

Coûts des traitements des rejets de substances toxiques

■ Contexte de l'étude

Une étude destinée à mettre à disposition de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse un référentiel de coûts unitaires des actions à mener pour la réduction des rejets de substances toxiques a été réalisée en 2011.

L'étude se limite aux rejets canalisés : effluents industriels (eaux industrielles, eaux de refroidissement et eaux pluviales). Il est également important de noter que cette étude n'est pas exhaustive puisqu'elle a porté sur les installations déjà en place et utilisées. Depuis, d'autres solutions, liées à des développements récents, existent. L'étude est basée sur les solutions de traitement et non de substitution trop difficiles à chiffrer.

Secteurs d'activités et substances étudiés :

SECTEURS :

- abattoirs
- industrie pétrolière
- traitement et stockage des déchets
- industrie du verre
- centrales thermiques de production d'électricité
- colles et adhésifs
- fabrication de peintures
- fabrication de pigments
- industrie du plastique
- industrie du caoutchouc
- traitement du textile
- industrie papetière
- industrie de la métallurgie
- formulation galénique de produits pharmaceutiques
- industrie de l'imprimerie
- industrie agro-alimentaire
- industrie du traitement des cuirs et des peaux
- industrie du travail mécanique des métaux
- industrie du traitement et revêtement de surface
- industrie du bois
- industrie de la céramique et des matériaux réfractaires
- industrie de la chimie

SUBSTANCES :

- anthracène
- arsenic et ses composés
- benzène
- cadmium et ses composés
- chloroforme
- chrome et ses composés
- cuivre et ses composés
- 1,2 dichlorobenzène
- 1,2 dichloroéthane
- fluoranthène
- mercure et ses composés
- naphthalène
- nickel et ses composés
- nonylphénols
- octylphénols (para-tert-octylphénol)
- plomb et ses composés
- tétrachloroéthylène
- tétrachlorure de carbone
- 2,4,6 trichlorophénol
- toluène
- tributylphosphate
- trichloroéthylène
- xylènes (somme o,m,p)
- zinc et ses composés

▪ Indicateur physique économique

L'indicateur physique économique est le **débit à traiter en m³/h**. Les coûts de référence sont ainsi exprimés par une fourchette de coûts en k€ HT par classe de débit à traiter.

▪ Coûts de référence

Les coûts de référence correspondent à des coûts d'investissement par tranche de débit d'eau polluée à traiter. Dans certains cas, des coûts de fonctionnement sont également indiqués. Les coûts de référence sont estimatifs. Ils s'entendent hors taxes et hors honoraires. Ils ne prennent pas en compte les fournitures et travaux nécessaires pour l'amenée de l'alimentation électrique, l'air comprimé, l'eau ou toute autre utilité des installations projetées. Ils ne comprennent pas non plus les connections d'instrumentation, d'automatismes ou de report d'information, ni la voirie, la clôture, ou d'autres éléments d'ordre architectural ou paysager.

Les coûts sont présentés par type de traitement sur la base des volumes et des charges observés lors de la campagne d'inventaire réalisée lors de la première phase de l'étude.

[Télécharger l'étude complète](#)

▪ Origine des données : étude économique

Année de l'étude : 2010

Auteur : IRH Ingénieur Conseil pour le compte de l'agence de l'eau RM&C

Types de traitement étudiés dans le rapport :

Pour voir les coûts relatifs à un type de traitement, cliquez sur le nom du traitement.

1. ADSORPTION
2. COAGULATION, FLOCCULATION, DECANTATION, AEROFLOTTATION
3. ECHANGEUR D'IONS
4. FILTRE À SABLE CONTINU
5. TECHNIQUES MEMBRANAIRES
6. OXYDATION/INCINERATION
7. OXYDO-REDUCTION CHIMIQUE
8. STRIPPING
9. TRAITEMENT À L'OZONE
10. TRAITEMENT BIOLOGIQUE
11. ELECTRODIALYSE
12. OXYDATION PAR VOIE HUMIDE
13. PERVAPORATION
14. PHYTOREMEDIATION

[Télécharger la fiche synthétique comprenant l'ensemble des traitements étudiés](#)

1. TRAITEMENT PAR ADSORPTION

- Estimation de l'investissement : coûts de référence

ADSORPTION		
Coût de référence		
Débit à traiter (m ³ /h)	Coût en cas d'achat (€ HT) hors Génie Civil	Coût dans le cas de sous-traitance (€ HT)
1 à 10 m ³ /h	Coût d'investissement : 10 000 – 20 000 € HT + coût de fonctionnement : 2 €/kg de charbon actif	500 – 800 €/mois + 2,2 €/kg de charbon actif
10 à 20 m ³ /h	Coût d'investissement : 20 000 – 40 000 € HT + coût de fonctionnement : 2 €/kg de charbon actif	800 – 1 000 €/mois + 2 €/kg de charbon actif
20 à 60 m ³ /h	Coût d'investissement : 40 000 – 60 000 € HT + coût de fonctionnement : 2 €/kg de charbon actif	1 000 – 1 300 €/mois + 1,8 €/kg de charbon actif
Équipement de mesures et de pilotage	Coût d'investissement quel que soit le débit à traiter : 5 – 10 k€ HT	-

- Définition

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux à fixer à leur surface des ions ou des molécules de façon plus ou moins réversible. Les supports utilisés ont une structure poreuse leur procurant une grande surface spécifique¹. Les éléments indésirables sont alors liés de façon chimique et physique aux pores du support de filtration.

