement complémentaire des effluents par POA, cette approche constitue une **architecture modulaire de purification du syngas**.

PTC Systems contribue ainsi à transformer un gaz brut chargé en contaminants en un syngas compatible avec sa valorisation énergétique pour la production de chaleur et d'électricité.

PTC SYSTEMS – POA SYSTEM

PTC Systems
POA SYSTEM
Procédé POA d'oxydation avancée
TRAITEMENT COMPLÉMENTAIRE DES EFFLUENTS LIQUIDES
Une solution efficace pour la dégradation des polluants dissous après lavage ACTIPOLISH®

- ✓ Oxydation avancée des polluants dissous
- ✓ Dégradation des composés soufrés et organiques
- ✓ Réduction des odeurs et de la toxicité
- ✓ Adapté aux effluents de lavage ACTIPOLISH®
- ✓ Intégration simple sur installations existantes
- ✓ Procédé original et breveté PTC Systems
- ✓ Fonctionnement fiable et maîtrisé

Effluents de lavage ACTIPOLISH® (ACTIPOL® ou BIOPOL®)
Dosage de poudre PTC Systems (selon besoin)
Réacteur avec recirculation et lampes UV 256 nm
Pompe de recirculation
Effluent traité vers STEP ou réutilisation (selon qualité)

Stations d'épuration Traitement des effluents et réduction des pollutions dissoutes	Effluents industriels Dégradation des composés soufrés, azotés et organiques	Déchets et compostage Traitement des lixiviats et jus de lavage	Agroalimentaire Traitement des effluents de lavage et de process	Textile et teintureries Dégradation des colorants et composés organiques	Chimie et pharmaceutique Traitement des effluents complexes et récalcitrants
---	--	---	--	--	--

Procédé POA d'oxydation avancée

Destruction des polluants réfractaires et minéralisation des effluents

1. POA System dans la plateforme PTC Systems

POA System constitue le procédé d'oxydation avancée complémentaire des technologies développées par **PTC Systems**.

Son rôle est différent de celui de la plateforme **ACTIPOLISH®**.

ACTIPOLISH® assure prioritairement le traitement chimique ciblé de certains composés soufrés, notamment l'**hydrogène sulfuré (H₂S)** et les **mercaptans**.

POA System intervient en aval ou indépendamment, lorsque l'effluent contient des composés organiques ou minéraux difficiles à éliminer par les procédés conventionnels.

Dans une chaîne de traitement de gaz, il peut notamment être appliqué aux **effluents liquides issus des opérations de lavage**, afin de poursuivre leur dégradation et leur minéralisation.

L'architecture générale peut ainsi être représentée de manière simple :

**Gaz pollué → traitement / lavage PTC Systems → effluent liquide
→ POA System → oxydation avancée → effluent traité**

Cette complémentarité permet d'associer **traitement sélectif** et **oxydation avancée** au sein d'une même stratégie industrielle de dépollution.

2. Principe des procédés d'oxydation avancée

Les procédés d'oxydation avancée, généralement désignés par l'acronyme **POA** ou **AOP – Advanced Oxidation Processes**, reposent sur la génération d'espèces radicalaires fortement réactives.

La plus importante est le **radical hydroxyle HO•**.

Celui-ci possède un pouvoir oxydant très élevé et réagit rapidement avec de nombreux composés organiques.

L'objectif n'est donc pas simplement de transférer la pollution d'une phase vers une autre, mais de provoquer sa **transformation chimique**, pouvant aller jusqu'à une minéralisation poussée lorsque les conditions opératoires le permettent.

Les produits finaux dépendent naturellement de la composition initiale de l'effluent.

3. Une technologie connue, une mise en œuvre spécifique

Les procédés d'oxydation avancée sont étudiés et utilisés depuis plusieurs décennies.

Plusieurs technologies permettent de produire les espèces radicalaires nécessaires à l'oxydation :

- peroxyde d'hydrogène associé aux UV ;
- réaction de Fenton ;
- photocatalyse ;
- ozone ;
- procédés électrochimiques ;
- procédés sonochimiques.

Le principe général de l'oxydation radicalaire est donc connu.

