



GUIDE POLLUTION OLFACTIVE TUNISIE



Avec l'appui de

En collaboration avec



AT mise en oeuvre par



Financé par l'Union
européenne





SOMMAIRE

- 4 ► 1. INTRODUCTION
- 6 ► 2. APERÇU DES ACTIVITÉS SUSCEPTIBLES DE GÉNÉRER DES IMPACTS ODORIFÉRANTS IMPORTANTS EN TUNISIE
- 7 ► 3. ASPECTS DE BASE SUR LES ODEURS : PROPRIÉTÉS, CARACTÉRISTIQUES ET EFFETS
 - 7 3.1. ODEURS ET ODORANTS
 - 7 3.2. ATTRIBUTS DES ODEURS
 - 10 3.3. PRINCIPALES FAMILLES D'ODORANTS
Commentaire
 - 11 3.4. SOURCES D'ÉMISSION DES ODORANTS
- 14 ► 4. ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES ÉTUDES DES ODEURS ENVIRONNEMENTALES
- 19 ► 5. OLFACOMÉTRIE DYNAMIQUE POUR L'ÉVALUATION RETARDÉE DES ODEURS
- 25 ► 6. DESCRIPTION DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES POUR L'ÉPURATION DES ÉMISSIONS ODORIFÉRANTES
 - 28 6.1. ÉPURATEURS A ABSORPTION (« SCRUBBERS »)
 - 30 6.2. ADSORPTION SUR CHARBON ACTIF
 - 32 6.3. BIOFILTRATION CONVENTIONNELLE
 - 34 6.4. BIOFILTRATION A HAUTE PERFORMANCE
 - 37 6.5. OXYDATION THERMIQUE REGENERATIVE (RTO)



1. INTRODUCTION

Dans de nombreuses régions du monde, le problème de la pollution olfactive a fait l'objet d'une attention particulière au cours des dernières décennies et est devenue une des priorités environnementales les plus importantes.

Ceci est dû au fait que les problèmes olfactifs liés aux odeurs environnementales sont actuellement l'une des principales causes de plaintes environnementales aux autorités compétentes.

C'est pourquoi ce Guide a donc été initié par une demande de la direction « suivi des milieux » au sein de l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement en Tunisie, et élaboré dans le cadre du programme SUNREF Tunisie, est co-financé par l'AFD et l'Union Européenne. Il s'adresse aux entreprises tunisiennes qui cherchent des solutions pour réduire leur impact environnemental.

L'objectif de ce Guide est de fournir aux industriels et institutionnels tunisiens concernés des aspects de base sur les odeurs, les études sur ces sujets et les principales solutions pour l'épuration des émissions odoriférantes.

Le Guide vise donc à :

- › **Donner un aperçu des activités génératrices d'odeur en Tunisie ;**
- › **Expliquer les propriétés de base de l'odeur et les effets de la pollution olfactive ;**
- › **Identifier les sources d'odeurs les plus courantes ainsi que les polluants odoriférants les plus importants ;**
- › **Rapporter différentes actions afin de minimiser et de contrôler les émissions d'odeurs ;**
- › **Présenter les caractéristiques, les capacités et domaines d'application des technologies utilisées pour l'épuration des émissions d'odeurs et, finalement.**

3. ASPECTS DE BASE SUR LES ODEURS : PROPRIÉTÉS, CARACTÉRISTIQUES ET EFFETS

3.1. Odeurs et odorants

Les termes odeur et substance odoriférante (odorant) sont utilisés généralement de manière interchangeable et souvent de manière imprécise.

Il y a une différence distinctive entre les deux :

- › « Odeur » fait référence à la perception qui se produit lorsqu'une ou plusieurs substances interagissent avec les terminaisons nerveuses olfactives ;
- › « Odorant » est une substance présente dans l'air qui contribue à la perception d'une odeur.

3.2. Attributs des odeurs

En ce qui concerne la sensation olfactive, il y a plusieurs éléments à prendre en compte, comme :



- › **Intensité** : c'est la magnitude sensorielle avec laquelle les odeurs sont perçues et est liée logarithmiquement à la concentration d'odeurs ;
- › **Concentration d'odeur** : elle indique la « quantité » d'odeur dans un échantillon mesurée par une technique d'olfactométrie (et s'exprime, par exemple, en ouE/m^3). Ce paramètre n'exprime que la force avec laquelle l'odeur est perçue par rapport au n-butanol (qui est la substance étalon de référence). Il est nécessaire de prendre en considération que la concentration ne tient pas compte de l'intensité ni de l'agressivité.
- › **Qualité** : c'est un attribut qui vient exprimer la similitude de la sensation par rapport à certains descripteurs de reconnaissance faciles (ex : odeur de poisson, odeur d'œufs pourris, etc);
- › **Ton hédoniste** : jugement qui exprime le caractère plaisant ou déplaisant de l'odeur c'est à dire le degré d'acceptation d'une odeur par les panelistes d'un jury de nez ;

Le seuil de détection olfactive peut être défini comme la concentration à laquelle une odeur est détectée avec une probabilité de 0,50. En fait, si le seuil est déterminé, par un jury de nez (composé de membres qualifiés sensoriellement), cela signifie que l'odeur correspondante aura été perçue pour le 50% des membres de ce jury.

Il est nécessaire de distinguer le seuil de détection olfactive du seuil de reconnaissance olfactive qui correspond à la concentration qui peut être attribuée sans équivoque à une certaine substance (il est différent de considérer que « ça sent » plutôt que « ça sent le citron »). Le seuil de reconnaissance d'odeur est environ 3 à 10 fois plus élevé que le seuil de détection.

La persistance des odeurs peut être estimée à partir de la diminution de l'intensité d'une odeur lorsqu'elle est de plus en plus diluée avec de l'air filtré. Par conséquent, la persistance des odeurs est fonction de l'intensité des odeurs. D'autre part, il faut considérer que certains odorants et

certaines odeurs persistent même après avoir été dilués avec de grands volumes d'air frais, tandis que d'autres se dissipent très rapidement. Par exemple, les odeurs de sulfure d'hydrogène sont plus persistantes que les odeurs d'ammoniac et les odeurs de fumier avicole plus persistants que ceux de de fumier laitier.