Différents produits naturels (zéolithes, argiles, charbon...) ou de synthèse peuvent être utilisés pour le traitement par adsorption. Le charbon actif est un matériau connu pour ses propriétés adsorbantes sur plusieurs éléments organiques et minéraux.

¹ La surface spécifique représente l'aire disponible pour adsorber une monocouche de molécules

- **Substances concernées**

Parmi les substances susceptibles d'être traitées par charbon actif, figurent :

- benzène
- cadmium
- chloroforme
- 1,2 dichlorobenzène
- mercure
- nickel
- nonylphénols
- octylphénols (para ter octylphénol)
- tétrachloroéthylène
- toluène
- trichloroéthylène
- xylène

- **Secteurs concernés**

Le traitement par charbon actif peut être appliqué dans tous les secteurs d'activité engendrant de la pollution organique dans leur rejet et disposant déjà des traitements prérequis pour éliminer les paramètres classiques.

Parmi les secteurs concernés, on peut citer :

- tous les sous-secteurs de la chimie ;
- la chimie organique : oléfines, aromatiques, composés oxygénés, azotés, halogénés, sulfureux, phosphorés, organométalliques, site de mélange et de conditionnement de produits pétrolier ;
- l'industrie des poudres et explosifs ;
- la fabrication d'accumulateurs et de piles ;
- l'industrie du traitement et de revêtement de surface ;
- les secteurs du traitement du bois.

2. TRAITEMENT PAR COAGULATION, FLOCCULATION, DÉCANTATION, AÉROFLOTTATION

- **Estimation de l'investissement : coûts de référence**

En fonction du volume journalier d'effluents émis par l'activité, le traitement par voie physico-chimique des effluents issus des ateliers de traitement de surface peut être réalisé :

- en discontinu (bâché) pour des volumes journaliers ne dépassant pas les 10 m³/j,
- soit en continu pour des volumes supérieurs à 10 m³/j.

COAGULATION, FLOCCULATION, DÉCANTATION, AÉROFLOTTATION	
Débit à traiter (m³/h)	Investissement en cas d'achat (k€ HT) hors bâtiment
< 10 m ³ /h	Traitement discontinu : 150 – 300 k€ HT
10 à 20 m ³ /h	400 – 700 k€ HT
20 à 40 m ³ /h	700 – 1 000 k€ HT
40 à 60 m ³ /h	1 000 – 1 500 k€ HT

- **Définition**

Le but d'un traitement physico-chimique est de permettre la séparation de phases :

- solide/liquide : élimination de matières en suspension ;
- liquide/liquide : élimination d'hydrocarbures et d'huiles/graisses.

Ce processus se fera de manière naturelle par simple séparation gravitaire dans des ouvrages de prétraitement rudimentaires ou bien en mettant en œuvre des traitements de floculation/flottation où des produits de traitements et des installations spécifiques seront nécessaires pour obtenir des particules (flocs) susceptibles d'être séparées de l'eau.

- **Substances concernées**

Le traitement physico-chimique peut être appliqué essentiellement pour réduire les teneurs en métaux (précipitation), en huiles (cassage), en colloïdes. Toutefois, il peut aussi réduire une fraction de la pollution organique (présente sous forme colloïdale) et atténuer la coloration des effluents. Pour certains composés, il peut être associé à des traitements de déshuilage/dégraissage.

Parmi les substances susceptibles d'être traitées par voie physico-chimique, on peut citer :

- arsenic
- cadmium
- chrome
- cuivre
- mercure
- nickel
- nonylphénols
- plomb
- toluène
- xylène
- zinc

- **Secteurs concernés**

Le traitement par voie physico-chimique peut être appliqué dans beaucoup de secteurs d'activité engendrant des effluents huileux, turbides (présence de colloïdes ou matières en suspension) ou véhiculant des métaux (sous forme soluble ou particulaire).

Parmi les secteurs concernés, on peut citer :

- l'industrie de traitement et revêtement de surfaces ;
- les abattoirs ;
- les textiles ;
- la chimie ;
- le raffinage ;
- la blanchisserie ;
- la cristallerie et l'industrie du verre.

