



# GUIDE POLLUTION OLFACTIVE TUNISIE



En collaboration avec



AT mise en oeuvre par



Financé par l'Union  
européenne



Développé par





# INDEX

N°	DESCRIPTION	PAGE
1	INTRODUCTION	1
2	APERÇU DES ACTIVITÉS SUSCEPTIBLES DE GÉNÉRER DES IMPACTS ODORIFÉRANTS IMPORTANTS EN TUNISIE	3
3	ASPECTS DE BASE SUR LES ODEURS : PROPRIÉTÉS, CARACTÉRISTIQUES ET EFFETS	19
4	LIMITES ET SPECIFICATIONS INTERNATIONALES EN MATIÈRE D'ODEURS	34
5	ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES ÉTUDES DES ODEURS ENVIRONNEMENTALES	49
6	ÉCHANTILLONAGE POUR L'ÉTUDE DES ODEURS	58
7	OLFACTOMÉTRIE DYNAMIQUE POUR L'ÉVALUATION RETARDÉE DES ODEURS	71
8	ANALYSE DES ODORANTS	75
9	STIPULATION DE L'IMPACT DES ÉMISSIONS D'ODEURS PAR MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE	87
10	DÉTERMINATION DE L'IMPACT ODORIFÈRE PAR DES ÉTUDES SUR LE TERRAIN	93
11	DESCRIPTION DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES POUR L'ÉPURATION DES ÉMISSIONS ODORIFÉRANTES	100
12	D'AUTRES OUTILS POUR LA GESTION DES ODEURS	120
	BIBLIOGRAPHIE	130

## 1.- INTRODUCTION

En ce qui concerne les odeurs, on considère souvent l'inconfort qu'elles causent comme des inconvénients mineurs ou même comme des maux nécessaires qui diffèrent du type de développement économique d'une zone, ... À cet égard, il convient de garder à l'esprit que le concept de santé a considérablement évolué au fil du temps. Alors qu'il y a quelques années la santé était considérée comme l'absence de maladies, l'OMS a adopté en 1986 le critère selon lequel la santé « est la mesure à laquelle un individu peut réaliser ses aspirations et satisfaire ses besoins et/ou évoluer avec l'environnement ou s'y adapter... ». Comme on peut le voir, cette définition est beaucoup plus générale et intègre implicitement le concept de bien-être physique, mentale et sociale en tant que facteur nécessaire de la santé et qui, par conséquent, couvre pleinement les effets que l'impact odoriférant peut causer sur une population exposée. En conséquence, du point de vue d'une éthique de santé publique, on ne doit pas mépriser en aucun cas l'offensivité de la pollution odorante.

Dans beaucoup de régions du Monde, le problème de la pollution par les odeurs a fait l'objet d'une attention particulière au cours des dernières décennies et, dans bonne partie d'entre eux, c'est déjà l'une des priorités environnementales les plus importantes. Ceci est dû au fait que les problèmes d'odeurs liés aux odeurs environnementales sont actuellement l'une des principales causes de griefs environnementaux et sont, régulièrement, la cause d'une grande partie des plaintes aux autorités compétentes.

L'objectif de ce Guide est de fournir des approches cohérentes tant pour l'étude et la gestion des problèmes d'odeur que pour définir un cadre juridique et réglementaire de prévention et de contrôle des odeurs. À cette fin, ils sont décrits les principaux aspects liés aux problèmes d'odeurs provenant, en général, des émissions atmosphériques de diverses activités de production industriel, agricole et d'élevage ainsi que des émissions des infrastructures environnementales (tels que les décharges de déchets ménagers, les STEP,...) et en même temps sont détaillés les différentes méthodologies applicables pour l'étude et la caractérisation des problèmes d'odeur et aussi, selon le cas, le fonctionnement des principales technologies d'épuration des émissions d'odeurs.

Le Guide vise donc à :

- 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 ;
- décrire les normes et réglementations internationales dans lesquelles des limitations par rapport aux impacts olfactifs son fixées;
- 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
- montrer les principaux aspects de l'état de la pollution olfactive en Tunisie.

Ce Guide, réalisée sous les auspices du Programme SUNREF Tunisie, afin d'améliorer la gestion des odeurs environnementales, s'adresse tant aux représentants de l'administration environnementale tunisienne qu'aux responsables des installations industrielles et ceux des infrastructures environnementales.



Fragment d'une mosaïque, Musée du Bardo (Tunis)

## 2.- APERÇU DES ACTIVITÉS SUSCEPTIBLES DE GÉNÉRER DES IMPACTS ODORIFÉRANTS IMPORTANTS EN TUNISIE

Le présent chapitre décrit panoramiquement certains aspects des activités et infrastructures de traitement environnemental tunisiennes susceptibles de produire des effets importants d'odeur, comme :

- les réseaux d'assainissement (en particulier les stations de pompage des eaux usées) ;
- les stations d'épuration des eaux usées (STEP) ;
- les infrastructures de gestion des déchets ménagers (décharges et stations de transfert) ;
- décharges de margines ;
- les usines de compostage des déchets organiques (y compris certains excréments d'animaux) ;
- les installations d'élevage de ruminants et surtout de volailles ;
- les abattoirs ;
- les tanneries ;
- les industries de conserves de poissons ;
- les raffineries d'huile végétal ;
- les usines chimiques (en particulier celles de grande taille).

Par ailleurs, il faut tenir compte des aspects suivants :

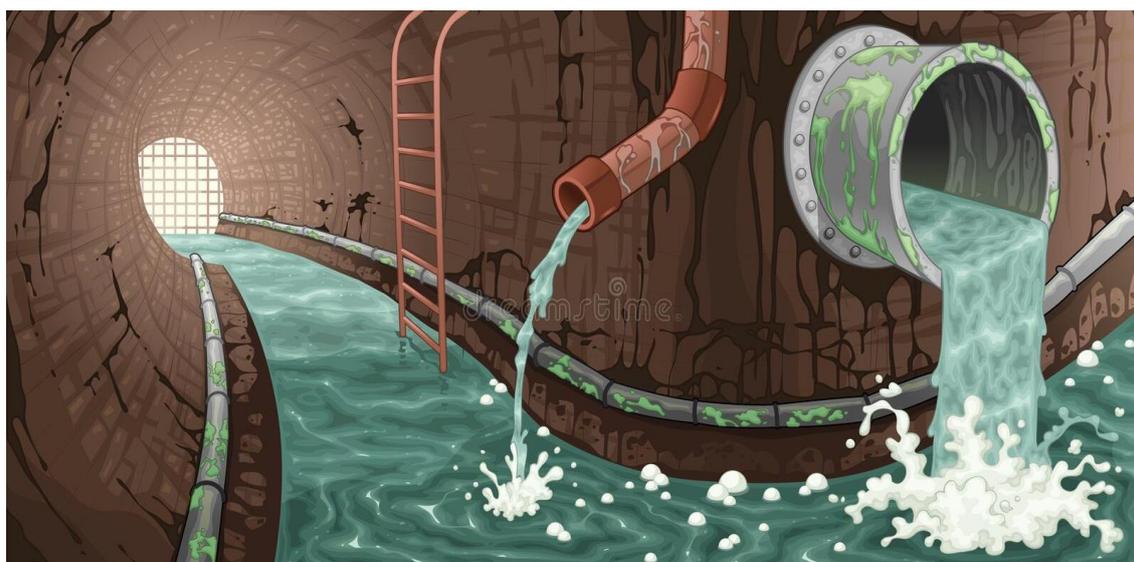
- L'évolution de la démographie tunisienne (ainsi, par exemple, au cours des 20 dernières années, la population a augmenté de plus de 40%) et cela a deux implications importantes :
  - Une augmentation considérable des zones occupées par des habitations, qui dans certains cas sont enclavées immédiatement à proximité d'installations présentant des émissions odoriférantes.
  - L'existence d'un certain déficit d'infrastructures de traitement environnemental (STEP, décharges de déchets ménagers) qui permettent d'assumer en général les besoins découlant de l'accroissement de la population et notamment les exigences accrues en matière de réduction des impacts d'odeur.
  - Au moment où il semble y avoir une forte reprise du tourisme en Tunisie, il faut tenir compte du fait que les émissions d'odeurs perceptibles par les visiteurs, provenant des infrastructures environnementales, dans une zone à valeur touristique peuvent favoriser une diminution de l'attraction des touristes qui se traduira par une diminution de leur flux vers la région et donc supposer un impact négatif sur la valeur touristique de la région.

- Il convient également de prendre en considération :
  - L'absence de lois spécifiques sur les émissions d'odeurs et leur impact sur la législation tunisienne, ce qui se traduit, probablement, par l'absence d'exigences ou de limitations spécifiques sur les émissions d'odeurs dans les permis environnementaux d'activité. En ce sens, disposer d'une législation avec des exigences adéquates en matière d'impact olfactif signifie pouvoir opérer sur la base de règles du jeu claires.
  - L'augmentation des exigences de la population en matière de qualité de l'air
  - L'existence d'une certaine méfiance de la part des voisins à l'égard de l'établissement de certaines infrastructures (STEP, décharges) à proximité des zones habitées se résume à l'adoption d'une attitude de type "pas dans ma cour" qui vient à exprimer « nous voulons des infrastructures environnementales et activité économique » mais pas ici, c'est à dire « dans le cour d'un autre ».
  - La nécessité de disposer de ressources humaines formées et de matériel et d'équipements pour pouvoir aborder l'étude, la gestion et la résolution des problèmes d'odeur.

Il convient considérer que, étant donné que la Tunisie va actuellement commencer son voyage pour pouvoir aborder avec rigueur la caractérisation des problématiques d'odeur et sa résolution, des stratégies d'action dont l'efficacité a été prouvée dans différents pays et régions pourront être mises en œuvre. Par conséquent, ce point de départ peut se résumer en ce que si bien (presque) tout est à faire tout sera possible.

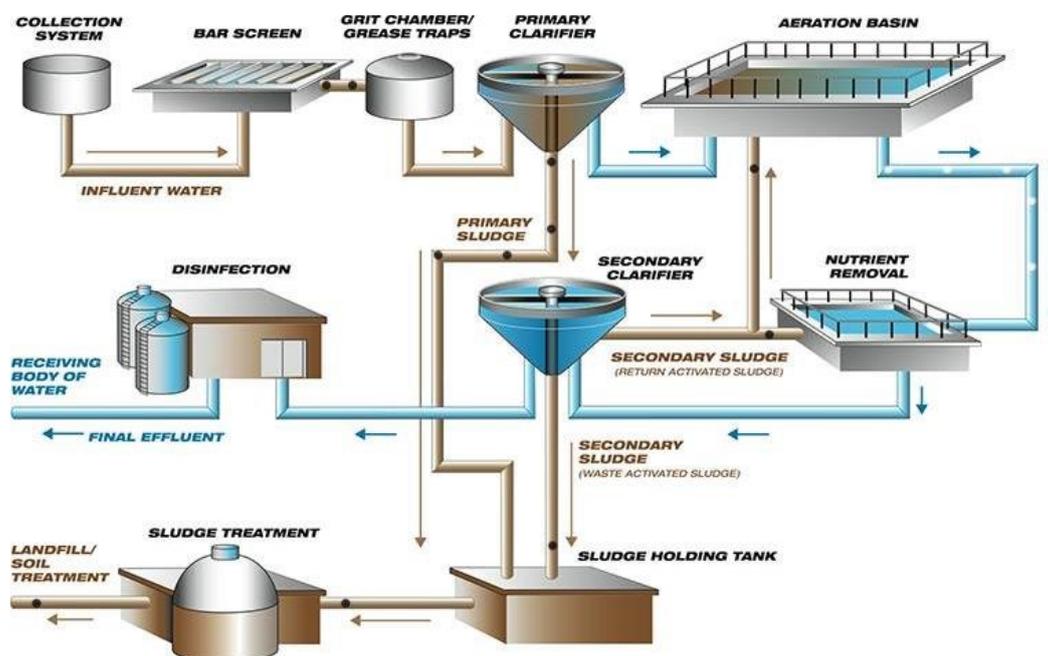
Des caractéristiques actuelles (2022) en termes d'émissions olfactives des activités citées ci-dessus sont résumées dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 2.1 : Réseaux d'assainissement