Les impacts possibles des odeurs vont de la simple détection d'une odeur à une nuisance publique ou, à des concentrations élevées, à un possible problème ou danger pour la santé. On croit que la plupart des odeurs constitue une nuisance publique plutôt qu'un danger pour la santé. Cependant, un certain nombre de manifestations physiologiques dues à des odeurs désagréables ont été rapportées dans la littérature scientifique publiée, notamment des nausées, des vomissements, des maux de tête, une perte d'appétit, de l'insomnie, des maux d'estomac et une irritation de la gorge. Le tableau suivant présente les descripteurs des symptômes physiques et psychologiques les plus fréquemment attribués à l'exposition à des odeurs gênantes.

Tableau 1 : Descripteurs de symptômes typiques attribués à l'exposition à des odeurs gênantes

Descripteurs des symptômes physiques	Descripteurs des symptômes psychologiques
<p>Nausées • Diminution de l'appétit Congestion • Irritation sensorielle et respiratoire • Maux de tête • Vertiges Problèmes de sommeil</p>	<p>Tension • Nervosité • Colère Frustration • Dépression • Fatigue Confusion • Stress général</p>

3.3. Principales familles d'odorants

Les principales familles d'odorants sont énumérées ci-dessous et, comme on peut le voir, correspondent à des substances aux structures chimiques très variées.

Tableau 2 : Principales familles d'odorants

Symptômes	Commentaire
Substances dérivées du soufre	Comprennent : sulfure d'hydrogène (H ₂ S), thiols (mercaptans), thioéthers (tels que sulfure, disulfure et trisulfure de diméthyle et autres), disulfure de carbone, sulfure de carbonyle, dérivés du thiophène et autres.
Substances azotés	Comprennent : ammoniac (NH ₃), amines, nitriles, dérivés de pyridine, pyrazines, dérivés nitroaromatiques, aminoalcools, indole, scatol, putrescine, cadavérine et autres.
Composés organiques contenant de l'oxygène dans leurs molécules	Comprennent : alcools, aldéhydes, cétones, acides, phénols (et leurs dérivés), esters, éthers et autres.
Hydrocarbures aromatiques volatiles et terpènes	Comme : benzène, toluène, xylènes, p-cymène, α -pinène, β -pinène, linalool, limonène, etc.
Composés halogénés	Comprennent : chlorobenzènes, chloroanisoles, chlorophénols, etc.
Autres substances odorantes	Comme : Ozone (O ₃), oxydes d'azote et de soufre, 1,3-butadiène, muscs synthétiques (comme les muscs de xylène), géosmine, etc.

3.4. Sources d'émission des odorants

Par leur origine et l'intensité de leurs émissions les odeurs, les types d'activités et d'installations concernées peuvent être classés ainsi :

Tableau 3 : Types d'activités et d'installations à émissions odoriférantes t

Émissions de charges odoriférantes élevées et moyennes provenant des infrastructures de traitement de l'environnement (publiques ou privées)

Eaux usées et boues

- › Réseaux d'assainissement (y compris les stations de pompage des eaux usées)
- › Stations d'épuration des eaux usées (STEP) et/ou installations de traitement des boues (transfert, déshydratation, biométhanisation, ...)

Déchets solides municipaux

- › Usines de transfert, de tri et de recyclage
- › Décharges
- › Usines de compostage
- › Usines de biométhanisation
- › Écoparc (installations dans lesquelles une chaîne complète de processus de traitement des déchets est réalisée)

Autres déchets

- › Installations d'équarrissage
- › Installations de méthanisation du fumier
- › Installations de traitement des déchets industriels

Émissions de charges odoriférantes élevées et moyennes provenant d'installations industrielles dans les secteurs suivants

- Raffineries pétrochimiques
- Usines de chimie de base et de chimie fine
- Fabrication d'engrais
- Transformation des plastiques
- Fabrication d'alimentation pour les animaux
- Alimentation humaine (conserves de poisson, production d'huile, abattoirs, cuisines industriels)
- Torréfaction de café et de cacao
- Impression et flexographie
- Tannage
- Autres : revêtement de surfaces, fabrication de meubles, etc

Émissions de charges odoriférantes élevées moyennes provenant d'autres sources

- Production animale intensive
- Application de fumier ou de boues de STEP sur le sol

Émissions de charge odoriférante totale moyenne ou faible

- Fuites des réseaux de gaz
- Marchés

Tableau 4 : Sources d'émission d'odorants

Installations	Processus	Odorants
Alimentation humaine	Elevage	Ammoniac, amines, H ₂ S, DMS, éthanol, carbonyles (acétone, acétaldéhyde), FAV (acides C1-C6), dérivés phénoliques
	Abattoirs	Ammoniac, Amines, H ₂ S, mercaptans, thioéthers, aldéhydes, acides gras volatiles
	Industries du poisson	Ammoniac, Amines (TMA, DMA, EA), alcools, aldéhydes, acides gras volatiles
	Fabrication de levures	Alcools, cétones, acides gras volatiles (C4-C5)
	Fabrication de sucre	Pyrazines, furanes, composés phénoliques, alcools aliphatiques, composés soufrés et FAV
	Raffineries de l'huile	Acides gras volatiles, aldéhydes et cétones, terpènes
Stations d'épuration des eaux usées (STEP)	Filière des eaux	H ₂ S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, acides gras volatiles
	Filière des boues	H ₂ S, mercaptans, ammoniac, amines
Décharges de déchets urbains	Zones d'enfouissement	H ₂ S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, hydrocarbures aromatiques, alcools, esters, terpènes, aldéhydes et cétones, acides gras volatiles
Installations de compostage de déchets urbains et de boues		H ₂ S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, alcools, esters, terpènes, aldéhydes et cétones, acides gras volatiles
Usines ou plantes de biométhanisation		Hydrocarbures, furannes, H ₂ S, thioéthers, aldéhydes et cétones
Installations d'équarrissage		Acides



4. ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES ÉTUDES DES ODEURS ENVIRONNEMENTALES

Cette partie présente les principales manières d'aborder l'étude des odeurs environnementales, tant en termes d'émissions que de concentrations en air ambiant.

Un impact odoriférant d'une activité ne peut se produire que lorsqu'une source et un récepteur humain sont reliés par une « trajectoire » qui est la plus souvent définie par des conditions météorologiques spécifiques (principalement la vitesse et la direction du vent) à court ou moyen terme.

Les trois aspects indiqués ci-dessus, comme le montre la figure suivante, sont nécessaires pour créer une réponse olfactive chez les récepteurs.