L'innovation de **POA System** réside dans sa **mise en œuvre spécifique**, associant un réactif oxygéné particulier et une activation adaptée au traitement recherché.

4. Principe de POA System

Le procédé développé par **PTC Systems** repose principalement sur l'association :

- d'un **réactif oxygéné spécifique** ;
- d'un **rayonnement UV de puissance adaptée** ;
- de la génération *in situ* d'espèces radicalaires fortement oxydantes, notamment les radicaux hydroxyles **HO•**.

Le rayonnement UV n'est donc pas utilisé comme un simple procédé de désinfection.

Il participe à l'activation du système oxydant et à la formation des espèces radicalaires responsables de la dégradation des polluants.

La puissance UV et la quantité de réactif sont adaptées :

- au débit à traiter ;
- à la nature des polluants ;
- à leur concentration ;
- à la DCO initiale ;

- au niveau de traitement recherché.

5. Destruction plutôt que transfert de pollution

De nombreux procédés de traitement reposent sur :

- l'adsorption ;
- la précipitation ;
- l'extraction ;
- le transfert vers une autre phase ;
- ou la concentration du polluant dans un résidu.

Ces technologies sont efficaces mais peuvent nécessiter le traitement ultérieur du support, des boues ou des résidus produits.

POA System poursuit un objectif différent : dégrader chimiquement les molécules polluantes.

L'oxydation peut successivement provoquer :

**Molécule complexe → molécules intermédiaires → composés plus simples
→ minéralisation poussée**

Pour les composés organiques, une oxydation complète conduit principalement à la formation de **CO₂** et **H₂O**, auxquels peuvent s'ajouter des espèces minérales correspondant aux hétéroatomes présents dans les molécules initiales.

Le degré réel de minéralisation dépend toutefois de la nature de l'effluent et des conditions de traitement.

6. Traitement des composés réfractaires

POA System est particulièrement destiné aux effluents contenant des substances difficiles à éliminer par voie biologique ou par des traitements chimiques conventionnels.

Il peut notamment être étudié pour le traitement de :

- composés organiques réfractaires ;
- DCO difficilement biodégradable ;
- certains cyanures et composés cyanés ;
- composés organométalliques ;
- solvants et molécules organiques complexes ;
- certains composés responsables de toxicité ou d'inhibition biologique ;
- polluants présents dans certains effluents industriels.

Chaque application nécessite naturellement une caractérisation préalable de l'effluent et des essais permettant de déterminer les conditions optimales de traitement.

7. POA System et DCO difficilement biodégradable

La **demande chimique en oxygène (DCO)** constitue un paramètre essentiel dans le traitement des effluents industriels.

Une partie de cette DCO peut être facilement biodégradable.

Une autre fraction peut au contraire résister au traitement biologique conventionnel.

Cette fraction est couramment qualifiée de **DCO réfractaire** ou « DCO dure ».

POA System peut dégrader certaines molécules responsables de cette fraction réfractaire et les transformer en composés plus simples.

Le procédé peut ainsi être utilisé :

- avant une station biologique ;
- après un traitement biologique ;
- comme traitement complémentaire d'un effluent industriel spécifique.

8. Amélioration potentielle de la biodégradabilité

L'objectif d'un POA n'est pas nécessairement de minéraliser immédiatement la totalité de la pollution.

Une **oxydation partielle contrôlée** peut également transformer certaines molécules complexes en composés plus facilement assimilables par les micro-organismes.

POA System peut ainsi être utilisé en prétraitement afin d'améliorer la biodégradabilité d'un effluent avant son introduction dans une filière biologique.

Selon la nature de l'effluent, cette transformation peut conduire à une amélioration du rapport **DBO/DCO**.

Cette approche peut permettre de réserver l'oxydation avancée aux molécules les plus difficiles, puis de confier au traitement biologique la dégradation des composés devenus biodégradables.

9. Traitement des effluents issus du lavage des gaz

Cette application constitue une complémentarité importante entre **ACTIPOLISH®** et **POA System**.

Dans certaines installations industrielles, les contaminants présents dans un flux gazeux sont préalablement captés ou transformés dans une phase liquide.

L'effluent de lavage peut alors contenir :

- les produits issus des réactions de traitement ;
- des composés organiques ;
- une DCO résiduelle ;
- des substances réfractaires provenant du gaz initial ou du procédé industriel.