Longueur du réseau d'assainissement en Tunisie	17.718km (source : web ONAS, 2022)
Stations de pompage en Tunisie	812 (source : web ONAS, 2022)
Regards de visite	595.836 (source : web ONAS, 2022)
Boîtes de branchement	1.193.647 (source : web ONAS, 2022)
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>stations de pompage ;</li> <li>émissions dans des sections de circulation de l'eau par gravité ;</li> <li>réseaux d'assainissement dans les zones côtières où il peut y avoir eu intrusion d'eau de mer.</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines</li> </ul>
Mesures à prendre	<p>D'un point de vue générique, des mesures peuvent être regroupées comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>conception et construction appropriées du réseau ;</li> <li>fonctionnement (nettoyage du biofilm et des sédiments, contrôle des fuites, surveillance des intrusions marines, ...) ;</li> <li>contrôle des rejets des industries vers les réseaux d'assainissement urbains ;</li> <li>dosage optimisé des réactifs (p. ex. des agents de précipitation de sulfures dissous, des oxydants, ...) ;</li> <li>en cas d'émissions d'odeurs importantes dans certaines parties des réseaux d'assainissement (comme les stations de pompage), installation et opération des systèmes de traitement tels que : biofiltres, biotrickling, filtres à charbon, ...</li> </ul>

Tableau 2.2 : Stations d'épuration des eaux usées (STEP)



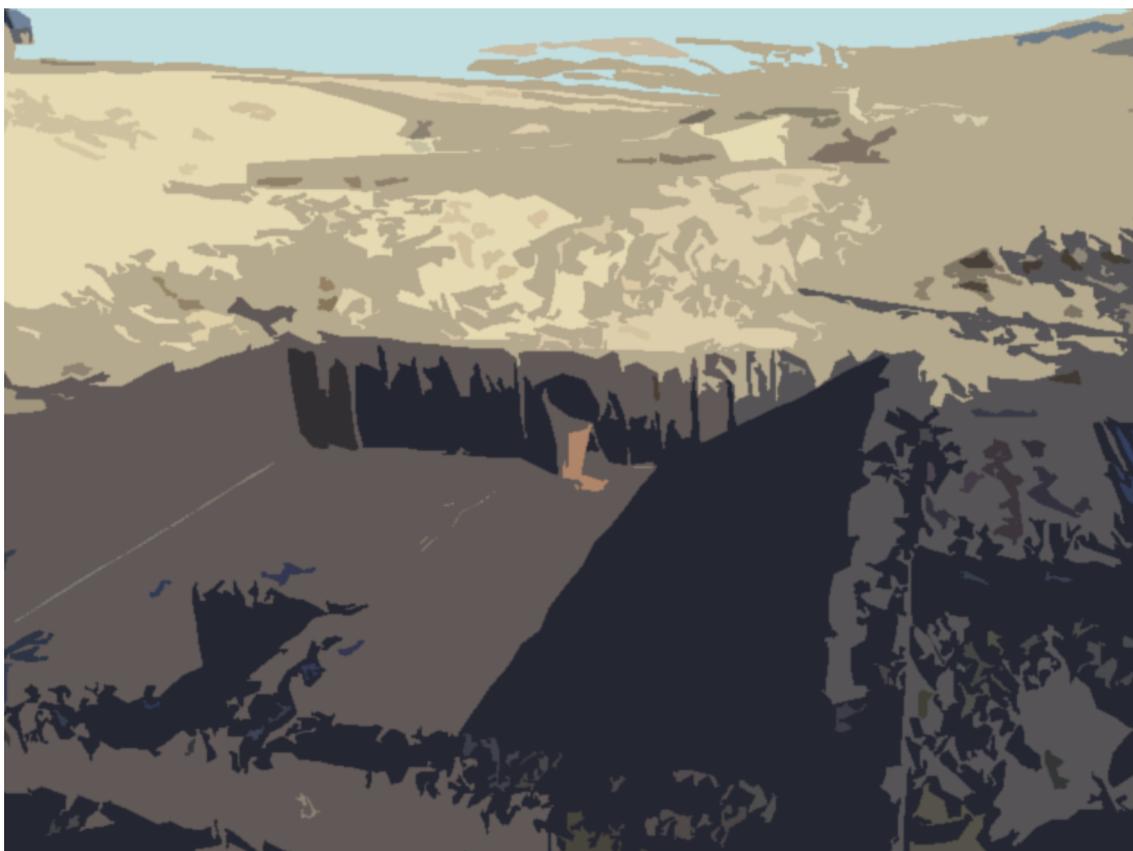
Nombre des STEP (des eaux domestiques et/ou mixtes) en Tunisie	123 (source web ONAS, 2022) Il faudrait ajouter les STEP des installations industrielles
Procédés utilisés typiquement (source : web ONAS, 2022)	Boues activés (à faible et moyenne charge), lagunage naturel facultatif ou aéré, filtres percolateurs, filtration par lits de roseaux, lits bactériens.
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	Ligne d'eaux : prétraitement, clarificateurs primaires Ligne des boues : flottation, déshydratation et la biométhanisation (le cas échéant)
Odorants significatifs	H <sub>2</sub> S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, acides gras volatiles + odorants spécifiques dans les STEP industrielles
Mesures à prendre	D'un point de vue générique, des mesures peuvent être regroupées comme suit : <ul style="list-style-type: none"> <li>réaliser une enquête détaillée sur la disponibilité et la capacité réelle de fonctionnement des systèmes de traitement des émissions d'odeurs existants dans les STEP tunisiennes ;</li> <li>simuler l'impact des odeurs des installations en fonction des facteurs d'émission (au moins pour celles situés dans des milieux les plus vulnérables) ;</li> <li>évaluer l'opportunité d'installer des systèmes d'épuration des odeurs dans les sources les plus critiques, p. exemple : <ul style="list-style-type: none"> <li>prétraitement des eaux : scrubber, biotrickling et/ou filtres à charbon actif</li> <li>traitement des boues : scrubber, biotrickling et/ou filtres à charbon actif</li> </ul> </li> <li>préparer des Plans de Gestion des Odeurs (PGO) spécifiques, adaptés à chaque installation et à son environnement qui englobent tous les aspects liés à la gestion des émissions d'odeurs, à leur surveillance, aux mesures correctives, à la gestion des plaintes, ...</li> </ul>

Tableau 2.3 : Décharges et stations de transfert des déchets ménagers et assimilés



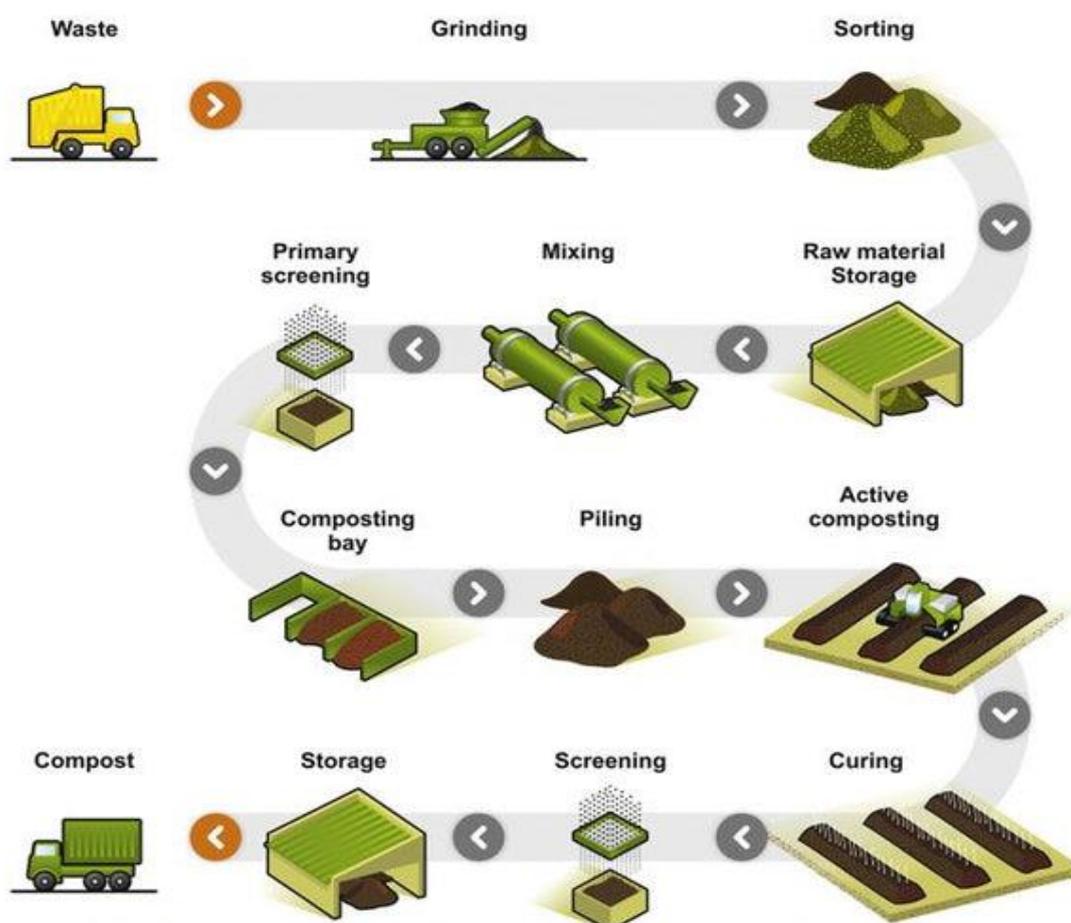
Nombre de décharges contrôlées	26 (source : web ANGED, 2022)
Stations de transfert des déchets	54 (source : web ANGED, 2022)
Décharges non contrôlées en cours de fermeture et réhabilitation	9 de grandes et environ 140 des petites ou moyennes (source web ANGED, 2022)
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zones d'enfouissement non couvertes ;</li> <li>• fuites de biogaz ;</li> <li>• bassins de stockage de lixiviats ;</li> <li>• circulation des véhicules de transport des ordures ménagères.</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H<sub>2</sub>S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, carbonyles, acides volatiles, terpènes</li> </ul>
Mesures à prendre	<p>D'un point de vue générique, des mesures peuvent être regroupées comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• couverture rapide des sections d'enfouissement ;</li> <li>• collecte du biogaz ;</li> <li>• utilisation de torches et/ou récupération d'énergie du biogaz ;</li> <li>• simuler l'impact des odeurs des installations en fonction des facteurs d'émission (au moins pour celles situées dans des milieux les plus vulnérables) ;</li> <li>• préparer des Plans de Gestion des Odeurs (PGO) spécifiques, adaptés à chaque installation et à son environnement qui englobent tous les aspects liés à la gestion des émissions d'odeurs, à leur surveillance, aux mesures correctives, à la gestion des plaintes, ...</li> </ul>

