

PLATEFORME ACTIPOLISH®

Raffinage pétrolier

Plateforme intégrée de traitement des composés soufrés

Évaluation technico-économique

Applications aux hydrocarbures et au traitement des gaz pétroliers

Septembre 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 (H_2S) 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' H_2S et de certains mercaptans.

BIOPOL® est destiné au traitement des gaz riches en CO_2 (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' H_2S 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' H_2S 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 le **21 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 (H_2S) 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' H_2S uniquement ;
- élimination simultanée de l' H_2S 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 H_2S ;
- 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 - Flexibilité de la plateforme

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

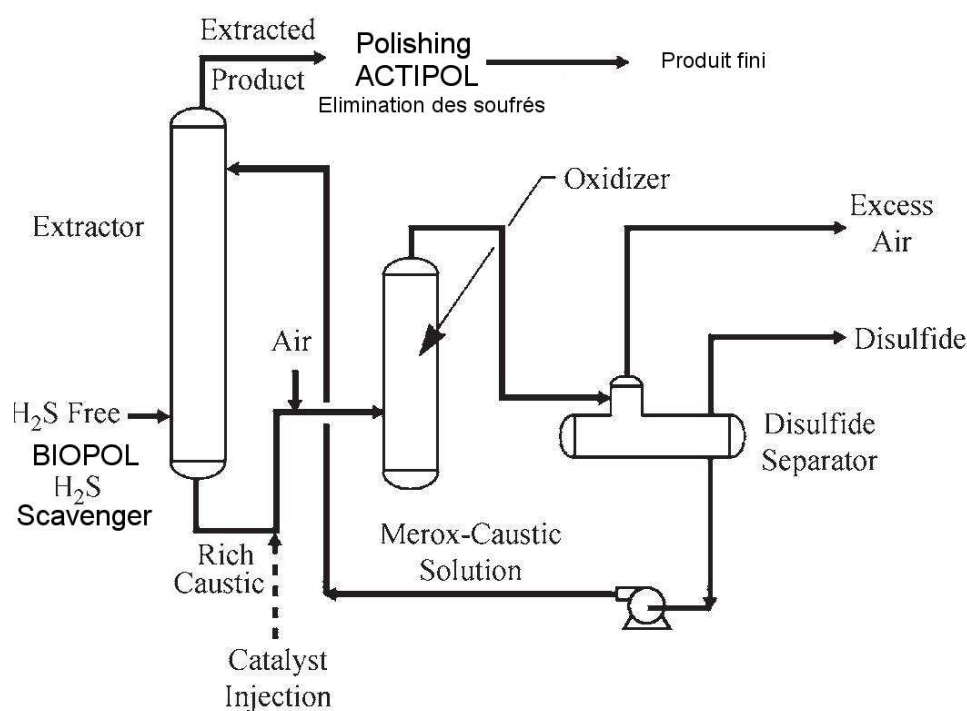
Selon les applications, les formulations peuvent être utilisées :

- indépendamment ;
- de manière séquentielle ;
- en complément de procédés existants.

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

4.7 - 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.

4.8 - 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 %
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.

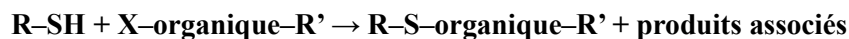
La chimie de **PTC Systems** repose sur une **réaction chimique de substitution**, et non sur une simple absorption physique ou sur une oxydation du composé soufré.

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
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	Peu adapté	Possible	Peu flexible	Possible

CRITÈRE	ACTIPOLISH®	AMINES	SOUDE	MEROX®	ADSORPTION
	intéressant à étudier				

* 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

ACTIPOL®	BIOPOL®
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 :

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

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 : $\approx 0,531 \text{ €/m}^3$

Débit	ACTIPOL®/jour	Coût matières/jour
1 000 m ³ /j	$\approx 1,00 \text{ t}$	$\approx 531 \text{ €}$
5 000 m ³ /j	$\approx 5,01 \text{ t}$	$\approx 2 655 \text{ €}$
8 000 m ³ /j	$\approx 8,02 \text{ t}$	$\approx 4 248 \text{ €}$
10 000 m ³ /j	$\approx 10,02 \text{ t}$	$\approx 5 310 \text{ €}$

À 8 000 m³/j et 365 jours/an : $\approx 1,55 \text{ M€/an de matières ACTIPOL®}$

6.9 — Cas particulièrement favorable à étudier

Considérons une sortie HDS déjà performante :

H₂S = 2 ppm

Mercaptans = 10 ppm

Consommation ACTIPOL® :

H₂S $\rightarrow \approx 0,053 \text{ kg/m}^3$

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 m³/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 :

H₂S = 5 ppm + mercaptans = 150 ppm

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

Pour 8 000 m³/j : $\approx 9,76 \text{ t ACTIPOL®/jour} \approx 5 176 \text{ €/jour}$

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

Pour 10 000 m³/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 RSSR	Non	Oui
Formation intentionnelle RSSR	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® :

$$\text{COÛT} \approx \text{CHARGE SOUFRÉE} \times \text{DÉBIT} \times \text{CONSOMMATION STœCHIMÉTRIQUE}$$

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 :

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

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® €/m ³	1 000 m ³ /j	5 000 m ³ /j	8 000 m ³ /j	10 000 m ³ /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 / SULFLEX

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' H_2S 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 SN_2 ;
- 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 le 21 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'acide monochloroacétique, 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 le **21 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.

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.