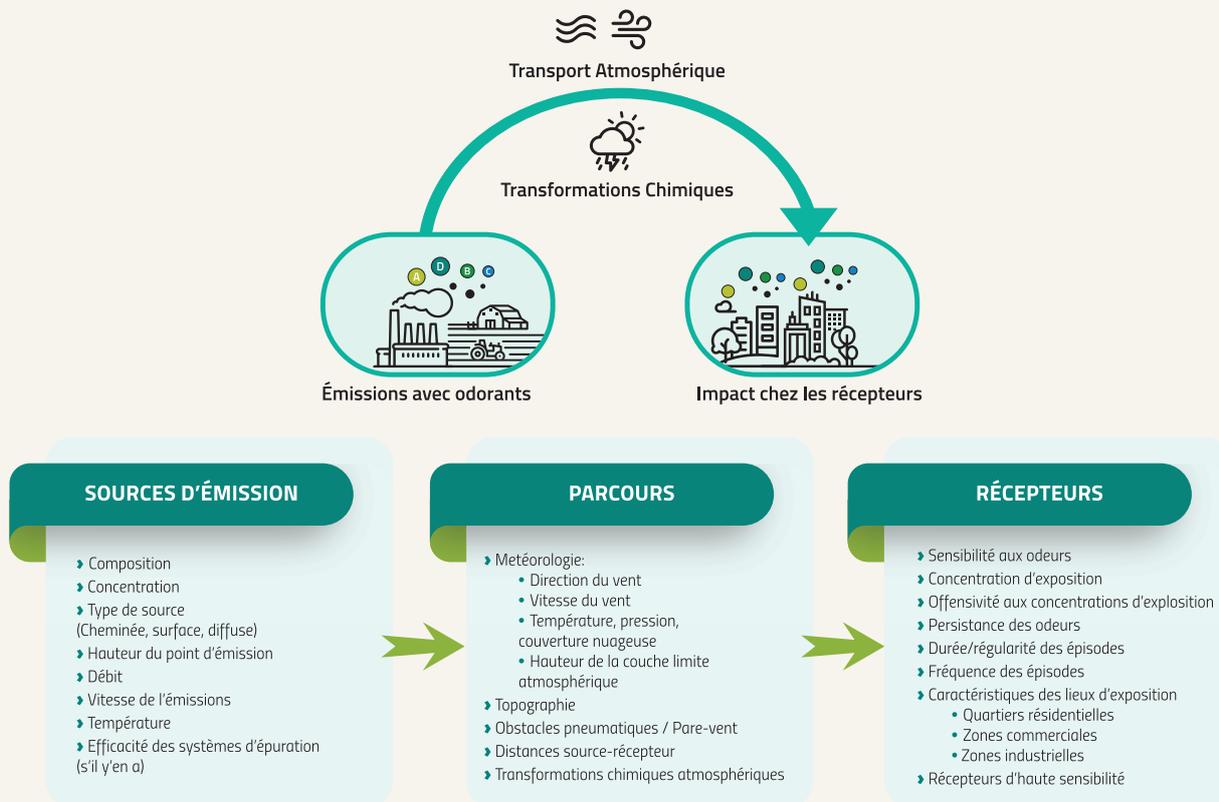
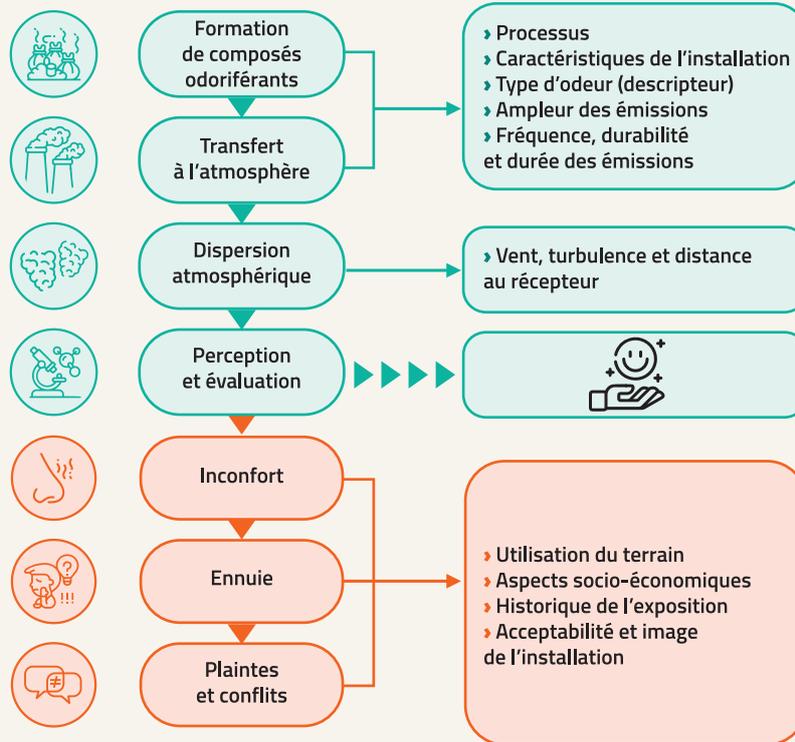


Figure 1 : Schéma de développement des impacts des odeurs

Le schéma suivant résume les étapes habituelles qui donnent lieu à des problèmes d'odeurs parmi la population.



Les études sur les odeurs peuvent être réalisées sur la base d'une connaissance détaillée des sources d'émission de l'installation objet d'étude (existantes ou en projet). En ce qui concerne les émissions provenant des sources d'odeurs, les prémisses suivantes peuvent être adoptées :

- › facteurs d'émission techniquement cohérents (dans le cas d'installations en projet ou lors de la réalisation d'études prospectives) ;
- › mesure continue (ou semi-continue) des odorants dans les émissions ;
- › obtention de valeurs expérimentales à partir de l'échantillonnage et analyse de la concentration d'odeurs (Norme EN 13725) et/ou composés odoriférants, suivi de la détermination de l'impact olfactif par modélisation de la dispersion des émissions.

5. OLFACTOMÉTRIE DYNAMIQUE POUR L'ÉVALUATION RETARDÉE DES ODEURS

Le terme olfactométrie (qui comprend en fait plusieurs techniques) peut être définie comme la mesure de la concentration d'odeur d'un échantillon, se référant à la sensation qu'il provoque dans un panel de personnes opportunément sélectionnées directement exposées à cette odeur.

Concrètement, la détermination olfactométrique de la concentration d'odeur peut être réalisée "in-situ" (typiquement en air ambiant) ou sur des échantillons prélevés en émission et ensuite analysés en laboratoire (d'où le nom d'olfactométrie retardée).