Tableau 2.4 : Décharges de margines



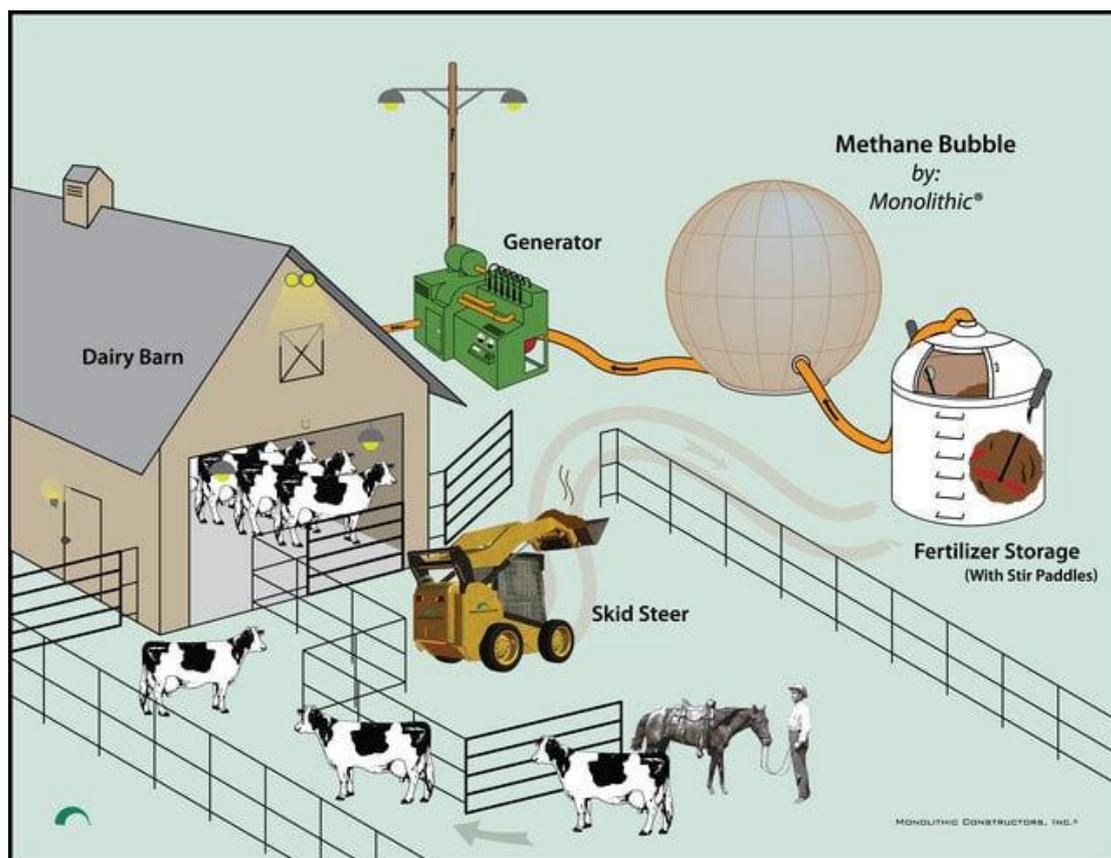
Nombre de décharges de margines	>73 (source : Étude d'élaboration d'un Plan National de Gestion des Margines. Phase 1 : Diagnostic de la situation actuelle, Décembre 2007)  :http://www.environnement.gov.tn/images/fichiers/prevention-risques/gestion-produits-chimiques-dangereux/Etude-elaboration-dun-Plan-National-de-Gestion-des-Marges----Phase-1---Dcembre-2007.pdf)
État d'aménagement	18% aménagées, 36% semi-aménagées et le reste non aménagées
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zones de transfert</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alcools, aldéhydes, hydrocarbures aromatiques, acides gras volatiles.</li> </ul>
Mesures à prendre	D'un point de vue générique, des mesures peuvent être regroupées comme suit : <ul style="list-style-type: none"> <li>• couverture ;</li> <li>• séchage + valorisation énergétique ;</li> <li>..</li> </ul>

Tableau 2.5 : Usines de compostage de certains déchets organiques



Nombre d'usines de compostage	≥ 8
Matières premières à composter	Mélanges de résidus végétaux verts et des excréments d'animaux et d'autres détritrus
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transport de certaines matières premières ;</li> <li>• réception, trituration et stockage ;</li> <li>• formation et retournement des piles ;</li> <li>• maturation du compost ;</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H<sub>2</sub>S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, carbonyles, acides volatiles, terpènes</li> </ul>
Mesures à prendre	<p>Lorsque des impacts odoriférants importants se produisent, les pratiques les plus appropriées sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• confiner le stockage initial des matières à composter ;</li> <li>• <u>si le compostage se fait sous forme de piles</u>, couvrir et ventiler les premières étapes du processus et traiter les émissions correspondantes. Il convient de noter que la biofiltration est une technologie très répandue pour le traitement des émissions olfactives des usines de compostage ;</li> <li>• si le compostage des tunnels ou des tranchées sont ensuite réalisés et doivent avoir une bonne ventilation et effectuer un traitement assez efficace des émissions correspondantes.</li> </ul>

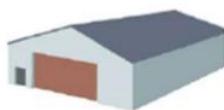
Tableau 2.6 : Installations d'élevage de ruminants



Animal



Grazing



Housing



Storage

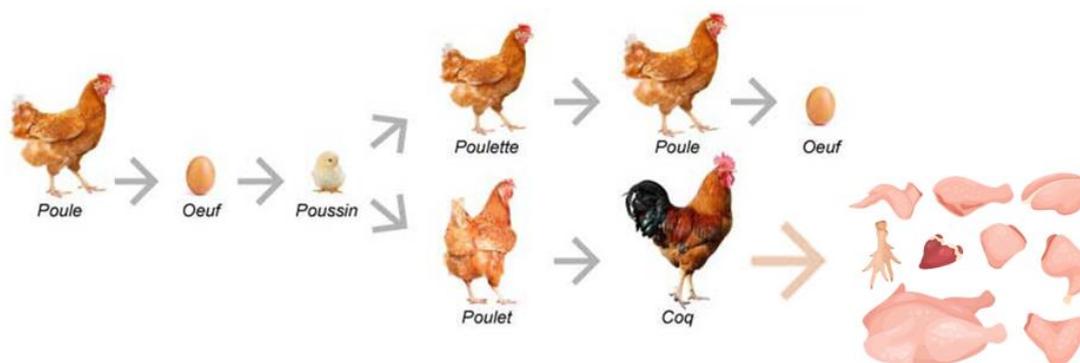


Spreading

Taille des exploitations d'élevage tunisiennes

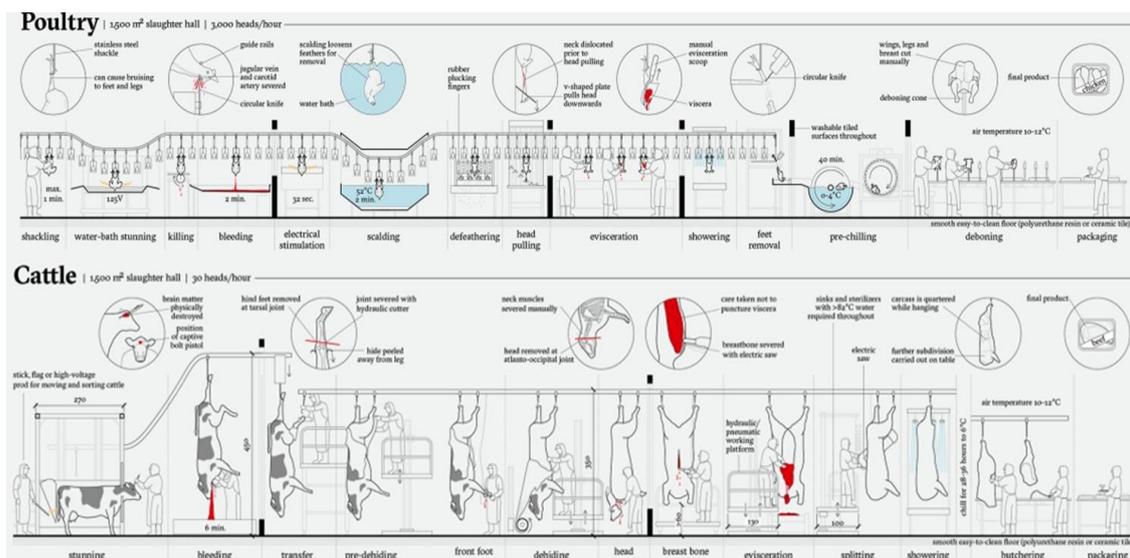
En général, il s'agit de petites exploitations d'élevage : la taille moyenne des fermes bovines est de 2 et 3 vaches par propriétaire, celle des fermes ovines de 15 moutons et celle des fermes caprines de 6 chèvres par propriétaire.

Tableau 2.7 : Installations d'élevage de volailles



Nombre d'installations	Environ de 6000 élevages de poulets de chair, 620 élevages de poules pondeuses et 320 élevages de dindes
Taille des exploitations d'élevage	Les éleveurs de poulets sont en majorité de petite taille ayant des capacités inférieures ou égales à 5.000 sujets par rotation, mais il y a une tendance croissante vers des exploitations plus grandes et plus intensives avec une intégration plus grande dans l'ensemble de la chaîne de valeur
Types de bâtiments d'élevage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ouverts ;</li> <li>• fermés.</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NH<sub>3</sub>, amines, H<sub>2</sub>S, thioéthers, aldéhydes, cétones et acides organiques volatils</li> </ul>
Mesures à prendre	<p>Lorsque des impacts odoriférants importants se produisent, les pratiques les plus appropriées sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• un régime alimentaire à faible teneur en soufre ;</li> <li>• la teneur optimale en humidité se situe entre 15 % et 30 % (base humide), ou la litière est relativement sèche et friable. Lorsque la litière est trop sèche, elle devient poussiéreuse et peut causer des nuisances, une mauvaise santé des oiseaux et de l'inconfort ;</li> <li>• des problèmes de santé pour les travailleurs agricoles. Lorsque la litière devient trop humide, elle peut se décomposer de manière anaérobie, augmentant les odeurs et les émissions d'ammoniac ;</li> <li>• assurer une ventilation adéquate du hangar, qui. Cette ventilation peut être réalisée par des extracteurs ;</li> <li>• contrôler la température et l'humidité du hangar, car la température a une influence importante sur la dégradation du fumier et la volatilisation des composés odorants dans la litière ;</li> <li>• l'isolation du toit empêche un gain de chaleur dû au rayonnement externe, et aide à la régulation de la T intérieur des hangars ;</li> <li>• si on applique de la litière usée au sol de la ferme, l'impact d'odeur peut être minimisé en évitant des conditions météorologiques défavorables, en incorporant la litière usée dès que possible et en tenant compte la direction et force actuelles et prévues du vent ;</li> <li>• utilisation de barrières coupe-vent ;</li> <li>• dépurer l'air de la ventilation à travers des scrubbers, des biofiltres, ...</li> </ul>
Critères réglementaires sur les odeurs applicables aux élevages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• considérer les fermes d'élevage comme toute autre activité productive et, par conséquent, exiger le respect de certaines limites de concentration d'odeurs dans l'environnement des exploitations. Par exemple au Pays Bas, pour les installations existantes à proximité des zones habitées, une limite de 1ouE/m<sup>3</sup> (P98) doit être respecté ;</li> <li>• maintenir certaines distances minimales de séparation. Par exemple en Autriche ≥350m, en Australie ≥186m.</li> </ul>