3. TRAITEMENT PAR ÉCHANGEUR D'IONS

- Estimation de l'investissement : coûts de référence

Pour les petites entreprises rejetant des volumes journaliers inférieurs à $10 \text{ m}^3/\text{j}$, l'installation est souvent gérée par un sous-traitant qui assure la mise à disposition des équipements, leur suivi et la régénération des résines.

Pour des entreprises rejetant des volumes plus importants, l'investissement peut être engagé pour la mise en place d'une installation (achat des équipements et gestion sur site).

ÉCHANGEUR D'IONS	
Débit à traiter (m^3/h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< $1 \text{ m}^3/\text{h}$: cas de sous-traitance	Coût d'investissement : 15 – 30 k€ HT + régénération : coût de fonctionnement 4 €/l de solution de régénération
1 à $10 \text{ m}^3/\text{h}$	50 – 150 k€ HT
10 à $20 \text{ m}^3/\text{h}$	150 – 250 k€ HT
20 à $40 \text{ m}^3/\text{h}$	250 – 400 k€ HT
40 à $60 \text{ m}^3/\text{h}$	400 – 600 k€ HT

- Définition

Les résines échangeuses d'ions sont des polyélectrolytes solides et insolubles se présentant sous forme de billes ou de poudre. Elles ont pour caractéristiques de pouvoir échanger leurs ions mobiles avec des ions de même charge, par l'intermédiaire d'un milieu, généralement l'eau, dans lequel les ions échangeables sont dissous.

- Substances concernées

Même si les résines sont souvent utilisées pour l'adoucissement d'eau, elles peuvent être efficaces pour piéger plusieurs métaux et notamment :

- cadmium
- chrome
- cuivre
- mercure
- nickel
- zinc



• Secteurs concernés

Pour éviter une saturation rapide des résines et réduire les fréquences de régénération ce traitement concerne essentiellement des rejets plutôt peu chargés (eaux de rinçage, etc.). Dans les autres cas, les échangeurs d'ions ne pourront être mis en œuvre qu'après un traitement permettant d'éliminer la majeure partie des polluants présents.

Ce traitement peut concerner :

- les ateliers de traitement de surface ;
- certains secteurs de la chimie (Ni, Zn, Cd, Cr, etc.) ;
- les cristalleries et autres industries du verre ;
- la fabrication d'accumulateurs et de piles ;
- la chimie organique : oléfines, craquage, aromatiques, (Cu) ;
- tout autre secteur susceptible d'utiliser des métaux.



4. TRAITEMENT PAR FILTRE À SABLE CONTINU

- Estimation de l'investissement : coûts de référence

FILTRE À SABLE CONTINU	
Débit à traiter (m³/h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< 10 m ³ /h	30 – 50 k€ HT
10 - 20 m ³ /h	50 – 80 k€ HT
20 - 50 m ³ /h	80 – 130 k€ HT
50 - 100 m ³ /h	130 – 200 k€ HT

- Définition

Il s'agit de procédés de filtration sur sable qui permettent de s'affranchir des séquences de lavage (nécessitant un arrêt après chaque cycle de production). Le lavage du matériau est réalisé de manière continue sans arrêt de la production d'eau traitée.

- Substances et secteurs concernés

Dans le traitement des eaux résiduaires, la filtration sur sable est souvent mise en place soit pour affiner la clarification (élimination des matières en suspension et colloïdes) d'une eau traitée préalablement par un autre procédé (physico-chimique ou biologique), soit pour protéger un étage de finition par charbon actif, ozonation ou résines échangeuses d'ions.

Dans le cas de l'étude, sa mise en place peut être nécessaire pour éliminer les matières en suspension ou colloïdales et pour protéger des éventuels traitements de finition. Tous les secteurs peuvent être concernés.

5. TRAITEMENT PAR TECHNIQUE MEMBRANAIRE

- Estimation de l'investissement : coûts de référence

Les investissements ont été estimés sans tenir compte :

- des spécificités du site industriel (intégration dans la filière existante ou à proximité de la ligne de production dans le cas de traitement d'effluents spécifiques) ;
- du génie civil difficile à appréhender d'une manière globale (bâtiment dédié à l'installation, fondations spéciales,....) ;
- de l'éventuelle nécessité de mettre en place une cuve ou un bassin tampon.

Les tableaux suivants fournissent une estimation de l'enveloppe budgétaire à engager pour la mise en place d'une installation de traitement par membrane (par tranche de débit à traiter) :

ÉTAGE DE MICROFILTRATION OU D'ULTRAFILTRATION		
Débit de production (m³/j)	Microfiltration (coût k€ HT)	Ultrafiltration (coût k€ HT)
< 10 m ³ /j	25 k€ HT	30 k€ HT
10 – 30 m ³ /j	40 – 60 k€ HT	50 – 70 k€ HT
30 – 50 m ³ /j	60 – 80 k€ HT	70 – 100 k€ HT
50 – 100 m ³ /j	80 – 110 k€ HT	100 – 130 k€ HT
ÉTAGE DE NANOFILTRATION OU OSMOSE INVERSE		
Débit de production (m³/j)	Nanofiltration ou osmose Inverse (coût k€ HT)	
< 10 m ³ /j	60 – 90 k€	
10 – 30 m ³ /j	90 – 130 k€	
30 – 50 m ³ /j	130 – 180 k€	
50 – 100 m ³ /j	180 – 250 k€	
100 – 200 m ³ /j	250 – 350 k€	
200 – 300 m ³ /j	350 – 450 k€	

Il faut ajouter à ces budgets 25 à 30 % environ de frais de montage, de mise en route, etc.