Il existe plusieurs méthodes normalisées de réalisation de déterminations olfactométriques, parmi lesquelles la détermination de la concentration d'odeur par olfactométrie dynamique (selon la norme EN-13725:2022).

Cette Norme spécifie une méthode pour la détermination objective de la concentration d'odeurs d'un échantillon gazeux à l'aide de l'olfactométrie dynamique avec des évaluateurs et un taux d'émission d'odeurs émanant de sources ponctuelles, de sources de surface avec écoulement vers l'extérieur et de sources de surface sans écoulement vers l'extérieur.

En termes d'analyse des odorants, le tableau suivant présente de manière synthétique une comparaison des caractéristiques des différentes techniques d'analyse, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Tableau 4 : Exemple de comparaison des différentes techniques d'analyse des odeurs et des odorants dans les émissions issues d'une STEP

Caractéristique	Olfactométrie dynamique	Nez électroniques (eN)	Capteurs spécifiques à faible coût	Spéciation chimique des odorants	Analyseur « ad-hoc » Vigi e-Nose
Sensibilité (conformité des limites en air ambiant officielles typiques de 1 à 10 ouE/m³ ou OAV équivalent)	Sensibilité insuffisante dans la pratique pour mesurer des échantillons de problèmes d'odeurs en air ambiant (LDL ≥ 15 ouE/m ³)	Sensibilité généralement insuffisante pour les limites d'odeurs typiques en air ambiant (LDL ≥ 10 ouE/m ³)	Sensibilité insuffisante pour les problèmes d'odeurs réelles typiques dans l'air ambiant, c'est-à-dire que le LDL le plus bas parmi les capteurs H ₂ S à faible coût est de 10 ppb	Adéquat (puisqu'il permet la concentration pendant les étapes d'échantillonnage et/ou d'analyse)	Convient pour l'émission et l'air ambiant. Large plage dynamique. LDL : ≤ 1 ppb pour H ₂ S, MM et EM, DMS, EM, DMS, DMDS et DES/8 ppb pour les autres VSC.
Applicabilité	Émission	Émissions et air ambiant	Air ambiant	Émissions et air ambiant	Émissions et air ambiant
Spécificité	Non spécifique pour la sélection des systèmes de traitement ou l'évaluation de l'impact sur la santé	Interférences mal spécifiées et possible sensibilité croisée	Interférences mal spécifiées et possible sensibilité croisée	Élevée lorsque les COV sont déterminés par HRGC-MS	Spécifique pour les composés cibles VSC et NH ₃ (le cas échéant)

Influence de l'humidité et de la température	Oui (lors de l'échantillonnage, implique souvent une dilution)	Oui	Oui	Oui	Non
Intégrité des odorants	Pertes dues à l'équipement d'échantillonnage et aux sacs d'échantillonnage	Adéquat. Mesure directe (uniquement avec conditionnement)	Variable. Mesure directe (généralement sans conditionnement)	Peut dépendre des matériaux d'échantillonnage et des analytes	Adéquat. Mesure directe
Représentativité (en supposant une distribution spatiale adéquate)	Grande influence de la méthode d'échantillonnage Dépend de la conception des campagnes d'échantillonnage (nombre d'échantillons par source, temporalité, ...)	Dépend de la représentativité de la configuration du réseau de capteurs eN et de leur sensibilité aux odorants les plus importants Un nombre suffisant d'eN est requis	Dépend de la représentativité et de la sensibilité des analytes mesurés par rapport à l'odeur à déterminer Un nombre suffisant de capteurs est nécessaire	Dépend de la conception des campagnes d'échantillonnage (n° d'échantillons par source, temporalité, ...)	Oui, lorsque les VSC sont les odorants les plus importants (STEP). Un système multiplex peut être utilisé afin de permettre des mesures consécutives à partir de différentes sources avec un seul appareil.
Incertitude	Grande incertitude. Juste à partir du test @30-50% (dans le cas d'applications en air ambiant, notez que l'incertitude de modélisation doit être ajoutée)	Significatif	Élevée près de la limite de détection (LDL)	Généralement ±20-40%	15-25%

Étalonnage	Le principal inconvénient est que le panneau est « calibré » avec du n-butanol, tandis que les échantillons réels contiennent toujours d'autres odorants	Formation à besoins élevés en main-d'œuvre en olfactométrie dynamique.	Possible, mais difficile pour l'utilisateur	L'étalonnage peut nécessiter beaucoup de main-d'œuvre. Besoin de connaître les odorants importants et d'être capable d'analyser au moins la plupart d'entre eux	Utilisation d'étalons spécifiques au moyen de tubes de perméation internes ou de bouteilles de gaz externes
Étalonnage automatique	Non	Non	Difficile	n.a.	Oui (programmable)
Vieillessement des capteurs	n.a.	1-3 ans	1-2 ans	n.a.	Jusqu'à 10 ans
Mesure « in situ »	Non	Oui	Oui	Non	Oui
Mesure continue	Non	Oui	Oui	Non	Oui
Normes de conformité	EN-13725	CEN TC/264NG41 (en préparation)	Non	CEN/TS13649, USEPA TO Methods	ASTM D7493-14, ISO 6326/2, DIN 51855/7
Expression de résultats en tant que concentrations d'odeur	Oui	Oui (après étalonnage avec olfactométrie dynamique)	Non. En règle générale, une seule substance est analysée	Non. Seulement s'il existe un odorant majoritaire basé sur le ratio conc. OA/OT	Oui (après étalonnage avec olfactométrie dynamique) Possibilité d'exprimer les résultats en tant que OAV du VSC analysé Possibilité d'obtenir des données sur le NH3 et les COV non soufrés

Coût	Élevé (cumulatif)	Modéré-élevé au début (augmentation cumulative en remplaçant plusieurs capteurs chaque 1-2 ans)	Faible-modéré au début (augmentation cumulative en remplaçant plusieurs capteurs chaque 1-2 ans)	Élevé (cumulatif)	Coût initial élevé avec une légère augmentation ultérieure (due à la maintenance). Un appareil peut être utilisé sur plusieurs sources
Autres aspects	Modélisation nécessaire pour stipuler la concentration d'odeurs dans l'air ambiant, ce qui contribue à l'incertitude. Les études d'émissions de modélisation conventionnelles n'expriment souvent pas les situations réelles de présence d'odeurs en air ambiant	L'étalonnage par rapport à l'olfactométrie dynamique présente les inconvénients de cette technique	Faible représentativité dans des contextes réels avec des problèmes d'odeur impliquant plusieurs odorants	Souvent, il faut appliquer plusieurs systèmes de collecte. Validation analytique complexe et chronophage. Utile pour l'enquête sur les sources d'odeurs, Les techniques de dépistage nécessitent une expérience d'analyste	Système autonome en ce qui concerne le gaz porteur de consommation, les étalons d'étalonnage, Possibilité d'analyse séquentielle d'échantillons provenant de jusqu'à 6 sources multiples à proximité