Tableau 2.8 : Abattoirs



<p>Nombre d'abattoirs contrôlés de volailles</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volailles : 30</li> <li>• Bovins : 1</li> </ul> <p>Il faut ajouter qu'il existe un nombre indéterminé d'abattoirs non contrôlés</p>
<p>Traitement des restes d'animaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Équarrissage. En Tunisie il y a qu'une installation (à Fondouk El Jedid) qui effectue le traitement des restes (y compris le sang) de tous les abattoirs du pays. Cette installation dispose d'un système de ventilation et d'épuration des émissions par Oxydation Thermique Régénérative (RTO)</li> </ul>
<p>Odorants significatifs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Volailles</u> : méthylmercaptan, disulfure de diméthyle, trisulfure de diméthyle, les alcools (comme : éthanol, 1- et 2-butanol et le 3-méthyl-1-butanol) et des acides gras libres dans la gamme de C<sub>2</sub> à C<sub>5</sub></li> <li>• <u>Bovins</u> : butyrolactone, acétoïne, acide acétique et certains aldéhydes. D'autre part, dans d'autres processus, tels que l'éviscération, le roussi et l'équarrissage, les odorants les plus significatifs sont l'H<sub>2</sub>S, des mercaptans, des thioéthers et aussi des aldéhydes et cétones</li> <li>• <u>Équarrissage</u> : H<sub>2</sub>S, des mercaptans, des thioéthers et aussi des aldéhydes et cétones</li> </ul>
<p>Mesures à prendre</p>	<p>Lorsque des impacts odoriférants importants se produisent, les pratiques les plus appropriées sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• stockage frigorifique avec séparation des catégories de matériaux ;</li> <li>• climatisation et ventilation des salles de manipulation de produits et sous-produits. Traitement des émissions de ventilation ;</li> <li>• nettoyage fréquent des aires de stockage des sous-produits et des aires d'hébergement des animaux avant abattage ;</li> <li>• gestion rapide des produits, des sous-produits et des déchets (y compris le sang) ;</li> <li>• élaboration et mise en œuvre d'un plan de gestion des odeurs (PGO) ;</li> <li>• couvrant entre autres les actions suivantes ;</li> </ul>

- effectuer périodiquement des études d'impact sur les odeurs (sur la base du schéma de détermination des taux d'émission d'odeurs et de la modélisation ultérieure de la dispersion) et/ou des études d'inspection sur le terrain ;
- développer et mettre en œuvre des protocoles d'autocontrôle pour l'impact des odeurs de l'installation ;
- enregistrer de tout épisode de puanteur causé par les activités internes ;
- enregistrer les éventuels épisodes d'odeur produits à l'extérieur ;
- gérer adéquatement les éventuelles plaintes d'odeurs.
- effectuer une vigilance spécifique des stations d'épuration des eaux usées (y compris la gestion des boues), qui sont identifiées comme l'une des sources les plus importantes d'émission d'odeurs les abattoirs et les installations de rendering ;
- préparer des Plans de Gestion des Odeurs (PGO) spécifiques, adaptés à chaque installation et à son environnement qui englobent tous les aspects liés à la gestion des émissions d'odeurs, à leur surveillance, aux mesures correctives, à la gestion des plaintes, ...

Tableau 2.9 : Industrie du cuir : Tanneries et mégisseries



Le tanneur.

Der Lohgerber.

The tanner.

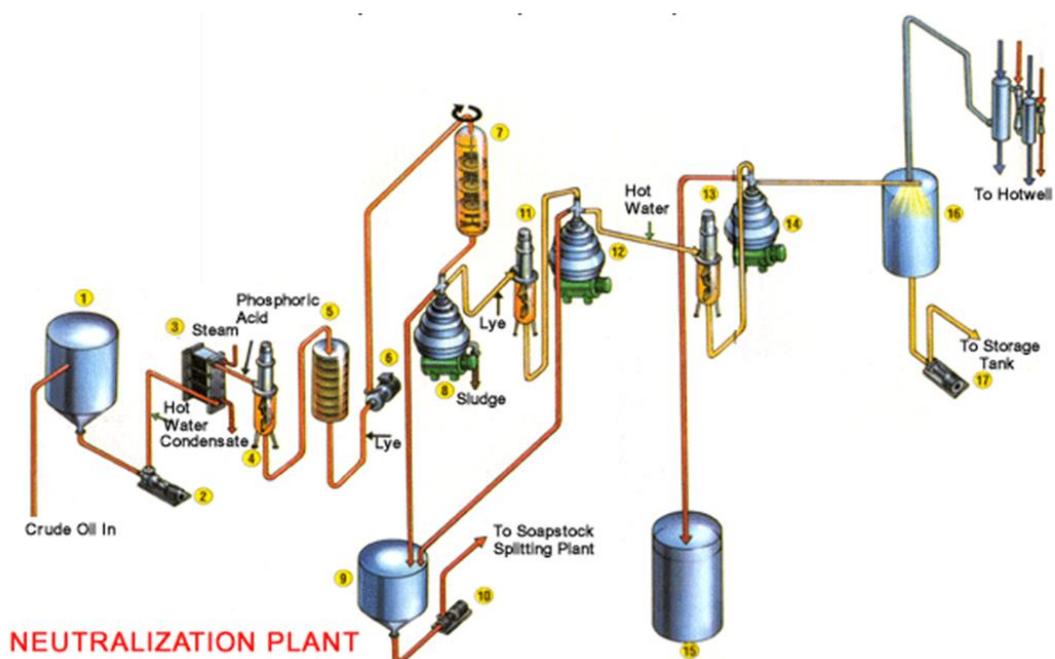
Nombre d'installations	13
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• épilage ;</li> <li>• déchaulage ;</li> <li>• d'autres sources d'odeurs dans les tanneries mégisseries sont : la décomposition de peaux mal séchées ou stockées, les procédés de poutres et les installations de traitement des eaux usées qui sont mal contrôlés.</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COV (qui se dégagent sous l'action des enzymes provoquent la décomposition et l'oxydation des cuirs et des peaux) et en plus de l'ammoniac, des amines, du H<sub>2</sub>S et des mercaptans.</li> </ul>
Mesures à prendre	<p>Lorsque des impacts odoriférants importants se produisent, les pratiques les plus appropriées sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mesures préventives : réduction de l'utilisation des sulfures, des produits sulfurés et des sels ammoniques, le contrôle du pH et le stockage au froid des peaux ;</li> <li>• mesures correctives : effectuer l'épuration des émissions au moyen de scrubber ou de la biofiltration (et, si nécessaire, en combinaison avec des filtres à charbon actif).</li> </ul>

Tableau 2.10 : Industrie des conserves de poisson



Nombre d'usines de compostage	≥ 20
Matières premières	Sardines et thon
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>stockage de matières premières qui doit être en froid ;</li> <li>la station d'épuration des eaux usées (s'il existe) doit être considérée comme une source importante d'odeur.</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>l'ammoniac, la méthylamine, la diméthylamine et surtout la triméthylamine. D'autre part, lorsque la pourriture des matières premières est produite, aux substances indiquées, on pourrait ajouter l'H<sub>2</sub>S, les mercaptans et les thioéthers</li> </ul>
Mesures à prendre	<ul style="list-style-type: none"> <li>éviter la dégradation des matières premières en les stockant au froid et en programmant une production avec une rotation très rapide ;</li> <li>stocker les déchets organiques au froid jusqu'à ce qu'ils soient gérés ;</li> <li>effectuer une extraction adéquate de l'air ambiant des halls de production;</li> <li>traiter les émissions collectées par : lavage chimique, biofiltration ou oxydation thermique.</li> </ul>

Tableau 2.11 : Raffinage de l'huile végétal



Nombre d'usines de compostage	16
Matières premières à composter	Mélanges de résidus végétaux verts et des excréments d'animaux et d'autres détritrus
Points significatifs concernant l'émission des odeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sources de processus</li> <li>• événements des réservoirs de stockage ;</li> <li>• STEP</li> </ul>
Odorants significatifs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aldéhydes, cétones, acides gras volatils, acétoïne, diacétyl et terpènes</li> </ul>
Mesures à prendre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• appliquer les bonnes pratiques de fabrication ;</li> <li>• entretien adéquat de tous les éléments de la ligne de désodorisation.</li> </ul>

## 2.1.- Autres installations

Industrie chimique : en Tunisie il y a plus de 500 installations dans le secteur chimique (dont 30 correspondent à la branche de chimie de base y compris les engrais). Dans ces usines, des émissions d'acides inorganiques, d'ammoniac, des COV utilisés comme matières premières et des substances organiques volatiles synthétisées peuvent se produire.

Raffinerie de pétrole : à Bizerta il y a une grande raffinerie de pétrole (la seule à Tunisie). Dans ce cas, comme en toutes les installations similaires, des émissions fugitives des conductions et des éléments de connexion peuvent avoir lieu. Pour minimiser ce type d'émissions il faut implanter un programme LDAR (Leak Detection And Repair). D'autre part, on doit également tenir compte du fait que, que les émissions provenant des réservoirs de stockage de pétrole brut et de produits peuvent également être très importantes comme c'est le cas des émissions de la STEP.



Figure 2.1 : Raffinerie de pétrole

## 2.2.- Installations responsables des émissions d'odeurs à vue de vol d'oiseau

L'un des facteurs qui a le plus d'influence sur la génération de plaintes et/ou de conflits dérivés des impacts olfactifs de la production industrielle ou des installations de traitement environnemental des eaux usées résidus ou des déchets consiste en leur localisation par rapport aux zones résidentielles voisines.

La figure suivante montre certains emplacements d'installations où des émissions avec des charges olfactives importantes sont susceptibles de se produire et qui, en raison de leur proximité avec des zones habitées à proximité, peuvent entraîner des plaintes liées aux odeurs.



Figure 2.2 : A) Raffinerie d'huile végétal, B) Installation de recyclage d'huiles industriels et raffinerie de pétrole et c) 2 STEP d'eaux usées urbaines et une d'industrielle

Pour éviter les inconvénients découlant de la situation décrite ci-dessus, étant donné qu'il est fort probable qu'un transfert massif de voisins ne pourra pas être effectué (bien que parfois l'implantation de la population ait eu lieu après l'installation et le démarrage de l'activité correspondante), la seule possibilité d'action pour éviter des épisodes d'odeurs est d'appliquer des systèmes de couverture des processus critiques, effectuer des ventilations adéquates, minimiser les émissions diffuses et effectuer un traitement des émissions d'odeurs et des ventilations avec une efficacité suffisante (ce qui peut entraîner des coûts d'investissement et d'exploitation très élevés).

Les mesures possibles pour éviter les situations décrites ci-dessus sont les suivantes :

- améliorer la planification urbaine, tant en ce qui concerne les zones habitées que les zones industrielles. À cet égard, les éventuels impacts olfactifs (et sonores) doivent être pris en compte lors de l'octroi de permis pour la création ou l'extension de certaines installations. Il faudrait tenir compte des directions de vent les plus probables au moment de planifier nouvelles activités ou l'ampliation des existantes ;
- définir des distances de séparation minimales en fonction de la nature de l'installation où les odeurs peuvent se produire ;
- essayer d'avoir un « interland » suffisant pour éloigner les voisins de l'installation où les émissions d'odeurs sont produites ;
- dans le cas d'installations dans des secteurs tels que ceux décrits dans ce chapitre, une activité pertinente consiste à simuler et à modéliser l'impact olfactif de l'installation.

### 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.

Par conséquent, l'odorat perçoit certaines substances volatiles (odorants) dans l'air et, par conséquent, l'odorat est un sens, dont le mécanisme de perception est de « chimioréception ».

Les odeurs sont des sensations résultant de la réception d'un *stimulus* par le système olfactif qu'elle soit liée à la présence d'une seule molécule dans l'air ou à un mélange complexe. Il convient de noter que ce qu'une personne identifie comme une odeur unique et distinctive (p.ex. : une odeur d'égout ou de banane) provient dans de nombreux cas de la superposition des effets de nombreuses substances odoriférantes différentes, et non d'une seule.