- **Définition**

Les techniques membranaires sont des procédés de séparation physique mettant en œuvre des pellicules minces (film), semi-perméables, synthétisées à base de produits minéraux ou organiques. Il en existe plusieurs en fonction de la taille des éléments à séparer, de la pression à appliquer et des substances.

- **Substances concernées**

Parmi les substances susceptibles d'être traitées par les techniques membranaires, on peut citer à titre indicatif :

- arsenic
- cadmium
- 1,2 dichloroéthane
- mercure
- nickel
- nonylphénols
- plomb
- autres métaux

- **Secteurs concernés**

Les techniques membranaires peuvent être appliquées pratiquement dans tous les secteurs d'activité concernés par l'étude.

6. TRAITEMENT PAR OXYDATION / INCINÉRATION

• Estimation de l'investissement : coûts de référence

Le coût d'investissement dépend essentiellement du débit (d'effluent gazeux) à traiter et de l'intégration ou non du traitement amont et aval dans le budget global.

En fonction du type d'incinérateur, l'enveloppe budgétaire à engager peut être estimée ainsi :

OXYDATION / INCINÉRATION	
Type de système	Investissement (€ HT/m ³ /h)
Système non catalytique	50 - 70 €/m ³ /h dont 40 - 55 €/m ³ /h pour l'incinérateur
Système catalytique	40 - 60 €/m ³ /h dont 35 - 50 €/m ³ /h pour l'incinérateur

• Définition

L'oxydation consiste à transformer les composés (molécules) potentiellement nuisibles ou toxiques à l'état de CO₂ et H₂O, moins nuisibles, en utilisant l'oxygène de l'air comme oxydant.

• Substances concernées

L'oxydation thermique peut être appliquée à tous les composés organiques volatiles (COV). Sa mise en œuvre nécessite une étape préalable de séparation et de collecte de ces composés sous forme gazeuse (stripping ou désorption du charbon) avant de les injecter dans l'incinérateur.

Dans le cadre de l'étude, les substances concernées par ce type de traitement sont :

- anthracène
- 1,2 dichlorobenzène
- fluoranthène
- trichloéthylène
- composés phénolés

Il faut toutefois préciser que ce traitement n'est économiquement viable que pour des concentrations élevées en polluants. On le réserve en général quand la récupération d'effluents concentrés en polluants particuliers est possible. Dans ce cas, pour de petites quantités, l'évacuation sous forme de déchets liquides vers un centre spécialisé doit être privilégiée.

• Secteurs concernés

L'oxydation thermique peut être appliquée dans le traitement d'effluents provenant de différents secteurs d'activité mettant en œuvre des composés organiques volatiles.

Ce traitement peut être appliqué dans les secteurs suivants :

- tout secteur engendrant des composés organiques volatiles ;
- différents sous-secteurs de la chimie ;
- le regroupement, le prétraitement des déchets dangereux ;
- d'autres sites de traitement ou stockage des déchets.

La mise en place d'un incinérateur sur site doit être réservée aux établissements produisant de grandes quantités d'effluents concentrés en solvants divers (pour un solvant unique, un recyclage peut être étudié).

7. TRAITEMENT PAR OXYDO-RÉDUCTION CHIMIQUE

- Estimation de l'investissement : coûts de référence

TRAITEMENT D'OXYDATION DES ESPÈCES MINÉRALES TRAITEMENT DE DÉTOXICATION (traitement des surfaces, tanneries)	
Débit à traiter (m ³ /h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< 1 m ³ /h	Traitement discontinu : 20 – 50 k€ HT
1 à 10 m ³ /h	50 – 100 k€ HT
10 à 20 m ³ /h	100 – 150 k€ HT

Traitements d'oxydation de la pollution organique :

Il n'y a pas de coûts standards pour ce type de procédé. A titre d'exemple :

Oxydation catalysée à l'H ₂ O ₂ , double étage avec réchauffage et régulation du pH, temps de séjour ½ h	
Débit à traiter (m ³ /h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
5 m ³ /h	750 k€ HT

- Définition

Les réactions d'oxydo-réduction sont utilisées pour modifier l'état physique de certains composés pour les rendre insolubles ou non toxiques. Ces réactions (principalement l'oxydation) peuvent également dégrader les substances organiques pouvant par ailleurs présenter une mauvaise biodégradabilité.