6. DESCRIPTION DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES POUR L'ÉPURATION DES ÉMISSIONS ODORIFÉRANTES

Les paramètres cruciaux pour déterminer la faisabilité d'une conception de processus de traitement des émissions atmosphériques sont :

- › disponibilité d'un projet, incluant la conception d'une ventilation adéquate ;
- › disponibilité de garanties suffisantes auprès des fournisseurs pour assurer le respect des limites applicables ;
- › disponibilité d'un service de maintenance corrective (avec un temps de réponse suffisamment rapide) ;
- › disponibilité d'espace suffisant pour installer l'équipement de désodorisation ;
- › disponibilité de certains services et fournitures auxiliaires requises ;
- › coûts d'investissement et d'exploitation abordables (CAPEX et OPEX).

Les figures suivantes présentent les différentes technologies de traitement des odorants (inorganiques et organiques volatiles).

Ce chapitre décrit également d'autres solutions alternatives pour atténuer l'impact olfactif des installations qui en sont la cause.

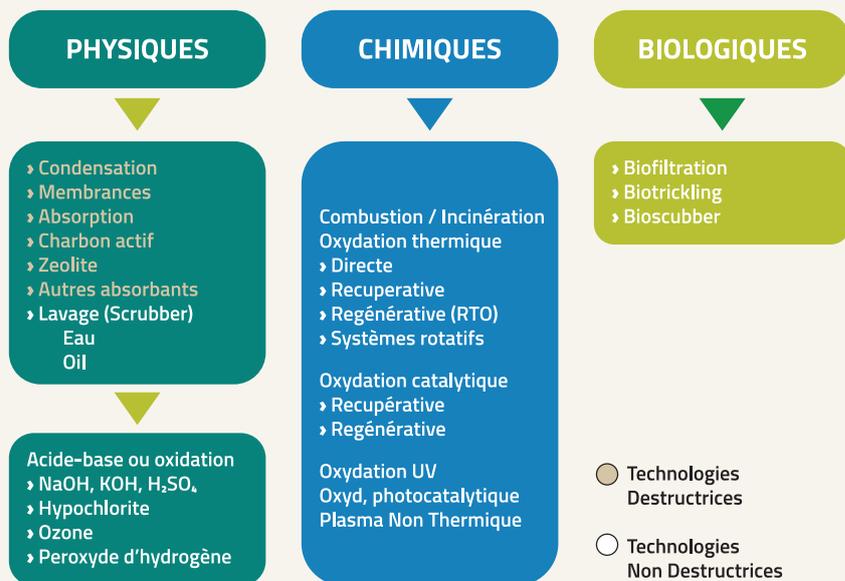


Figure 5 : Technologies de traitement des odeurs et des COV dans les émissions atmosphériques (selon différentes bases d'opération)

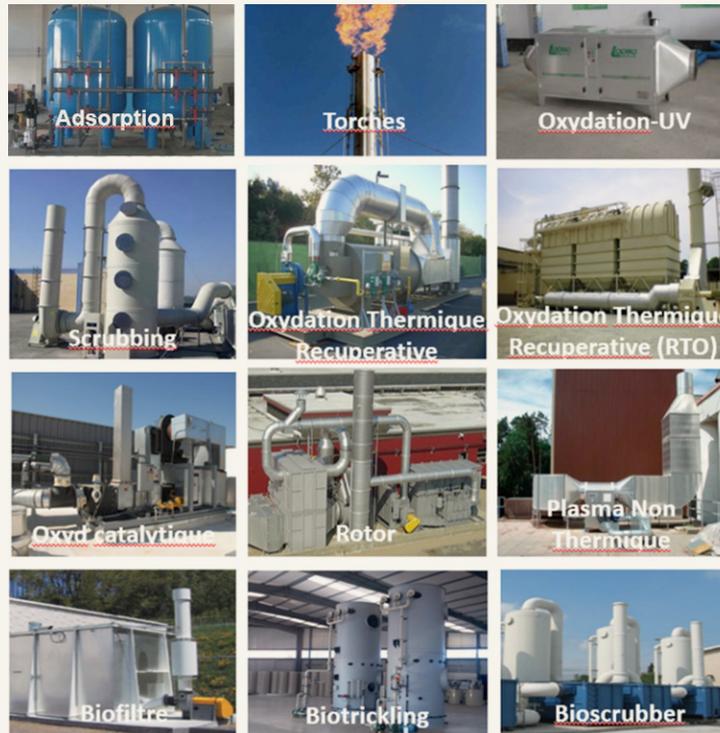


Figure 5 : Exemples des technologies d'épuration des émissions d'odeurs et des COV

Les sections suivantes de ce chapitre décrivent les principales caractéristiques et performances des différentes technologies appliquées à la purification des émissions d'odeurs.

6.1. Épurateurs à absorption (« scrubbers »)