POA System peut intervenir comme traitement complémentaire de cet effluent.

La chaîne devient alors :

Flux gazeux pollué → lavage / traitement PTC Systems → effluent liquide → POA System → oxydation avancée → traitement final ou réintégration dans la filière adaptée

Cette organisation permet de traiter séparément la **phase gazeuse** et la **phase liquide**, avec une technologie adaptée à chacune.

10. Applications aux produits gazeux

Dans le traitement des produits gazeux, **POA System** n'a donc pas vocation à remplacer le procédé de lavage ou de traitement sélectif.

Il constitue une **étape complémentaire de traitement des effluents liquides générés par cette opération**, lorsque leur composition le justifie.

Cette architecture peut notamment être étudiée pour :

- les gaz industriels ;
- certains gaz naturels ou gaz de procédé ;
- les gaz issus de la pétrochimie ;
- les gaz de pyrolyse ;
- les syngas ;
- certains effluents issus du traitement du biogaz ;
- les gaz contenant plusieurs familles de contaminants.

11. Traitement des effluents de lavage ACTIPOL® et BIOPOL®

POA System constitue le procédé complémentaire de traitement des effluents liquides issus des applications ACTIPOL® et BIOPOL®.

Lors du traitement des flux gazeux, **ACTIPOL® ou BIOPOL®** assurent la capture et la transformation chimique ciblée des composés soufrés, notamment de l'**H₂S** et des **mercaptans**.

Les solutions de lavage récupérées après traitement peuvent contenir :

- les produits issus des réactions avec les composés soufrés ;
- des composés organiques entraînés par le flux gazeux ;
- différents contaminants solubles ou transférés dans la phase liquide ;
- une DCO résiduelle ;
- éventuellement des molécules difficilement biodégradables.

POA System intervient en aval pour assurer, lorsque cela est nécessaire, un traitement complémentaire de ces effluents.

L'oxydation avancée permet de poursuivre la dégradation des composés résiduels et, selon leur nature et les conditions opératoires, d'atteindre une minéralisation poussée.

Cette organisation est applicable à l'ensemble des secteurs dans lesquels **ACTIPOL® ou BIOPOL®** sont mis en œuvre :

- raffinage et pétrochimie ;
- gaz industriels et produits gazeux ;
- stations d'épuration et assainissement ;
- biogaz et biométhane ;
- syngas et gaz de pyrolyse ;
- désodorisation industrielle ;
- autres applications nécessitant un lavage de gaz contenant des composés soufrés.

La chaîne générale de traitement devient ainsi :

**Flux à traiter → ACTIPOL® ou BIOPOL® → effluent de lavage
→ POA System → traitement avancé de l'effluent → filière finale adaptée**

POA System constitue ainsi le prolongement environnemental des traitements ACTIPOL® et BIOPOL®, en prenant en charge les effluents liquides générés lorsque leur composition nécessite un traitement complémentaire.

12. Applications aux bioénergies

Les installations de méthanisation, de production de biogaz, de biométhane ou de traitement de biomasses peuvent produire différents effluents liquides.

POA System peut être étudié lorsque ces effluents contiennent une fraction organique difficilement biodégradable ou des molécules susceptibles de perturber un traitement biologique classique.

Les domaines concernés comprennent notamment :

- méthanisation de déchets industriels ;
- méthanisation agricole ;
- traitement des boues ;
- valorisation de biomasses ;
- traitement de certaines biomasses marines ou algales ;
- production et purification de gaz renouvelables.

13. Applications industrielles

POA System peut être envisagé dans différents secteurs :

- pétrochimie ;
- raffinage ;
- chimie minérale ;
- chimie fine ;
- traitement des déchets ;
- traitement des hydrocarbures ;
- sidérurgie ;
- industries papetières ;
- industries agroalimentaires ;

- stations de traitement d'effluents industriels ;
- bioénergies.

Le procédé est destiné en priorité aux situations dans lesquelles les technologies conventionnelles atteignent leurs limites face à des molécules **réfractaires, toxiques ou difficilement biodégradables**.