- Substances concernées

Les procédés d'**oxydoréduction des espèces minérales** sont souvent appliqués pour éliminer le chrome (déchromatation) et les cyanures (décyanuration) de certains effluents (traitement de surface). L'élimination de ces composés passe d'abord par une étape de réduction (chrome) ou d'oxydation (cyanure) puis une étape de précipitation des métaux sous forme d'hydroxyde avant la clarification de l'eau traitée (décantation). Dans le cadre de l'étude, seul le chrome est pris en compte. Les procédés d'**oxydation des espèces organiques** peuvent concerner l'ensemble des substances organiques dangereuses, à des niveaux de performances variables.

- Secteurs concernés

Les secteurs suivants sont susceptibles de faire appel à l'oxydation de la pollution organique :

- les traitements de surface ;
- les tanneries ;
- les mines pour l'oxydation/réduction des polluants minéraux ;
- la chimie ;
- la pharmacie ;
- la papeterie ;
- la cosmétique ;
- la pétrochimie ;
- l'électronique ;
- la raffinerie.

8. TRAITEMENT PAR STRIPPING

- Estimation de l'investissement : coûts de référence

STRIPPING	
Débit à traiter (m ³ /h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< 1 m ³ /h	150 – 200 k€ HT
1 – 5 m ³ /h	200 – 300 k€ HT
5 – 10 m ³ /h	300 – 600 k€ HT

- Définition

Il s'agit d'une opération pour laquelle un soluté gazeux est chassé de l'eau par l'action d'un autre gaz appelé gaz laveur et dont le rôle est de provoquer dans la phase gazeuse une chute de la pression partielle du constituant à éliminer et d'entraîner ainsi son dégazage.

- Substances concernées

Le stripping est souvent mis en œuvre pour le traitement des composés volatils. Ces produits peuvent être issus des matières premières consommées sur le site ou être générés en tant que sous-produits.

Dans le cadre de l'étude, les substances concernées sont :

- benzène
- bichloroforme
- 1,2 dichloroéthane
- bichlorobenzène
- tétrachloroéthylène
- trichloroéthylène
- toluène
- xylène
- BTEX
- hydrocarbures légers
- stripping des HAP est appliqué en dépollution de sol et donc peut être une solution sur les effluents (HAP les plus volatils : anthracène,...)

- Secteurs concernés

Le traitement par stripping peut concerner toutes les activités qui utilisent ou qui produisent (en produit fini, sous-produit ou en déchet) des composés volatils.

Dans le cadre de l'étude, il peut être mis en œuvre dans les secteurs d'activité suivants :

- les sites de mélange et conditionnement des produits pétroliers ;
- les sous-secteurs de la chimie ;
- la chimie organique ;
- le raffinage ;
- tout autre secteur utilisant des solvants ou composés dérivés du pétrole.

9. TRAITEMENT À L'OZONE

- Estimation de l'investissement : coûts de référence

Il est difficile d'évaluer les coûts qui dépendent du débit (gramme d'ozone par heure) mais également de la quantité d'ozone à produire. On peut toutefois évoquer les ratios suivants :

TRAITEMENT À L'OZONE	
Quantité d'ozone à produire	2 à 3 g d'O ₃ par g de DCO
Coût de référence	50 à 150 € HT par gO ₃ /h

Par exemple, si on considère 10m³/h avec 50mg/l de DCO, on obtiendra un débit de 1500gO₃/h (3x50x10=1500) soit un coût se situant entre 75 et 225 k€ HT.

- Définition

L'ozonation est un traitement chimique par oxydation. Il est considéré comme l'un des oxydants les plus puissants (avec le chlore et l'eau oxygénée). L'ozone a l'avantage de permettre des actions complémentaires dans la destruction d'un grand nombre de micropolluants et dans l'amélioration des goûts, des odeurs et dans la destruction des couleurs.

- Substances concernées

N'étant pas sélectif, l'ozone est susceptible d'oxyder tout composé réducteur (composé organique, métaux, colorants, etc.). L'oxydation peut être plus ou moins poussée pour aboutir soit à des composés (structure intermédiaire : molécules moins complexes mieux biodégradables) soit à des structures élémentaires (gaz, oxydes métalliques, etc.). Dans le cadre de l'étude, ce traitement peut concerner les substances suivantes :

- chlorophénols
- naphthalène
- octylphénols (para tert octylphénol)
- OHV (organohalogénés volatils)
- métaux

- Secteurs concernés

Le traitement par l'ozone peut être appliqué dans beaucoup de secteurs d'activité. Dans le cadre de l'étude, les secteurs sont :

- l'industrie de chimie organique ;
- l'industrie du papier ;
- l'industrie des peintures et pigments ;
- tout autre secteur susceptible d'utiliser des métaux ou des substances organiques polluants.

10. TRAITEMENT BIOLOGIQUE

• Estimation de l'investissement : coûts de référence

Compte tenu des secteurs d'activité concernés et des objectifs, seul le traitement par boues activées est pris en compte dans l'estimation de l'investissement.