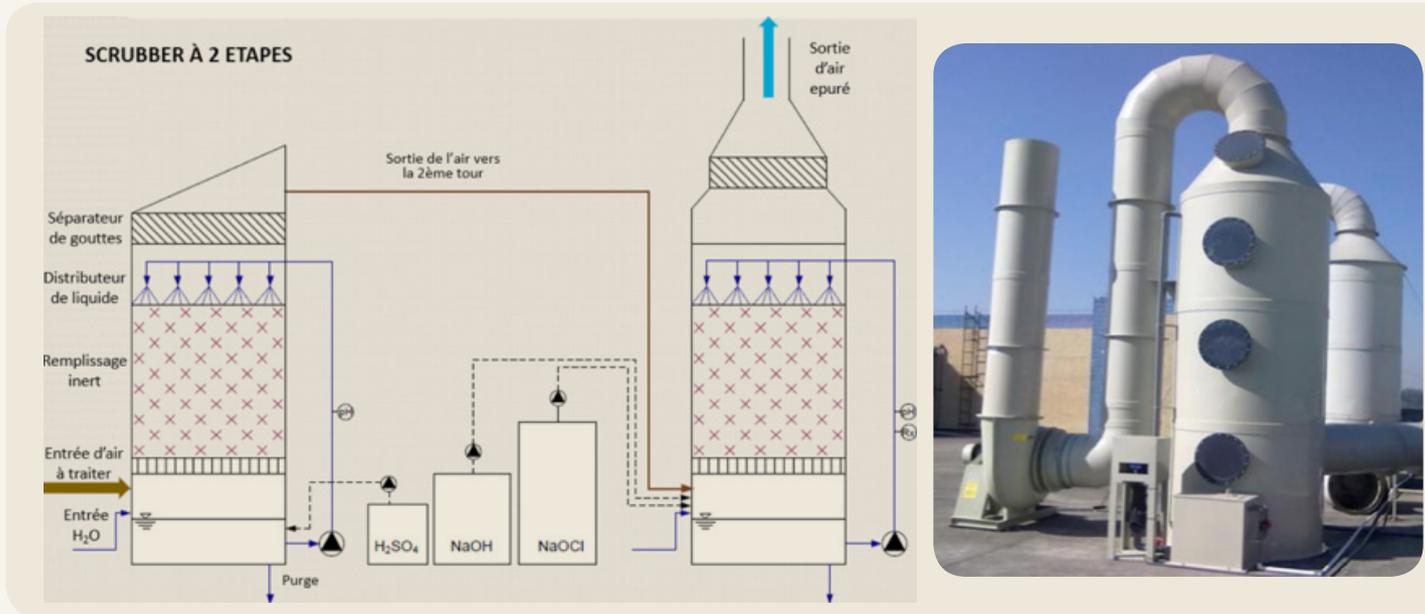


Figure 6 : Schéma et exemple d'un « scrubber » à deux tours

L'épuration chimique des gaz par lavage (« scrubbing ») est la technologie de contrôle des odeurs la plus largement utilisée dans le traitement des émissions odorantes dans le domaine des eaux usées municipales. Ces caractéristiques de performance des odeurs sont bien documentées. En ce sens, il a été démontré que le lavage chimique est très efficace contre les odeurs de : H₂S, mercaptans, ammoniac, amines et autres (tels comme les COV hydrosolubles).

Les épurateurs éliminent les odeurs par absorption à cause du transfert de masse qui survient au contact du gaz pollué avec une solution aqueuse de lavage sur un matériau de remplissage installé dans une chambre de purification de l'équipement. Le liquide de lavage est généralement de l'eau, ajustée au pH et/ou au potentiel d'oxydation appropriés au moyen de produits chimiques. Deux paramètres définissent les performances de tout système d'absorption : d'une part, l'efficacité du contact gaz/liquide et, d'autre part, l'aptitude de la substance correspondante à se dissoudre et à réagir (le cas échéant) rapidement dans la phase aqueuse.

6.2. Adsorption sur charbon actif

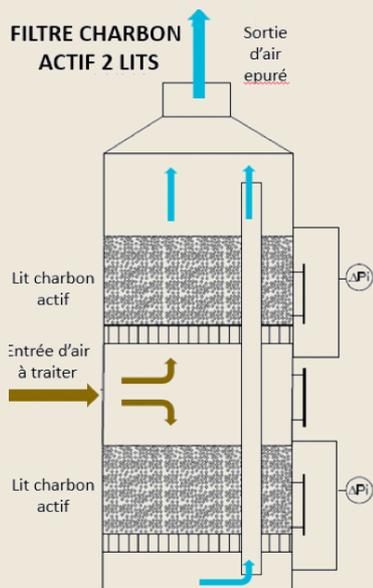


Figure 7 : Schéma et exemple d'un filtre de charbon actif

L'absorption est un phénomène d'adhésion d'un fluide à la surface d'un solide.

Il s'agit d'un processus principalement physique basé sur les forces de Van der Waals qui, dans le cas des substances non polaires, sont explicites comme les forces de diffusion de London (c'est-à-dire à partir de l'interaction entre dipôles non permanents).

En outre, dans le processus de sorption gaz-solide, il existe également d'autres mécanismes tels que l'absorption chimique (où des réactions se produisent avec la formation ultérieure de liaisons chimiques) et même la sorption / catalytique.

Dans les processus d'absorption, la surface de contact entre les phases (en raison de la structure du matériau adsorbant) et la nature chimique des molécules sensibles à l'adsorption et de l'adsorbant jouent un rôle très important.

6.3. Biofiltration conventionnelle

BIOFILTRE CONVENTIONNEL

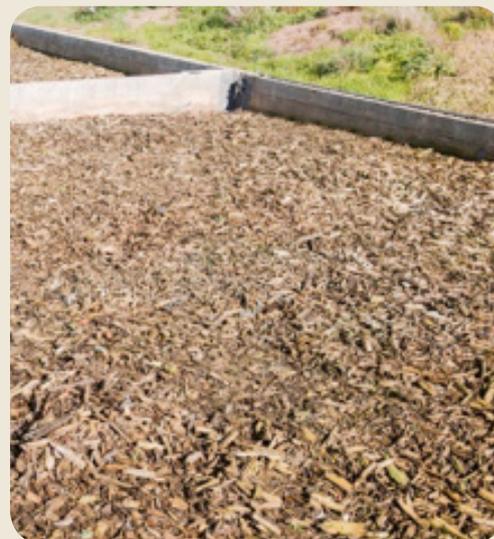
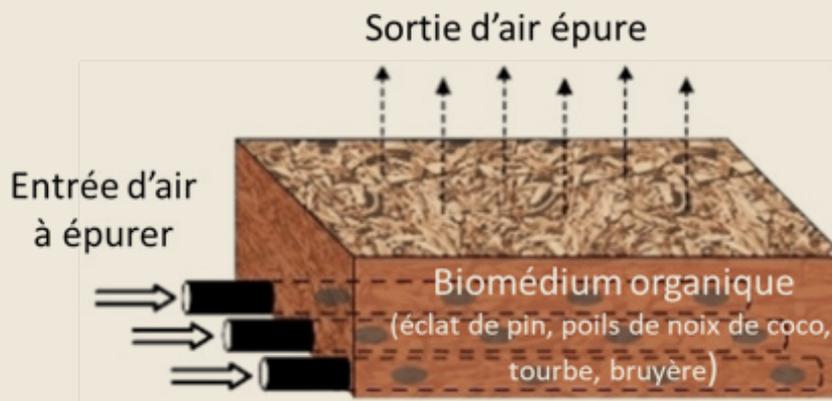


Figure 8 : Schéma et exemple d'un biofiltre conventionnel d'éclat de pin

Les biofiltres sont des bioréacteurs dans lesquels les gaz à traiter passent à travers un matériau plus ou moins poreux lequel est adhérent à un biofilm contenant des micro-organismes qui dégradent les contaminants absorbés dans ce milieu. Lorsque les gaz résiduels traversent le milieu filtrant, les contaminants sont incorporés dans la phase liquide qui entoure le biofilm microbien dans le milieu où en principe ils sont dégradés en CO₂, H₂O, sels inorganiques et biomasse par des micro-organismes. Dans un biofiltre, les gaz résiduels traversent un milieu préalablement enrichi en nutriments pour la croissance microbienne.

