

BIOPOL® - DOSSIER COMPLET

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 H₂S sont très variables selon la nature des intrants, les conditions biologiques, le fonctionnement du digesteur et les traitements déjà présents.

Le CO₂ représente une fraction importante du gaz, alors que le H₂S 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 CO₂.

Une solution fortement sodique peut entraîner une consommation alcaline liée au CO₂. **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 CO₂.
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

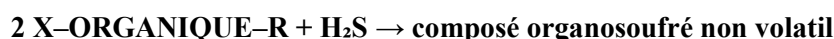
BIOPOL® ne repose ni sur une simple adsorption du H₂S ni sur son oxydation.



Dans le milieu carbonaté, le H₂S 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 SN2 commune à la plateforme **ACTIPOLISH®**.

5. RÉACTION AVEC LE H₂S

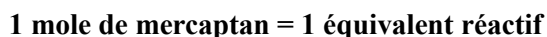
Base réactionnelle retenue :



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 H₂S gazeux et H₂S dissous.

6. RÉACTION AVEC LES MERCAPTANS

Les mercaptans ou thiols peuvent également réagir selon la même logique SN2 :



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.

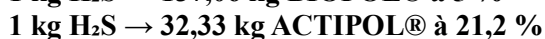
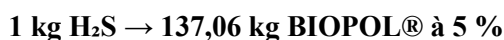
7. BASE STœCHIMÉTRIQUE DE RÉFÉRENCE H₂S

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 :



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	0,072	0,0099	0,0014 €/Nm ³
500 ppm	0,360	0,0493	0,0069 €/Nm ³
800 ppm	0,575	0,0788	0,0110 €/Nm ³
1 000 ppm	0,719	0,0985	0,0138 €/Nm ³
2 500 ppm	1,798	0,246	0,0345 €/Nm ³
3 000 ppm	2,157	0,296	0,0414 €/Nm ³
5 000 ppm	3,595	0,493	0,0690 €/Nm ³
10 000 ppm	7,19	0,985	0,138 €/Nm ³

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 : $500 \times 1,798 = 899$ g/h = **0,899 kg/h**

Besoin BIOPOL® : $0,899 \times 137,06 = 123,2$ kg/h

Coût matières : $123,2 \times 0,14 = 17,25$ €/h

Coût rapporté au gaz : $17,25 / 500 = 0,0345$ €/Nm³

Coût matières théorique $\approx 3,45$ centimes/Nm³

18. EXEMPLE — 600 Nm³/h à 800 ppm H₂S

Conversion de référence : **800 ppm = 575,3 mg H₂S/Nm³**

Charge H₂S : $600 \times 0,5753 = 345,2$ g/h = **0,345 kg/h**

BIOPOL® : $0,345 \times 137,06 \approx 47,3$ kg/h

Coût matières : $47,3 \times 0,14 \approx 6,62$ €/h, soit $\approx 0,0110$ €/Nm³

Sur 24 h : **BIOPOL®** $\approx 1\,136$ kg/jour — coût matières ≈ 159 €/jour.

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

À environ 2,157 g H₂S/Nm³ :

Charge : $\approx 2,157$ kg H₂S/h

BIOPOL® : $2,157 \times 137,06 \approx 295,6$ kg/h

Coût matières : $295,6 \times 0,14 \approx 41,38$ €/h, soit $\approx 0,0414$ €/Nm³

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	$\approx 0,0014$ €/Nm ³
500 ppm	$\approx 0,0069$ €/Nm ³
800 ppm	$\approx 0,0110$ €/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 m ³ /h
H ₂ S	4 ppm
EtSH	30 ppm
Durée	30 h
Recirculation	7,5 m ³ /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-DÉGRADATION 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**