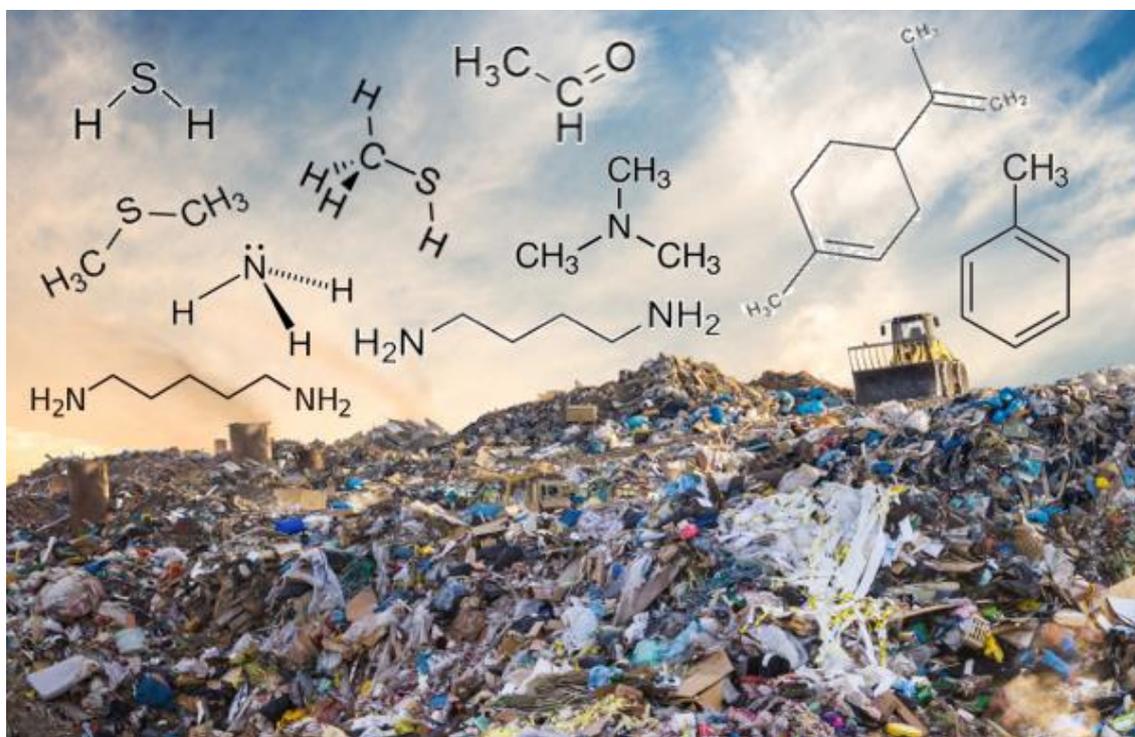


Figura 3.1 Odeurs dans les émanations d'une décharge de déchets ménagers

### 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 une échantillon mesurée par une technique d'olfactométrie (et s'exprime, par exemple, en  $ou_E/m^3$ ). 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 concentration ne tient pas compte de l'intensité ou de l'agressivité.  
**Note : ce paramètre et ses unités sont discutés en détail dans le chapitre 7 de ce Guide**
- **Qualité** : c'est un attribut qui vient exprimer la similitude de la sensation par rapport à certains descripteurs de reconnaissance facile (p. ex: odeur de poisson, odeur d'œufs pourris, ...) ;
- **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 (voir plus de détails dans la section 3.2.2) ;

#### 3.2.1.- Détection olfactive

Il existe un consensus sur le fait que le seuil de détection olfactive est plus un concept statistique, qu'absolu, car sensoriellement, il n'y a pas d'intensité physique et / ou chimique qui présente une valeur exacte en dessous de laquelle aucun stimulus n'est perçu. D'autre part, au-dessus d'un certain seuil, tous les stimuli sont détectés. Au sens strict, on peut déduire de ce qui précède que les seuils olfactifs doivent en fait être exprimés comme intervalles et non en tant que valeurs uniques. Cependant, pour des raisons pratiques, il y a une tendance à présenter une valeur unique de ce paramètre, Par conséquent, dans différents documents publiés, on peut observer des valeurs de seuils olfactifs bien différents.

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).

Le seuil de détection, en raison de ses caractéristiques particulières, peut être affecté par un certain nombre de facteurs :

- **adaptation** : ce terme désigne la réduction de la sensibilité à une odeur particulière. En ce qui concerne l'adaptation, on dit qu'il y a une augmentation des seuils de détection et de reconnaissance correspondants en fonction de la durée et de l'intensité de l'odeur correspondante ;

Il existe deux types d'adaptation :

- a) autoadaptation : c'est la plus typique et se produit de manière à ce que ce soit l'odeur elle-même qui provoque la diminution de la sensibilité ;
- b) adaptation croisée : dans laquelle un *stimulus* provoque la réduction de la sensibilité d'un autre.

La sensibilité de l'odorat (qui, comme les autres, est constamment stimulé) a tendance à diminuer après un court laps de temps de perception d'une odeur. Elle atteint un plateau qui est maintenu pendant toute la durée du *stimulus* jusqu'à atteindre une situation d'adaptation complète après un certain temps.

Ce fait est important dans les cas où le *stimulus* est du même ordre que le seuil de détection olfactive et dans cette situation, l'adaptation peut provoquer l'arrêt de la perception. Lorsque le stimulus disparaît, la sensibilité se rétablit progressivement.

Il est nécessaire de distinguer entre le seuil de détection olfactive et le seuil de reconnaissance olfactive qui correspond à cette concentration qui peut être attribuée sans équivoque à une certaine substance (il est différent de considérer que « ça sent » que « ça sent à citron (en fait au limonène) »).

Le tableau suivant présente les seuils de détection et de reconnaissance de différentes substances et dans lesquels il peut être vérifié que les seuils de reconnaissance sont significativement plus élevés que ceux de détection. Normalement, le seuil de reconnaissance d'odeur est environ 3 à 10 fois plus élevé que le seuil de détection.

Tableau 3.1 : Seuils de détection et reconnaissance et de détection olfactives

Composé	Seuil de détection (ppb)	Seuil de reconnaissance (ppb)
Acétaldéhyde	4	210
Éthyl mercaptan	0,04	0,7
Scatol	1,2	470
H <sub>2</sub> S	0,47	4,7
Ammoniac	1150	50000
Acide acétique	6	1000

**NOTE TRÈS IMPORTANTE** : en ce qui concerne les seuils de détection olfactive, il convient de noter que dans la bibliographie, il existe des valeurs qui présentent des écarts assez importants. Ainsi, les données de ce paramètre sont souvent trouvées par la même substance qui diffèrent jusqu'à un ordre de grandeur (cela est probablement dû, entre autres facteurs, à la confusion entre le seuil de détection et le seuil de reconnaissance dans différentes publications).

### 3.2.2.- Tonalité de l'impact odoriférant. Ton hédoniste

Il convient de noter qu'il y a peu d'odeurs qui peuvent être considérées comme neutres car généralement celles-ci sont agréables ou désagréables.

D'autre part, il semble qu'il y ait une plus grande diversité d'odeurs agréables, ce qui suggère que l'odorat peut agir comme un outil d'avertissement défensif face aux agressions environnementales potentielles.

L'appréciation organoleptique et psychosensorielle de la qualité d'une odeur et l'association de similitudes avec d'autres est un phénomène extrêmement complexe et, à certains égards, relatif, puisque le caractère affinitaire d'une odeur au sein d'un groupe de population peut varier en fonction de l'intensité, du contexte et de l'influence culturelle.

Dans des échantillons réels d'air en étude, souvent plusieurs substances sont présentées dans différentes gammes de concentrations, ce qui produit une synergie du point de vue odoriférant. Il faut ajouter que les synergies peuvent être positives (accentuation) ou négatives (masquage).

Le ton hédoniste de l'odeur est lié à la classification des odeurs selon qu'elles sont plus ou moins agréables (ou désagréables). La méthode de mesure est basée typiquement sur la norme allemande suivante : VDI 3882-2 : 1994; Détermination du ton hédoniste, Düsseldorf, Allemagne.

Les panélistes attribuent un ton hédoniste à chaque présentation selon une échelle prédéfinie dans 9 catégories en utilisant des nombres entiers allant de -4 (attribué à la catégorie d'odeurs répertoriée comme offensante) à +4 (pour les odeurs définies comme très agréables). Les critères de classification utilisés sont les suivants

Tableau 3.2 : Classification du ton hédoniste des odeurs

Ton hédonique	Qualification VDI 3882 Part 2
+4	Très agréable
+3	Agréable
+2	Modérément agréable
+1	Légèrement agréable
0	Neutre
-1	Légèrement désagréable
-2	Modérément désagréable
-3	Désagréable
-4	Offensive



Figure 3.2 : Exemples de source d'odeurs avec différents ton hédonistes

### 3.2.3.- Persistance des odeurs (Pervasivité)

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 le cas réel est que certains odorants et 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 fumier laitier.

### 3.2.4.- Certains aspects liés à l'acceptabilité des odeurs

Les facteurs qui régissent l'acceptabilité ou l'aversion des odeurs sont les suivants : Fréquence, Intensité, Durée, Offensivité et Localisation (dont l'interrelation constitue le modèle conceptuel appelé FIDOL par les initiales de ces facteurs)

- Fréquence exprime la périodicité à laquelle les épisodes d'odeurs se produisent (journalière, hebdomadaire, ...). La fréquence à laquelle les odeurs sont perçues peut être un facteur important dans l'évaluation de l'impact des sources d'odeurs potentielles. L'augmentation de la fréquence des odeurs peut entraîner même des odeurs faibles ou agréables deviennent une source de plaintes. Les odeurs récurrentes (et les fluctuations rapides de l'intensité) peuvent également être plus perceptibles que les odeurs de fond constantes. Un autre facteur associé à la fréquence est le moment dans lequel il est perçu l'odeur.

- **Intensité** : plus l'odeur il est intense, plus il causera d'inconfort à la population. Il convient de mentionner que même les odeurs agréables telles que les parfums peuvent devenir gênantes à haute intensité. L'intensité des odeurs n'est pas souvent quantifiable. Alternativement, l'intensité peut être évaluée sur une échelle d'intensité de sept points, allant de l'absence d'odeur (0) à une odeur extrêmement forte (6). Bien que cela soit subjectif (différentes personnes percevront les odeurs comme des intensités différentes), cela fournit toujours un outil quantitatif utile pour estimer l'intensité des odeurs. L'échelle est dérivée de la norme allemande VDI 3882-1:1992 ;
- **Durée**: fait référence à l'extension dans le temps de chaque épisode spécifique. Des épisodes à long terme peuvent amener la population à s'adapter, tandis que des épisodes très courts peuvent se terminer avant que les gens ne pensent à changer leurs plans (ex. porter une plainte). Cette information peut aider à déterminer si elle est le résultat d'une condition ou d'un événement de fonctionnement anormal, ou si l'odeur est constante ou intermittente. Ce paramètre est lié à l'intermittence ;
- **Caractère offensant (Offensivité)**: est la description de ce à quoi « ressemble » l'odeur. Des descripteurs référentiels sont utilisés (par exemple : « ça sent tel que les œufs pourris ») pour caractériser les odeurs. Ce paramètre est lié à « l'offense » d'une certaine odeur. Le caractère offensant d'une l'odeur est également appelé le « ton hédoniste ». Il ne s'agit pas d'un paramètre quantitatif, mais d'une évaluation subjective de l'agréabilité de l'odeur, avec des descripteurs assignés (par exemple, eaux usées, essence, produits chimiques, ail, œufs pourris, boulangerie, ...).

Ce paramètre est subjectif car une odeur très offensante pour certains peut être peu préoccupante pour d'autres. Cependant, il existe un certain nombre d'odeurs qui sont offensantes pour la plupart des gens et qui peuvent entraîner des plaintes d'odeurs à une très faible concentration d'odeurs (par exemple, les odeurs provenant du traitement des eaux usées, de l'équarrissage, etc.). Le caractère offensant d'un mélange de contaminants odorants est généralement dicté par un ou quelques contaminants dominants. L'aversion pour les odeurs peut être mesurée quantitativement en évaluant le ton hédoniste par moyen de la norme allemande VDI 3882-2:1994 .