L'estimation de l'investissement est tributaire de plusieurs paramètres, en l'occurrence :

- des charges polluantes à traiter : plus la charge est importante, plus le coût du traitement au kg de DCO sera réduit ;
- de la complexité de la filière de traitement d'eau (traitement de l'azote, du phosphore, de la DCO dure, etc.) ;
- de la filière de traitement des boues (épaississement, digestion, déshydratation plus ou moins poussée, etc.).

TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVÉES	
Gamme de charge en kg de DCO/j	Investissement (€ HT/kg de DCO)
< 100 kg DCO/j	6 000 – 8 000 € HT/kg DCO
100 – 500 kg DCO/j	4 000 – 6 000 € HT/kg DCO
500 – 1 000 kg DCO/j	2 000 – 4 000 € HT/kg DCO
1 000 – 5 000 kg DCO/j	1 500 – 2 000 € HT/kg DCO
> 5 000 kg DCO/j	600 – 1 500 € HT/kg DCO

• Définition

Le traitement biologique consiste à mettre en contact, sous des conditions contrôlées de pH et de température, le substrat carboné (pollution organique apporté par les effluents) et une biomasse épuratrice utilisant ce substrat dans son métabolisme.

• Substances concernées

Le traitement biologique est mis en œuvre pour le traitement de composés plutôt biodégradables. La biodégradation de certains composés, lentement biodégradables, peut nécessiter l'augmentation du temps de séjour dans le bassin d'aération.

Dans le cadre de l'étude, les substances sont :

- 1,2 dichlobenzène
- 1,2 dichloroéthane
- 2,4,6 trichlorophénol
- composés phénolés
- HAP

Ces traitements ont également un effet sur les métaux. En effet ces composés s'adsorbent sur les particules et sont évacués dans les boues.

• Secteurs concernés

Le traitement biologique peut être appliqué dans le traitement d'effluents provenant de différents secteurs d'activité mettant en œuvre des produits organiques (carbonés). Les performances de ce traitement dépendent à la fois des caractéristiques physico-chimiques des effluents (leur degré de biodégradabilité), du choix du procédé et de l'optimisation de son fonctionnement.

Il peut être appliqué dans les secteurs suivants :

- la chimie organique ;
- tout autre secteur engendrant des charges organiques.

11. TRAITEMENT PAR ÉLECTRODIALYSE

- **Estimation de l'investissement**

Peu de données existent sur cette technique, le coût unitaire n'a donc pas été estimé lors de l'étude.

- **Définition**

L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité les ions contenus dans une solution, en conservant des substances pas ou très peu ionisées.

Cette extraction est réalisée par migration au travers de membranes échangeuses d'ions soumises à un champ électrique continu.

- **Substances concernées**

Ce traitement peut concerner :

- plomb
- cadmium
- chrome

- **Secteurs concernés**

Ce procédé pourrait être appliqué aux secteurs d'activité suivants, susceptibles de rejeter des effluents contenant des métaux :

- l'industrie de traitement et de revêtement de surface ;
- la fabrication d'accumulateur et de piles ;
- la production et transformation de métaux non ferreux ;
- tout secteur d'activité.

Toutefois, cette technique nécessite un pré-traitement très poussé et ne pourrait, en tout état de cause, être mise en œuvre que dans des cas très particuliers. Bien que l'électrodialyse mérite d'être citée dans le panel de techniques disponibles, elle n'a pas été conservée dans l'étude.

12. TRAITEMENT PAR OXYDATION PAR VOIE HUMIDE

- **Estimation de l'investissement**

Ce procédé novateur est breveté. Il est difficile actuellement de disposer de données précises et fiables sur ses performances réelles ainsi que sur le coût du traitement (investissement).

A titre d'exemple, pour le traitement de boues de stations d'épuration urbaines, l'investissement est estimé entre 800 k€ et 1 million €/tonne de matière sèche.

- **Définition**

L'Oxydation par voie humide (OVH) est mise en œuvre pour traiter les effluents à forte charge organique difficilement dégradable. L'agent oxydant est l'oxygène de l'air ou l'oxygène industriel.

- **Substances et secteurs concernés**

Le traitement par OVH est une variante des procédés d'oxydation à haute pression et température. Il peut être appliqué à toutes les substances oxydables organiques ou minérales.

Cependant, compte tenu des coûts élevés du traitement (à la fois en investissement et en frais de fonctionnement), sa mise en œuvre est actuellement très limitée (quelques rares références en France en réalisation ou en projet essentiellement dédiés au traitement de boues de stations d'épuration urbaines).

Ce traitement est certainement un procédé d'avenir. Son application sera probablement vouée à des effluents spécifiques en faible volume (concentrats, bains de traitement contenant des composés organiques à forte concentration ou non biodégradables, boues polluées de stations d'épuration, ...)



