

PTC SYSTEMS — PLATEFORME ACTIPOLISH®

BIOPOL® — MÉTHANISATION / BIOGAZ

Dossier technique et technico-économique

Version actualisée — septembre 2026

PTC Systems → ACTIPOLISH® → BIOPOL® → Méthanisation / Biogaz

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 %



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 SN_2 .

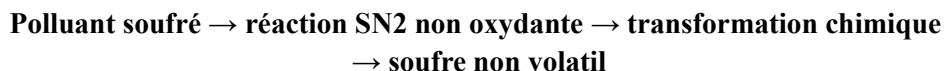
Mercaptans : 1 équivalent de principe actif par équivalent de mercaptan

La distinction doit donc être conservée dans tous les calculs :



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.



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.

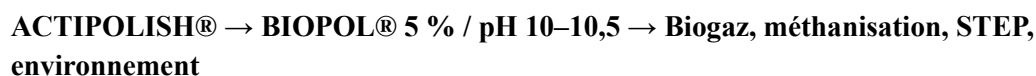
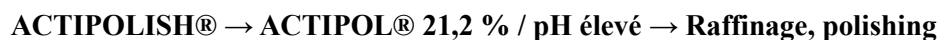
Son pH modéré, voisin de 10–10,5, permet de conserver un environnement favorable au traitement du H₂S sans rechercher une absorption massive du CO₂.

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**[®].



Ainsi :



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 % → 9,07 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 × 0,14 € = 19,19 €

Coût matières théorique ≈ 19,19 €/kg H₂S 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 m³/h à 2 500 ppm H₂S, le modèle étudié conduit à un coût matières de l'ordre de **0,50 €/m³ de biogaz**, sur la base BIOPOL® 5 % et deux équivalents pour H₂S.

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 :

**AMCA → 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®** ;
- nouvelle demande de brevet français déposée le **21 septembre 2026**, enregistrée sous le numéro **FR2612844 (Base d'un brevet international)** .

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**