- **Localisation** d'où une odeur est perçue peut affecter le caractère offensant considéré, en particulier lorsqu'une odeur ne serait normalement pas attendue à un endroit donné. Les habitants des zones urbaines, suburbaines, non aménagées ou agricoles établies ont tous des sensibilités variables aux odeurs. La nature de l'activité humaine est également un facteur, car les propriétaires et les résidents peuvent avoir des réponses différentes aux odeurs que les personnes fréquentant les écoles, les centres communautaires ou les événements sur les terrains de sport ou les parcs ;

L'effet combiné/cumulatif de ces paramètres contribue à façonner le sentiment de nuisance et de manque de confort qui peut précéder les plaintes des citoyens.

Parmi ces facteurs FIDOL, le caractère offensant est principalement de nature subjective et difficile à mesurer – c'est aussi l'un des principaux moteurs des plaintes. Ainsi, une

odeur « non offensante » peut être acceptable pour une communauté malgré une fréquence, une intensité et une durée relativement élevées. Cependant, une odeur « agréable » peut devenir offensante après une exposition fréquente ou longue.

La fréquence et la durée des épisodes, qui dépendent de la direction du vent et des caractéristiques des émissions d'odeur, doivent être prises en compte ensemble lors de l'évaluation d'un problème d'odeur existant ou potentiel. A ce sujet, il faut considérer que les sources d'odeurs peuvent être continues (p. ex., provenant d'installations agricoles, municipales et industrielles), intermittentes (p. ex., épandage de déchets sur les terres, processus industriels en « batch », ...) ou répondre à un seul événement (p. ex., en raison d'un accident ou une fuite gazeuse dans une usine, ...).

### 3.2.5.- Effets des odeurs

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 de santé ou de danger. On croit que la plupart des odeurs constituent 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 3.3: Descripteurs de symptômes typiques attribués à l'exposition à des odeurs gênantes**

Descripteurs des symptômes physiques	Descripteurs des symptômes psychologiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nausées</li> <li>• Diminution de l'appétit</li> <li>• Congestion</li> <li>• Irritation sensorielle et respiratoire</li> <li>• Maux de tête</li> <li>• Vertiges</li> <li>• Problèmes de sommeil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tension</li> <li>• Nervosité</li> <li>• Colère</li> <li>• Frustration</li> <li>• Dépression</li> <li>• Fatigue</li> <li>• Confusion</li> <li>• Stress général</li> </ul>

La stimulation des neurones trijumeaux par des odorants peut provoquer des effets irritants, tandis que la stimulation des neurones olfactifs par des odorants peut provoquer des effets de nuisance. Certains odorants peuvent stimuler les deux types de neurones, provoquant les deux effets.

Les effets de nuisance (p. ex., l'insomnie) sont liés à la perception de l'odeur, sans une cause bien comprise. Bien que la raison pour laquelle certaines odeurs provoquent des effets de nuisance ne soit pas entièrement comprise, les symptômes qui en résultent sont néanmoins réels.

Les odeurs peuvent également affecter la santé physique d'une personne (p. ex., nausées), psychologiquement (p. ex., stress) et socialement (p. ex., embarras).

Cela dit, il y a des défis à relever dans l'étude de la relation entre l'odeur et la santé. Différentes personnes ressentent les odeurs de différentes manières – une odeur désagréable pour l'une peut être indétectable ou agréable pour l'autre. Il est également difficile de mesurer les odeurs de manière objective. Ces deux facteurs rendent difficile l'évaluation des effets sur la santé causés par les odeurs.

Les connaissances actuelles sur la toxicité chimique sont basées sur l'évaluation individuelle des différentes substances, mais il faut noter que l'utilité de ce type d'évaluation est limitée dans le cas des odeurs, car il est possible que les mélanges des composés chimiques contenus dans une odeur puissent interagir de manière inattendue.

Le tableau suivant résume les différents mécanismes de réponse liés à l'exposition aux odeurs.

**Tableau 3.4 : Principaux mécanismes des symptômes liés aux odeurs environnementaux**

Symptômes	Commentaire
Aversion innée pour les odeurs	Bien que les facteurs individuels aient une influence décisive sur les réactions aux odeurs perçues, il existe des substances que la plupart des gens acceptent de décrire comme désagréables.
Exacerbation de conditions médicales préexistantes	Tels qu'ils sont : asthme, bronchite, troubles psychosomatiques, dysfonctionnements olfactifs...
Intolérance aux odeurs	Ce type de réaction peut être attribué à l'existence d'une exposition aiguë antérieure (par exemple dans un contexte de travail). Il n'a pas été démontré en relation avec les odeurs dans l'air ambiant.
Somatisation due au stress environnemental	C'est un état de stress lié à un sentiment d'altération de la qualité de l'environnement par les odeurs qui est associé à un sentiment de perte de capacité à profiter d'un lieu et/ou à la dévaluation d'une propriété.
Caractère intermittent du <i>stimulus</i>	Il peut en résulter un sentiment d'absence de contrôle sur un <i>stimulus</i> transitoire indésirable (mais récurrent).
Réponse immunitaire aux odeurs désagréables	Il existe des preuves d'une relation entre les centres olfactifs du cerveau et le tissu lymphatique. Les odeurs pourraient agir comme un effet d'immunosuppression (ou parfois d'immunosuppression).
Effet physique direct	La stimulation aiguë de la muqueuse olfactive peut entraîner une augmentation de la sécrétion d'adrénaline qui pourrait entraîner une sensation d'anxiété.

Finalement, outre les effets possibles sur la santé et le bien-être des personnes exposées, les nuisances et les interférences résultant de subir un impact odoriférant important peuvent inclure :

- une perturbation des activités quotidiennes normales et des loisirs ;
- une dévaluation des propriétés ;
- une perte de dynamisme économique dans les zones affectées. Ceci est particulièrement important dans les zones à forte concurrence touristique.

### 3.3.- Principales familles d'odorants

Comme mentionné au chapitre antérieur de ce guide, la perception des odeurs est due à l'interaction de molécules volatiles (c'est-à-dire les odorants) avec les neurones sensoriels olfactives situées, chez les mammifères, dans la partie supérieure de la cavité nasale.

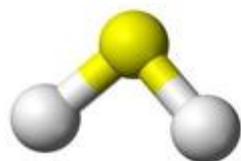
Sur la base de la définition précédente, les odorants incluent une large gamme de composés organiques volatiles (COV) et de certains composés inorganiques gazeux. La plupart des émissions odorantes sont des mélanges complexes de ces composés à des concentrations relativement basses avec des substances à faible potentiel odoriférant présentes à des concentrations beaucoup plus élevées.

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

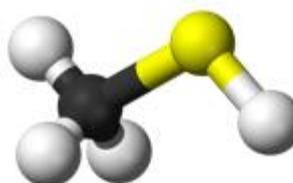
Tableau 3.5 : Principales familles d'odorants

Symptômes	Commentaire
Substances dérivées du soufre	Comprennent : sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S), thiols (mercaptans), thioéthers (tels que sulfure, disulfure et trisulfure de diméthyle et autres), disulfure de carbone, sulfure de carbonyle, dérivés du thiophène, ...
Substances azotés	Comprennent : ammoniac (NH <sub>3</sub> ), amines, nitriles, dérivés de pyridine, pyrazines, dérivés nitroaromatiques, aminoalcools, indole, scatol, putrescine, cadavérine et autres.
Composés organiques contenant 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, $\alpha$ -pinène, $\beta$ -pinène, linalool, limonène, ...
Composés halogénés	Comprennent : chlorobenzènes, chloroanisoles, chlorophénols, ...
Autres substances odorantes	Comme : Ozone (O <sub>3</sub> ), oxydes d'azote et de soufre, 1,3-butadiène, muscs synthétiques (comme les muscs de xylène, ...), géosmine, ...

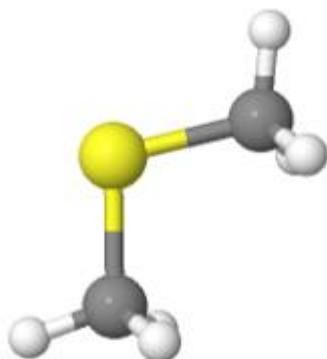
La figure suivante montre les formules de différents odorants ayant une importance environnementale



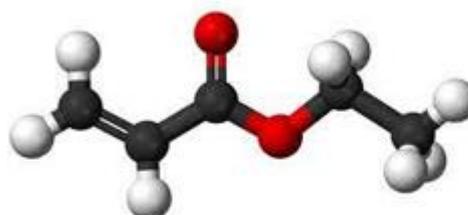
Sulfure d'hydrogène [H<sub>2</sub>S]



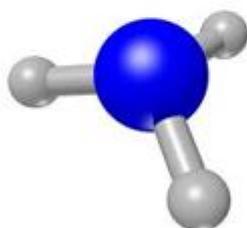
Méthyl mercaptan [CH<sub>3</sub>-SH]



Sulfure de diméthyle [CH<sub>3</sub>-S-CH<sub>3</sub>]



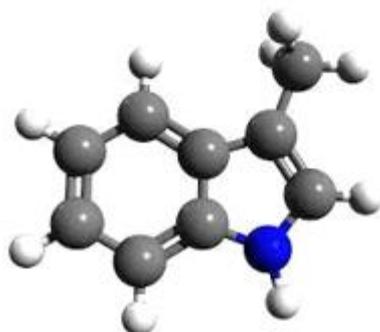
Acrylate d'éthyle [CH<sub>2</sub>-CH-COO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>]



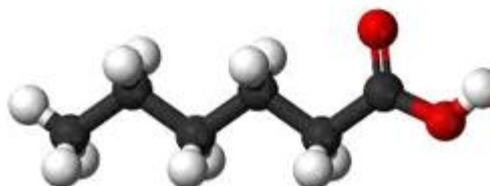
Ammoniac [NH<sub>3</sub>]



Triméthylamine [(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>-N]



Scatol [C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>N]



Acide hexanoïque [CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>-COOH]

Figure 3.3 : Exemples de formules de différents odorants

### 3.3.- Sources d'émission des odorants

Par leur origine et l'intensité de leurs émissions d'odeur, peuvent être classés :

Tableau 3.6 : Types d'activités et d'installations à émissions odoriférantes

#### 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
- Écoparcs (il s'agit d'installations dans lesquelles une chaîne complète de processus traitement des déchets est réalisée, comme : tri, classification, recyclage, compostage, méthanisation, ...)

##### 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 suivants secteurs

- Raffineries pétrochimiques
- Usines de la chimie de base et de la 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 du cacao
- Impression et flexographie
- Tannage
- Autres : revêtement de surfaces, fabrication de meubles, ...

#### 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 (ce qui n'implique pas nécessairement une faible intensité)

- Fuites des réseaux de gaz
- Marchés (lorsqu'ils produisent des accumulations de déchets)

### 3.4.- Odorants dans les émissions de différentes activités

Le tableau suivant présente une liste (non exhaustive) des odorants émis dans diverses activités productives.