13. TRAITEMENT PAR PERVAPORATION

• Estimation de l'investissement : coûts de référence

La pervaporation est un procédé plutôt récent couvert par de nombreux brevets. De ce fait, il est difficile de trouver des données précises concernant le dimensionnement des installations, les performances et le coût du traitement, surtout pour une application en traitement des effluents aqueux. C'est pourquoi, le coût unitaire pour ce procédé n'a pas été estimé dans cette étude.

• Définition

La pervaporation est un procédé de séparation des constituants d'un mélange liquide par vaporisation partielle à travers une membrane dense présentant une affinité préférentielle pour l'un des constituants.

• Substances concernées

Les principales applications de la pervaporation concernent :

- la déshydratation de solvants neutres et de mélanges de solvants (alcools, esters, cétones, etc.),
- la déshydratation à partir d'amines et de mélanges d'amines (TEA, pyridine, etc.),
- la déshydratation à partir d'acides organiques ou de mélanges contenant des acides organiques.

Dans le cadre de l'étude la pervaporation peut concerner les solvants organiques et principalement les COV (Composés organiques volatils).

• Secteurs concernés

La pervaporation est essentiellement utilisée dans l'industrie chimique, pétrochimique et pharmaceutique. On peut également trouver des applications dans le traitement des effluents de traitements de surface, ou dans l'industrie des vernis.

Dans le cadre de l'étude, quelques secteurs d'activité pourraient être concernés :

- la chimie organique ;
- la pétrochimie ;
- le secteur d'extraction de parfums et huiles essentielles ;
- le traitement de surface ;
- la fabrication de peinture ;
- tout secteur mettant en œuvre des solvants dans son process.

14. TRAITEMENT PAR PHYTOREMÉDIATION

- **Estimation de l'investissement : coûts de référence**

En France, l'application de ce type de traitement est plutôt récente. Il est surtout utilisé pour l'épuration des eaux usées domestiques (stations de capacité inférieure à 2 000 EH), en traitement tertiaire, ou pour l'aménagement de jardins filtrants. L'application de ce procédé au traitement des effluents industriels est encore peu développée, et donc avec un faible retour d'expériences pour le moment. C'est pourquoi le coût unitaire pour ce procédé n'a pas été estimé dans cette étude.

- **Définition**

La phytoremédiation consiste à utiliser des plantes pour traiter ou stabiliser les polluants dans les sols, ou pour traiter les eaux usées. Suivant différents processus : dégradation, transformation, volatilisation ou stabilisation. D'une manière générale, les composés inorganiques sont immobilisés ou extraits alors que les composés organiques sont dégradés.

- **Substances concernées**

En dehors des eaux usées urbaines, les polluants les plus couramment traités par phytoremédiation sont les métaux/métalloïdes ainsi que les radioéléments.

Dans le cadre de l'étude, le mercure pourrait être concerné par ce traitement.

- **Secteurs concernés**

En faisant référence à la bibliographie, les applications seraient nombreuses aux Etats-Unis et au Canada, surtout dans le domaine du traitement de sites et sols pollués ainsi qu'en dépollution de nappe. Ce procédé pourrait concerner les secteurs d'activité susceptibles de rejeter des effluents contenant des métaux ainsi que certains composés organiques.

Tableau Récapitulatif des coûts de référence

Coûts de référence			
Traitement	Coût de référence		
ADSORPTION	ADSORPTION		
	Coût de référence		
	Débit à traiter (m ³ /h)	Investissement en cas d'achat (€ HT) hors Génie Civil	Dans le cas de sous- traitance (€ HT)
	1 à 10 m ³ /h	10 000 – 20 000 € HT + 2 €/kg de charbon actif	500 – 800 €/mois + 2,2 €/kg de charbon actif
	10 à 20 m ³ /h	20 000 – 40 000 € HT + 2 €/kg de charbon actif	800 – 1 000 €/mois + 2 €/kg de charbon actif
	20 à 60 m ³ /h	40 000 – 60 000 € HT + 2 €/kg de charbon actif	1 000 – 1 300 €/mois + 1,8 €/kg de charbon actif
Équipement de mesures et de pilotage	Coût d'investissement quel que soit le débit à traiter : 5 – 10 k€ HT		
		-	

**COAGULATION,
FLOCCULATION,
DECANTATION,
AÉROFLOTTATION**

**COAGULATION, FLOCCULATION,
DECANTATION, AÉROFLOTTATION**

Débit à traiter (m³/h)	Investissement en cas d'achat (k€ HT) hors bâtiment
< 10 m ³ /h	Traitement discontinu : 150 – 300 k€ HT
10 à 20 m ³ /h	400 – 700 k€ HT
20 à 40 m ³ /h	700 – 1 000 k€ HT
40 à 60 m ³ /h	1 000 – 1 500 k€ HT