En bref, ce sont les micro-organismes ou agrégats autochtones présents qui produisent la biodégradation des composés malodorants présents dans les gaz soumis au traitement. Ces gaz peuvent provenir de sources focalisées, de sources de surface couvertes et aussi des courants de ventilation mécanique d'éléments des processus et/ou de bâtiments. Il est à noter que, souvent, les différents flux de gaz à traiter sont souvent unifiés et peuvent atteindre des débits très élevés (même >100.000m³/h).

6.4. Biofiltration à haute performance

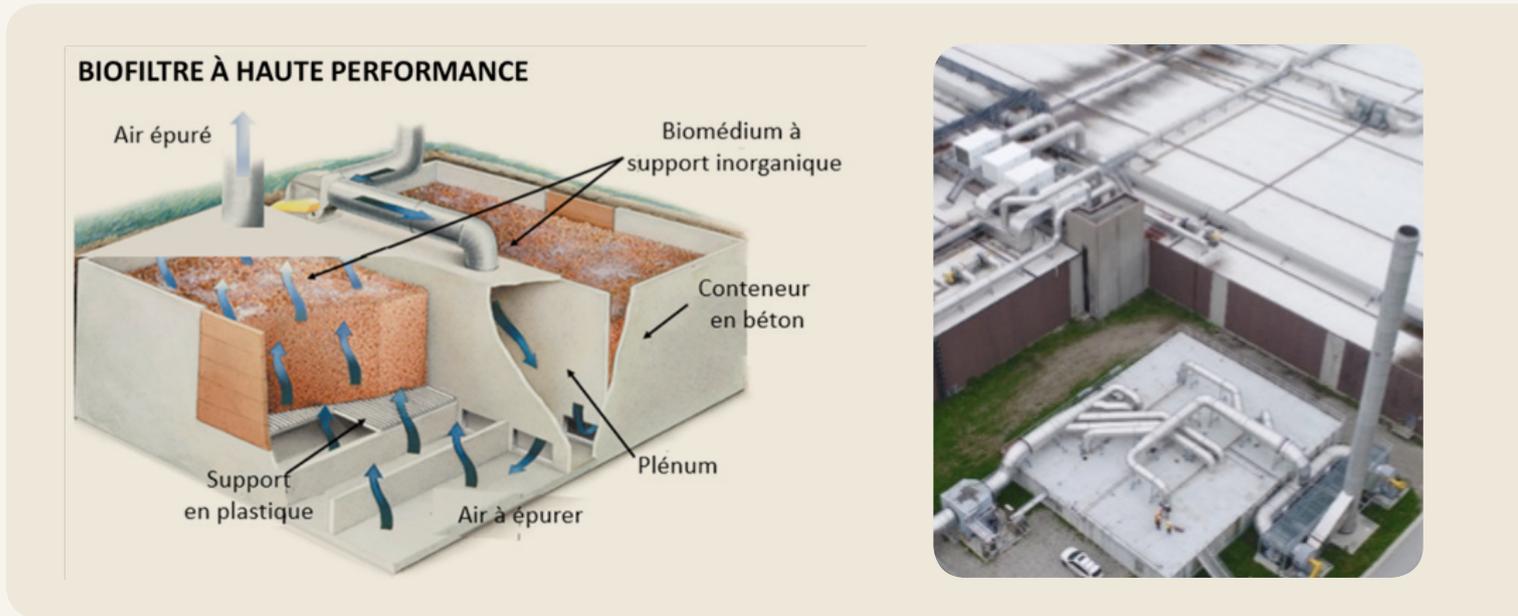


Figure 9 : Schéma et exemple d'un biofiltre à haute performance

L'applicabilité principale de la biofiltration est pour le traitement des émissions avec de faibles concentration de COV diverses (voici une différence avec les systèmes de biotrickling et bioscrubber) ainsi que les d'autres odorants comme H₂S et NH₃, généralement inférieures à 25-50ppmv. L'efficacité est considérée élevée, elle est souvent supérieure à 95, 98%.

Elle s'applique au niveau du traitement d'émissions avec des taux d'odeurs très élevés, tels que celles produites dans les installations de traitement des déchets animaux (équarrissage), les usines de biométhanisation des déchets organiques, les tunnels de compostage, les processus des STEP dans des milieux très critiques.

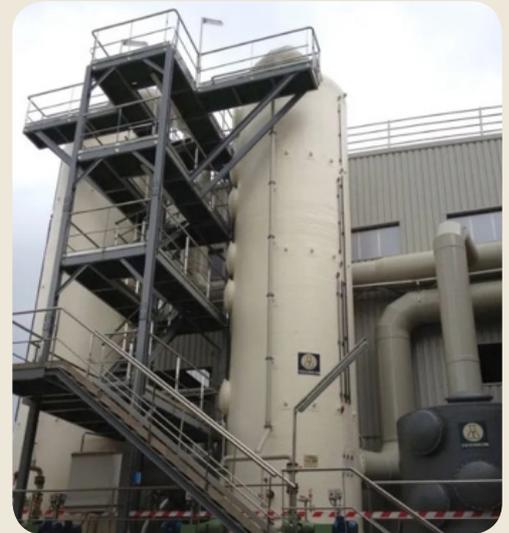
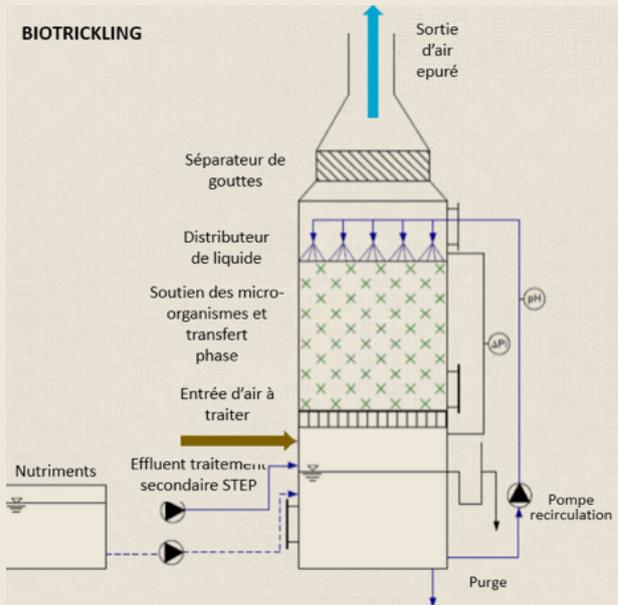
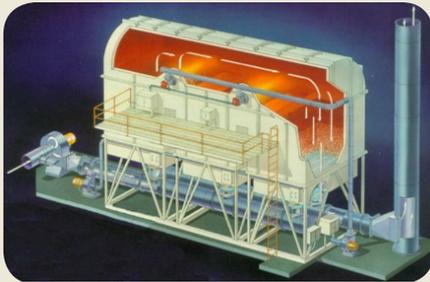