Tableau 3.7 (1/2) : Sources d'émission d'odorants

Installations	Processus	Odorants
Fonderies		Amines (DMEA), hydrocarbures, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub>
Chimie de base	Engrais N P K	Ammoniac, aldéhydes, SO <sub>2</sub>
	Acide phosphorique	H <sub>2</sub> S
	Produits de synthèse organique	COV en général (dépend de chaque processus de synthèse)
	Composés inorganiques	Ammoniac, dioxyde de soufre, Cl <sub>2</sub>
Chimie fine	Pharmaceutiques	COV (toluène, alcools, cétones, esters, amines, composés halogénés, ...)
	Composites et résines	Styrène, acrylonitrile, acétate de vinyle,
Pétrochimie	Raffineries	H <sub>2</sub> S, amines, ammoniac, hydrocarbures aromatiques (BTEX, triméthylbenzènes)
Usines de coke		Hydrocarbures aromatiques, composés phénoliques, H <sub>2</sub> S
Extraction et fabrication d'arômes		Composés odorants des arômes naturels et artificiels (à utiliser pour l'alimentation, cosmétique, ...)
Fabrication d'adhésifs et peintures		Hydrocarbures aromatiques, cétones (MIBK, MEK, acétone), esters (acétate de vinyle, acétate d'éthyle, acétate de butyle, n-butanol), acétate de butoxyéthoxyéthanol
Caoutchouc (naturel et synthétique)		Hydrocarbures, aldéhydes et acides gras volatiles (C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub> ), amines, p-crésol
Fabrication de plastique		Acrylates de méthyle et d'éthyle, acrylonitrile, acétaldéhyde, monomères
Fabrication de pâte à papier		H <sub>2</sub> S, mercaptans, thioéthers, CS <sub>2</sub> , COS, acides gras (C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> ), indole, scatol, terpènes, aldéhydes
Impression		Toluène, éthanol, acétate d'éthyle, 1-éthoxy-2-propanol
Impression et flexographie		Acétate d'éthyle, éthanol, isopropanol
Industrie textile		Alcools, cétones, esters, hydrocarbures, acides gras volatiles, formaldéhyde, acrylonitrile, acrylates,
Revêtement de surfaces		Acétate de butyle, hydrocarbures aromatiques (toluène et xylène), n-butanol, cétones
Traitement du bois		Pentachlorophénol, Créosote
Raffineries de pétrole		Hydrocarbures, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , mercaptans, NH <sub>3</sub> , amines,
Industrie chimique	Acide phosphorique	H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub>
	Engrais	NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>
	Synthèse et fabrication de substances et de produits organiques	Composés Organiques Volatiles (selon les processus pertinents)
Réseaux d'assainissement		H <sub>2</sub> S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines

Tableau 3.7 (2/2) : Sources d'émission d'odorants

Installations	Processus	Odorants
Alimentation humaine	Elevage	Ammoniac, amines, H <sub>2</sub> S, DMS, éthanol, carbonyles (acétone, acétaldéhyde), FAV (acides C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub> ), dérivés phénoliques
	Abattoirs	Ammoniac, Amines, H <sub>2</sub> S, mercaptans, thioéthers, aldéhydes, acides gras volatiles
	Industrie du poisson	Ammoniac, Amines (TMA, DMA, EA), alcools, aldéhydes, acides gras volatiles
	Fabrication de levures	Alcools, cétones, acides gras volatiles (C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub> )
	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 <sub>2</sub> S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, acides gras volatiles
	Filière des boues	H <sub>2</sub> S, mercaptans, ammoniac, amines
Décharges de déchets urbains	Zones d'enfouissement	H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines, alcools, esters, terpènes, aldéhydes et cétones, acides gras volatiles
Usines ou plantes de biométhanisation		Hydrocarbures, furannes, H <sub>2</sub> S, thioéthers, aldéhydes et cétones
Installations d'équarrissage		H <sub>2</sub> S, mercaptans, thioéthers, ammoniac, amines

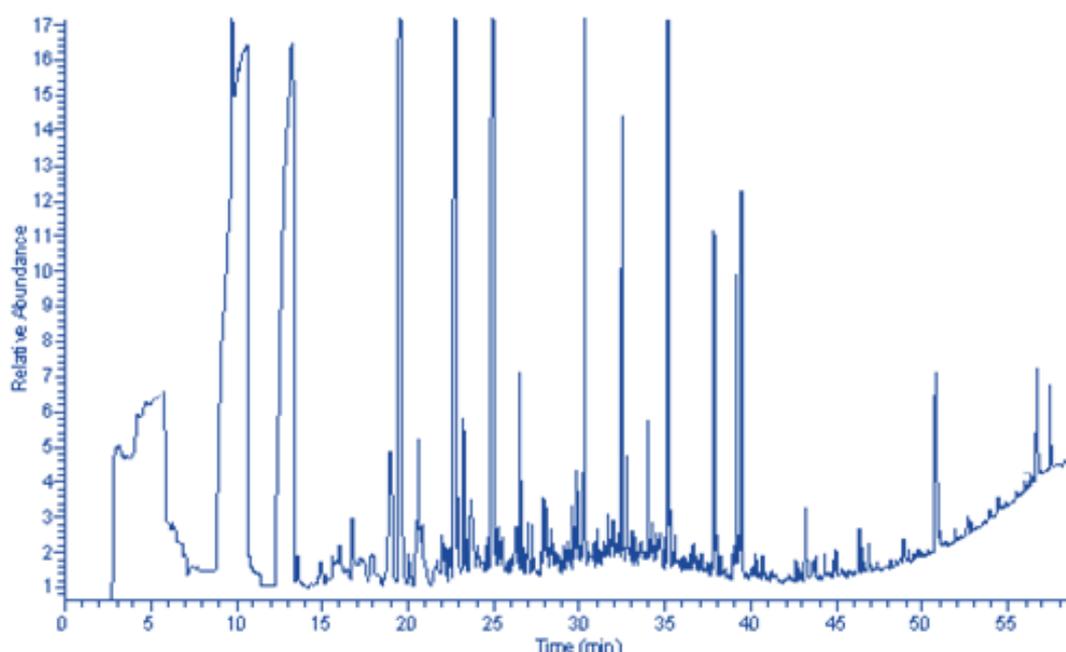


Figure 3.4 : Odorants dans l'émission d'un bassin de lixiviat d'une décharge





#### 4.1.- Lois de Prévention des Nuisances

Ce type de loi est fondé sur le critère d'absence de « nuisance » et exige essentiellement que l'odeur d'une installation n'entraîne pas de nuisance. Dans de nombreuses juridictions, le seul règlement lié aux odeurs est une loi sur les nuisances, tandis que tous les autres aspects du programme de gestion des odeurs sont simplement des lignes directrices qui ne sont pas exécutoires ; c'est-à-dire l'approche consiste à ce que les émissions d'une installation ne causent pas de nuisances aux récepteurs voisins.

Tableau 4.1 : Critères sur les Lois de Prévention des Nuisances

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Applicable aux sources préexistantes :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être appliqué à des installations déjà existantes.</li> </ul>	<p><b>Législation contradictoire :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut entrer en conflit avec la législation existante.</li> </ul>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pourrait s'appliquer à toutes les sources (à l'exception peut-être de l'agriculture).</li> </ul>
<p><b>Reconnaît les récepteurs(a) :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les problèmes d'odeur ne sont un problème que lorsqu'il y a des récepteurs humains.</li> <li>• L'accent est mis uniquement sur les sources de préoccupation (c.-à-d. si une source n'a pas soulevé de préoccupation, aucun temps ou argent n'est investi dans une enquête).</li> <li>• Peut concentrer les investissements (à la fois financiers et de temps) dans les domaines où les préoccupations en matière d'odeurs sont prédominantes.</li> </ul>	<p><b>Quantification :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différentes odeurs affectent différentes personnes de différentes manières.</li> <li>• Chaque installation devrait être considérée comme unique.</li> <li>• Les audiences judiciaires peuvent augmenter puisque « nuisance » et « qualité de vie » peuvent être interprétés différemment par les parties en conflit.</li> </ul>	<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontario, Nouvelle-Galles du Sud, Australie.</li> </ul>
<p><b>Non spécifique à la source individuelle :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être appliqué à toutes les sources.</li> </ul>	<p><b>Relations avec les voisins :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La quantification des impacts peut prendre du temps, ce qui entraîne l'exposition des récepteurs à des effets supplémentaires sur la qualité de vie.</li> </ul>	<p><b>Application combinée :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assez souvent combiné avec la méthode des critères de plainte.</li> </ul>
<p><b>Pratiques bien établies :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La réglementation sur les odeurs dans 42 des 50 États des États-Unis est de ce type.</li> <li>• Les lois sur les nuisances en Europe remontent à la fin du 19ème siècle.</li> </ul>	<p><b>Projets futurs :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficile de déterminer ce qui est perçu comme une « qualité de vie » à l'étape de la planification.</li> <li>• L'utilisation du terrain (et donc les récepteurs) peut changer au fil du temps, affectant ce qui est considéré comme une nuisance.</li> </ul>	<p><b>Applicabilité :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un critère juridique doit être établi pour déterminer ce qui constitue une nuisance. Cela inclurait des facteurs tels que la fréquence, l'intensité et le potentiel de gêne.</li> <li>• Les étapes à suivre pour appliquer la politique et la loi doivent être claires.</li> <li>• Le calendrier de résolution des problèmes doit être clair</li> </ul>

## 4.2.- Critères de concentrations en air ambiant pour des substances chimiques individuelles

De nombreuses administrations en Amérique du Nord et ailleurs dans le monde ont des critères quantitatifs de concentration ambiante pour les produits chimiques odorants individuels. Le statut réglementaire de ces critères va des lignes directrices ou des objectifs aux normes exécutoires.

La modélisation de la dispersion utilisée pour prédire les concentrations d'un composé prend généralement en compte les temps de moyenne horaires. Un nez humain, cependant, peut capter une odeur en quelques secondes. Le temps moyen de mesure de nombreux odorants se situe généralement entre ces deux extrêmes. Cela conduit à un problème unique lors de la comparaison des mesures de substances odorantes avec les critères de fond ambiant.

Tableau 4.2 (1/2) : Critères de concentrations en air ambiant pour des substances chimiques individuelles

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Quantifiable :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De toutes les méthodes sans doute les plus quantifiables.</li> <li>• Les seuils d'odeur sont connus pour de nombreux composés.</li> <li>• Les concentrations ambiantes peuvent être mesurées et quantifiées.</li> <li>• Les concentrations peuvent être prédites à l'aide de la modélisation de la dispersion.</li> </ul>	<p><b>Capter l'odeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les composés odorants ne sont pas nécessairement additifs. Ils peuvent interagir les uns avec les autres en donnant des seuils d'odeur plus élevés ou plus bas que les produits chimiques individuels.</li> <li>• Bien que les composés individuels puissent être en dessous de leur respectif seuil, l'odeur peut encore être présente.</li> <li>• Il serait difficile de quantifier (sans surveillance directe) les sources qui sont variables en raison de la matière organique (p. ex., sites d'enfouissement, compostage, agriculture).</li> </ul>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionne bien pour les sources dont les taux d'émission sont connus, comme les installations pétrolières et gazières, les usines de fabrication de pâte de papier, les usines chimiques et autres.</li> </ul>
<p><b>Gestion proactive :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La modélisation de la dispersion peut être utilisée pour prédire les concentrations et des mesures peuvent être prises avant la construction d'une installation.</li> <li>• La surveillance de plusieurs composés peut être effectuée.</li> <li>• Peut être utilisé pour la planification urbaine et des futures installations</li> </ul>	<p><b>Mensurations :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Certains produits chimiques peuvent poser un problème d'odeur même lorsque les concentrations sont inférieures au LOD de l'instrumentation.</li> <li>• Il existe des centaines de composés qui sont considérés comme odorants et tous ne peuvent pas être mesurés (p. ex., coût prohibitif).</li> </ul>	<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontario, Québec, Nouvelle-Galles du Sud, Japon, Corée du Sud, Autriche, Hollande, Lombardie (Italie), certains États des USA.</li> </ul>

Tableau 4.2 (2/2) : Critères de concentrations en air ambiant pour des substances chimiques individuelles