ÉCHANGEUR D'IONS

ÉCHANGEUR D'IONS

Débit à traiter (m ³ /h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< 1 m ³ /h : cas de sous-traitance	15 – 30 k€ HT + régénération : 4 €/l de solution de régénération
1 à 10 m ³ /h	50 – 150 k€ HT
10 à 20 m ³ /h	150 – 250 k€ HT
20 à 40 m ³ /h	250 – 400 k€ HT
40 à 60 m ³ /h	400 – 600 k€ HT

FILTRE À SABLE CONTINU

FILTRE À SABLE CONTINU	
Débit à traiter (m³/h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< 10 m ³ /h	30 – 50 k€ HT
10 - 20 m ³ /h	50 – 80 k€ HT
20 - 50 m ³ /h	80 – 130 k€ HT
50 - 100 m ³ /h	130 – 200 k€ HT

TECHNIQUE MEMBRANAIRE

ÉTAGE DE MICROFILTRATION OU D'ULTRAFILTRATION

Débit de production (m ³ /j)	Microfiltration (coût k€ HT)	Ultrafiltration (coût k€ HT)
< 10 m ³ /j	25 k€ HT	30 k€ HT
10 – 30 m ³ /j	40 – 60 k€ HT	50 – 70 k€ HT
30 – 50 m ³ /j	60 – 80 k€ HT	70 – 100 k€ HT
50 – 100 m ³ /j	80 – 110 k€ HT	100 – 130 k€ HT

ÉTAGE DE NANOFILTRATION OU OSMOSE INVERSE

Débit de production (m ³ /j)	Nanofiltration ou osmose Inverse (coût k€ HT)
< 10 m ³ /j	60 – 90 k€
10 – 30 m ³ /j	90 – 130 k€
30 – 50 m ³ /j	130 – 180 k€
50 – 100 m ³ /j	180 – 250 k€
100 – 200 m ³ /j	250 – 350 k€
200 – 300 m ³ /j	350 – 450 k€

OXYDATION /
INCINÉRATION

OXYDATION / INCINÉRATION	
Type de système	Investissement (k€ HT/m ³ /h)
Système non catalytique	50 – 70 k€/m ³ /h dont 40 – 55 k€/m ³ /h pour l'incinérateur
Système catalytique	40 – 60 k€/m ³ /h dont 35 – 50 k€/ m ³ /h pour l'incinérateur

OXYDO-RÉDUCTION CHIMIQUE

TRAITEMENT D'OXYDATION DES ESPÈCES MINÉRALES TRAITEMENT DE DÉTOXICATION (traitement des surfaces, tanneries)

Débit à traiter (m ³ /h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< 1 m ³ /h	Traitement discontinu : 20 – 50 k€ HT
1 à 10 m ³ /h	50 – 100 k€ HT
10 à 20 m ³ /h	100 – 150 k€ HT

STRIPPING

STRIPPING	
Débit à traiter (m ³ /h)	Investissement (k€ HT) hors bâtiment
< 1 m ³ /h	150 – 200 k€ HT
1 – 5 m ³ /h	200 – 300 k€ HT
5 – 10 m ³ /h	300 – 600 k€ HT

TRAITEMENT À L'OZONE

TRAITEMENT À L'OZONE	
Quantité d'ozone à produire	2 à 3 g d'O ₃ par g de DCO
Coût de référence	50 à 150 € HT par gO ₃ /h

TRAITEMENT BIOLOGIQUE

TRAITEMENT PAR BOUES ACTIVÉES

Gamme de charge en kg de DCO/j	Investissement (€ HT/kg de DCO)
< 100 kg DCO/j	6 000 – 8 000 € HT/kg DCO
100 – 500 kg DCO/j	4 000 – 6 000 € HT/kg DCO
500 - 1 000 kg DCO/j	2 000 – 4 000 € HT/kg DCO
1 000 - 5 000 kg DCO/j	1 500 – 2 000 € HT/kg DCO
> 5 000 kg DCO/j	600 – 1 500 € HT/kg DCO

ÉLECTRODIALYSE

Peu de données existent sur cette technique, le coût unitaire n'a donc pas été estimé lors de l'étude.

OXYDATION PAR VOIE HUMIDE

Ce procédé novateur est breveté. Il est difficile actuellement de disposer de données précises et fiables sur ses performances réelles ainsi que sur le coût du traitement (investissement).

PERVAPORATION

La pervaporation est un procédé plutôt récent couvert par de nombreux brevets. De ce fait, il est difficile de trouver des données précises concernant le dimensionnement des installations, les performances et le coût du traitement, surtout pour une application en traitement des effluents aqueux. C'est pourquoi, le coût unitaire pour ce procédé n'a pas été estimé dans cette étude.

PHYTOREMÉDIATION

En France, l'application de ce procédé au traitement des effluents industriels est encore peu développée et donc avec un faible retour d'expériences pour le moment. C'est pourquoi le coût unitaire pour ce procédé n'a pas été estimé dans cette étude.