14. Intégration industrielle

POA System est conçu comme un procédé modulaire pouvant être intégré à une installation existante.

Une unité comprend principalement :

Effluent à traiter → dosage du réactif → réacteur / activation UV → temps de réaction → contrôle analytique → effluent traité

Le dimensionnement dépend notamment :

- du débit ;
- de la DCO ;
- de la nature des contaminants ;
- de leur concentration ;
- de la transmission UV du milieu ;
- du niveau de dégradation recherché ;
- de la destination finale de l'effluent.

Cette conception permet d'adapter le procédé aux caractéristiques réelles de chaque installation.

15. Avantages recherchés

POA System vise plusieurs avantages industriels :

- destruction chimique de polluants réfractaires ;
- production *in situ* d'espèces radicalaires fortement oxydantes ;
- absence de transfert systématique de la pollution vers un support solide ;
- possibilité de réduire la fraction de DCO difficilement biodégradable ;
- amélioration possible de la biodégradabilité avant traitement biologique ;
- absence des boues ferriques caractéristiques d'un procédé Fenton conventionnel ;
- automatisation du dosage et de l'activation UV ;
- intégration possible dans une chaîne de traitement existante ;
- complémentarité avec les technologies de traitement des gaz de **PTC Systems**.

16. Une approche adaptée à chaque effluent

L'efficacité d'un procédé d'oxydation avancée dépend fortement de la composition réelle de l'effluent.

PTC Systems privilégie donc une approche fondée sur :

Analyse → essais → optimisation → dimensionnement → intégration industrielle

Les paramètres de fonctionnement sont déterminés en fonction du cas étudié.

Cette méthodologie évite de présenter POA System comme une solution universelle et permet au contraire de définir les conditions dans lesquelles son utilisation présente un intérêt technique et économique.

17. Complémentarité avec ACTIPOLISH®

La plateforme PTC Systems repose ainsi sur deux approches complémentaires.

ACTIPOLISH®

Traitement chimique sélectif de certains composés soufrés, notamment :

- H₂S ;
- mercaptans.

POA System

Oxydation avancée destinée notamment :

- aux effluents de lavage ;
- aux molécules organiques réfractaires ;
- à certaines fractions de DCO difficilement biodégradables ;
- à la minéralisation poussée de polluants lorsque celle-ci est techniquement recherchée.

L'association des deux technologies permet donc d'envisager une chaîne intégrée :

**Polluant gazeux → capture / transformation sélective → effluent liquide
→ oxydation avancée → traitement final**

18. Positionnement de POA System

POA System ne cherche pas à remplacer systématiquement les technologies biologiques ou physico-chimiques existantes.

Il intervient principalement lorsque celles-ci atteignent leurs limites.

Il peut ainsi être utilisé :

- **en amont**, pour rendre un effluent plus facilement biodégradable ;
- **en aval**, pour traiter une fraction résiduelle réfractaire ;
- **en complément d'un lavage de gaz**, pour traiter l'effluent liquide généré ;
- **en traitement spécifique**, lorsqu'un polluant particulier nécessite une oxydation avancée.

Cette modularité constitue l'un des principaux intérêts industriels du procédé.

Conclusion

POA System complète la plateforme technologique PTC Systems par une solution d'oxydation avancée destinée aux polluants difficiles à éliminer par les traitements conventionnels.

Son association d'un **réactif oxygéné spécifique** et d'une **activation UV** permet de générer *in situ* des espèces radicalaires fortement oxydantes.

Le procédé peut être utilisé pour dégrader des molécules organiques réfractaires, réduire certaines fractions de DCO difficilement biodégradables et poursuivre, lorsque cela est recherché, leur transformation vers une minéralisation poussée.

Dans les applications de traitement des gaz, **POA System** trouve notamment sa place **en aval des opérations de lavage**, pour le traitement complémentaire des effluents liquides générés.

La logique industrielle de **PTC Systems** devient ainsi particulièrement claire :

- * **traiter sélectivement le polluant à sa source,**
- * **puis traiter l'effluent résiduel avec la technologie la mieux adaptée à sa nature.**

PTC Systems associe ainsi traitement sélectif des composés soufrés et oxydation avancée dans une même stratégie de dépollution industrielle.