Figure 10 : Schéma et exemple d'un biotrickling

6.5. Oxydation thermique régénérative (RTO)



Le principe de l'oxydation thermique consiste en la conversion de composés organiques volatils (COV) contenus dans les émissions, via un procédé d'oxydation à hautes températures (750°C - 900°C) pendant un temps $>5\text{s}$, en dioxyde de carbone (CO_2) et de vapeur d'eau (et, s'il y en a, les hétéroatomes peuvent former d'autres substances telles que le SO_2 , le HCl , ...).



Le fonctionnement de ces systèmes, comme indiqué dans la figure suivante, consiste à préchauffer les gaz à traiter au moyen d'un échangeur de chaleur en céramique (avec une efficacité de récupération de chaleur $>95\%$). Les gaz à épurer passent ensuite à travers la chambre de combustion, où ils sont maintenus à la température d'oxydation (par exemple 850°C pour $>0,5\text{s}$) qui est maintenue par l'action d'un brûleur à gaz auxiliaire. Les COV sont donc oxydés produisant du CO_2 et du H_2O .

En guise de synthèse le tableau suivant présente une comparaison des caractéristiques et des exigences des différentes technologies de traitement décrites ci-dessus.

Tableau 5 : Comparaison des technologies de traitement applicables

Paramètre	Scrubber	Filtres à charbon actif	Biofiltration conventionnelle	Biofiltration à haute performance	Biotrickling	Oxydation thermique régénérative (RTO)
Technologie destructive	Oui/Non	Non	Oui	Oui	Oui/Non	Oui
Efficacité pour H ₂ S (1)	>95%	>95%	50-75%	>98%	>95%	>98% (1)
Efficacité pour NH ₃	>95%	---	40-50%	>95%	>75%	>98%
Efficacité pour des COV (1)	60%	>95%	50-60%	85-95%	60%	>98%
Efficacité pour les odeurs (1)	60-70%	>95%	50-70%	>95%	70%	>98%
Besoins d'espace	Bas	Bas	Hautes	Hautes	Bas	Bas
Vie	>12 années	(2)	Pour le biomédium 2-3 années	>12 années	>12 années	>12 années
Limitations (3)	Odorants hydrosolubles		COV non biodégradables. Substances inhibitrices des micro-organismes	COV non biodégradables	COV	COT doit être <20% LEL

Complexité des pièces	Haute	Baisse	Baisse	Baisse	Moyenne	Haute
Consommation de gaz naturel	Non	Non	Non	Non	Non	Oui (4)
Consommation de produits chimiques	Oui (des réactifs)	Non	Non	Non	Nutriments	Non
Entretien	Moyen	Bas	Bas-moyen	Bas-moyen	Bas-moyen	Bas
Traitement/ gestion des effluents liquides ou autres déchets	Oui (sous la forme de résidus aqueux)	Oui	Oui (compostage o enfouissement du biomédium)	Oui (enfouissement du biomédium)	Oui (5)	Non
Coût d'acquisition et installation (CAPEX)	Bas	Bas	Moyen	Haut	Moyen-haut-	Haut
Coût d'exploitation (OPEX) (6)	Moyen	(6)	Bas	Bas	Bas	Haut à Très-haut

(1) Ce sont des efficacités typiques

(2) La vie utile du charbon actif dépend du taux de H₂S et COV de l'émission à traiter

(3) Ce sont des limitations qui réduisent la capacité de la technologie

(4) La consommation de gaz naturel est très élevée si on ne travaille pas en conditions autothermiques (TOC>1500mgC/Nm³)

(5) En cas de niveaux élevés de H₂S dans l'émission pour traiter les purges peuvent avoir un pH = 2

(6) Ils dépendent de la concentration en COV et H₂S dans l'émission à traiter

Le tableau suivant montre l'applicabilité des différentes technologies de traitement selon les différents secteurs d'activité :

Tableau 5 : Technologies de traitement applicables selon les secteurs d'activité

Application	Scrubber	Filtres à charbon actif	Biofiltration (2)	Biotrickling	Oxydation thermique
Stations de pompage	---	+++	---	---	---
STEP prétraitement	+++	+++	+++	+++	---
STEP ligne de boues	+++	+++	+++	+++	(3)
Stations de transfert déchets	+++	+++	---	(4)	---
Usines compostage	+++	+++	+++ (2)	+	(3)
Élevage	---	+++	---	----	---
Abattoirs	+++	+++	+	(4)	---
Processus de rendering	+	(5)	(2)	(4)	+++
Industrie alimentaire	+	+++	++	---	---
Raffineries de pétrole	+	+	---	+	+++ (8)
Industrie chimique	+	++	---	---	+++
Peintures et solvants	+	+++ (7)	---	(8)	+++
Impression	+	+++ (7)	---	---	+++

(1) +++ Utilisée et efficace, ++ Utilisée et efficace pour certains processus, + Utilisée sporadiquement mais efficace, --- Généralement pas utilisé

(2) En cas d'impacts très graves sur des milieux récepteurs très vulnérables, l'installation de biofiltres à haute performance doit être envisagée.

(3) Cette technologie vient à être appliqué en cas d'impacts très graves sur des milieux récepteurs très vulnérables

(4) En combinaison avec filtres à charbon actif

(5) En combinaison avec autres technologies

(6) Typiquement par moyen de torches

(7) Seulement pour émissions avec taux de COV très basses ou, alternativement, l'utilisation d'un système de régénération au charbon actif