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Résolution temporelle :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>De nombreux composés peuvent être mesurés en continu, ce qui conduit à de multiples mesures au fil du temps.</li> <li>On peut étudier les heures de la journée, les conditions météorologiques, etc. qui peuvent conduire à des odeurs et gérer de manière proactive les émissions.</li> </ul>	<p><b>Prise en compte des récepteurs :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Même si aucun récepteur humain n'est présent ou si les récepteurs ne signalent aucune odeur, les installations seraient toujours tenues de respecter la législation.</li> </ul>	<p><b>Méthodes d'échantillonnage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Il y a des coûts associés aux mesures.</li> <li>La fréquence de la période d'échantillonnage et la période de calcul de la moyenne doivent être prises en compte.</li> <li>Des exigences minimales en matière de surveillance doivent être définies.</li> <li>La surveillance préventive peut fournir un bon outil de relations communautaires, tandis que la surveillance réactive peut faire l'objet d'un examen plus minutieux.</li> </ul>
		<p><b>Seuils d'odeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Il faudrait envisager de définir le seuil d'odeur. Les seuils d'odeur signalés peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur (AISA, 2012).</li> <li>Il y a des centaines de composés responsables des odeurs ; comment fonctionnerait la législation lorsqu'il serait impossible de tout mesurer / considérer ?</li> </ul>

Tableau 4.3 : Exemples de limites de concentrations d'odorants en air ambiant

Portée	Composé	Limite (*)	Temps moyen
<b>ONTARIO (Canada)</b>	Sulfure de diméthyle	30µg/m <sup>3</sup>	1h
	Disulfure de diméthyle	40µg/m <sup>3</sup>	1h
	Total Mercaptans	20µg/m <sup>3</sup>	1h
	Acrylate de méthyle	4µg/m <sup>3</sup>	1h
	H <sub>2</sub> S	30µg/m <sup>3</sup>	1h
	H <sub>2</sub> S	30µg/m <sup>3</sup>	30 minutes
<b>AUSTRALIE</b>	Acétaldéhyde	42ppbV	3 minutes
	Butyl mercaptan	4ppbV	3 minutes
	Triéthylamine	90ppbV	3 minutes
	H <sub>2</sub> S	1,38µg/m <sup>3</sup>	0,1 – 1 second
<b>CONNECTICUT (USA)</b>	Méthyl mercaptan	2,2µg/m <sup>3</sup>	
	H <sub>2</sub> S	6,3µg/m <sup>3</sup>	

### 4.3.- Critères de concentrations d'odeurs en air ambiant

L'odeur est généralement mesurée à l'aide d'un panneau d'odeurs, composé d'un certain nombre de personnel spécialement formé. Les normes européennes, australiennes et américaines sont les plus couramment utilisées pour les mesures de panneaux d'odeurs. Le concept général derrière ces méthodes est de diluer des échantillons d'air avec des quantités connues d'air sans odeur à l'aide d'un olfactomètre. Les échantillons les plus dilués sont présentés d'abord, et après, des échantillons moins dilués sont progressivement présentés au panel jusqu'à ce que 50% du panel puisse détecter une odeur. Ceci est défini comme le seuil de détection des odeurs.

Tableau 4.4 (1/2) : Critères de concentrations d'odeurs en air ambiant

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Méthodes bien établies :</b></p> <p>Deux normes principales ont été développées pour la mesure des odeurs :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ASTM International E679-19 : Pratique normalisée pour la détermination des seuils d'odeur et de goût par une méthode de limites de la série des concentrations croissantes à choix forcé.</li> <li>2. Norme de l'Union européenne EN 13725:2022: Détermination de la qualité de l'air de la concentration d'odeurs par olfactométrie dynamique.</li> </ol>	<p><b>Planification future :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il est souvent plus difficile de déterminer les émissions d'odeurs avant la construction d'une installation et, par conséquent, de modéliser de manière proactive les concentrations des sources principales.</li> </ul>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être utile pour les installations existantes et nouvelles (à partir de simulations avec des facteurs d'émission appropriés).</li> <li>• Des mesures réactives pourraient être utilisées avec tous les types d'installations.</li> </ul>
<p><b>Mesures proactives :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si les taux d'émission d'odeurs peuvent être estimés, les unités d'odeur peuvent être modélisées à l'aide de la modélisation de la dispersion.</li> <li>• Peut aider à la planification urbaine autour d'installations nouvelles ou agrandies.</li> </ul>	<p><b>Caractéristiques des échantillons</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les échantillons ne sont pas toujours continus.</li> <li>• La coordination entre l'heure de la journée, les conditions météorologiques, l'emplacement, etc., peut influencer si des odeurs sont détectées ou non.</li> </ul>	<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Europe (majorité des pays), Australie (toutes les provinces), Corée du sud, Colorado, Connecticut.</li> </ul>
<p><b>Quantifiable :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avec l'utilisation de l'olfactométrie dynamique, on peut quantifier la concentration d'odeur.</li> <li>• Peut être utilisé comme outil de réponses réactives (p. ex., à partir de plaintes).</li> </ul>	<p><b>Coûts :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le coût peut être élevé, en raison du nombre d'échantillons requis pour chaque source pour avoir une représentativité acceptable.</li> </ul>	<p><b>Méthodes d'échantillonnage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La fréquence d'échantillonnage et la période de calcul de la moyenne doivent être prises en compte.</li> <li>• Des exigences minimales en matière de surveillance doivent être définies.</li> <li>• La surveillance préventive peut devenir un bon outil de relations communautaires.</li> </ul>

Tableau 4.4 (2/2) : Critères de concentrations d'odeurs en air ambiant

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Classe l'odeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Est applicable à une large gamme d'odorants.</li> <li>• Peut être utilisé pour les odeurs complexes (c'est-à-dire, plus d'un odorant).</li> <li>• Lié à l'intensité des odeurs telles que perçues par l'odorat humain.</li> </ul>	<p><b>Dégradation de l'échantillon :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'échantillon peut se dégrader en fonction du temps, de la température, de l'humidité, etc., et est sensible au temps.</li> </ul>	

Tableau 4.5 : Exemple de limites de concentration d'odeurs en air ambiant

Portée	Émission ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup>	Air ambiant ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup>	Temps moyen	Percentile %	Activité	Zone
Hollande		0,5		98	STEP (avant 1996)	Résidentielle
		1		98	STEP (avant 1996)	Non résidentielle
		1,5		98	STEP (avant 1996)	Résidentielle
		3,5		98	STEP (avant 1996)	Non résidentielle
Lombardie (Italie)		2			Nouvelles activités	Résidentielle (1 <sup>er</sup> récepteur)
		3			Nouvelles activités	Commerciale >500m
		4			Nouvelles activités	Industrielle/ agricole >500m
Colombie		3	1 heure	98	STEP	
Royaume-Uni		1,5			Caractère très offensif : Odeurs biologiques de décharge, processus impliquant des boues ou des effluents septiques, restes d'animaux ou de poissons en décomposition.	
		3,0			Caractère modérément offensif : élevage intensif, friture grasse (transformation des aliments), transformation de la betterave sucrière, compostage des déchets verts bien aéré	
		6,0			Caractère modérément offensif : brasserie, confiserie, café.	

#### 4.4.- Critères de durée-fréquence de l'impact d'odeur

Les critères applicables en Allemagne sont inclus dans la « Directive sur les odeurs dans l'air ambiant » (GOAA) de 2008 :

Les odeurs dans l'air ambiant doivent être évaluées conformément à la GOAA si la source peut être identifiée comme étant une plante, c'est-à-dire si les odeurs peuvent être distinguées du trafic routier, du chauffage domestique, de la végétation, de l'épandage de fumier et de sources similaires. En règle générale, l'exposition aux odeurs doit être classée comme une nuisance grave si l'exposition totale aux odeurs  $EXP_{tot}$  dépasse la valeur limite d'exposition pertinente  $EXP_{lim}$  indiquée dans le tableau suivant. Ces valeurs limites sont des fréquences relatives d'heures d'odeur.

Les odeurs dans l'air ambiant ne peuvent être enregistrées que si elles peuvent être identifiées lors de la mesure sur le terrain ou dans les pronostics d'exposition aux odeurs au moyen de modèles de dispersion. Le concept d'odeur-heure est appliqué dans la ligne directrice VDI 3940 e Partie 1:2006 (VDI, 2006) où il est stylisé : « une heure d'odeur signifie une mesure unique évaluée positivement. Une seule mesure a un résultat positif si la fraction de temps pendant laquelle une odeur a été identifiée sans ambiguïté atteint ou dépasse une valeur de pourcentage prédéfinie (...) ».

Tableau 4.6 : Limites d'exposition  $EXP_{lim}$  pour différentes utilisations de zone

Zones résidentielles et mixtes	Zones commerciales et industrielles	Zones habitées
10%	15%	15%

Cela établit une vision active des polluants atmosphériques influençant les récepteurs, contrairement à la vision passive des récepteurs exposés aux polluants atmosphériques. Si cette différence sémantique est ignorée, les concentrations en air ambiant peuvent être interprétées comme une exposition (Allemagne, 2003).

Tableau 4.7 : Critères de durée-fréquence de l'impact d'odeur

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Tient compte du type de sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prend en considération d'autres questions que l'intensité qui peuvent déclencher des plaintes.</li> <li>• Il faut tenir en compte de l'intensité, de la durée, de l'emplacement et de la fréquence.</li> </ul>	<p><b>Besoins élevés en main-d'œuvre :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La prise en compte de toutes les variables peut prendre jusqu'à six mois.</li> <li>• Ne fonctionnerait pas pour les plaintes à court terme.</li> </ul> <p>Les coûts associés à la méthode peuvent être élevés.</p>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pourrait s'appliquer à l'impact de toutes les sources, y compris les installations pétrolières et gazières, les usines de pâtes et papiers, les usines chimiques, les raffineries et les centrales électriques.</li> <li>• Bon pour distinguer l'impact des différents types d'installations.</li> </ul>
	<p><b>Quantification :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse subjective, incluant les aspects à prendre en considération.</li> </ul>	<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Allemagne, quelques villages en Espagne.</li> </ul>
	<p><b>Caractère unique du protocole :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisé uniquement en Allemagne, donc pas aussi bien testé dans d'autres environnements.</li> <li>• Les documents de référence ne proviendraient que d'un seul pays (c'est-à-dire, plus difficile de déterminer ce qui fonctionne ou ne fonctionne pas ailleurs).</li> </ul>	<p><b>Choix des limites :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La durée et la fréquence devraient être définies ainsi que ce qui serait considéré comme acceptable.</li> <li>• La durée d'une enquête avec surveillance devrait être déterminée, en tenant compte de facteurs tels que le coût et l'exposition, et en prenant suffisamment de temps pour obtenir toutes les mesures nécessaires.</li> <li>• L'Allemagne distingue les limites pour différentes zones. Il peut être nécessaire d'envisager un zonage (industriel ou résidentiel).</li> </ul>

#### 4.5.- Critères de distances de séparation minimales

De nombreuses administrations gèrent les nuisances, y compris les odeurs, en utilisant des distances de séparation minimales ou des zones tampons, en particulier pour le secteur agricole.

Les distances de séparation ont tendance à être fixes ou variables, selon un certain nombre de facteurs. En général, des distances de séparation minimales sont appliquées aux sources agricoles, aux stations d'épuration des eaux usées et au compostage.

Tableau 4.8 (1/2) : Critères de distances de séparation minimales

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Planification future :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une fois la source établie, la planification urbaine serait simple quant à l'endroit où et où ne pas construire.</li> <li>• Les installations seraient en mesure de décider rapidement si des extensions pourraient ou ne pourraient pas avoir lieu.</li> </ul>	<p><b>Sources préexistantes :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il serait difficile de mettre en œuvre des sources et des installations déjà établies et les distances minimales de séparation qui ne sont pas actuellement respectées.</li> </ul>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être appliqué à de nouvelles sources.</li> <li>• Utilisé dans de nombreuses juridictions pour les sources agricoles, le traitement des eaux usées et le compostage.</li> <li>• Ne serait pas en mesure d'implémenter pour les sources existantes qui ne respectent pas la distance de séparation puisque la source est établie.</li> <li>• Si la distance de séparation avait déjà été établie, l'extension d'une installation existante pourrait être limité.</li> </ul>
	<p><b>Influence de l'environnement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne tient pas compte des conditions météorologiques qui peuvent causer des problèmes d'odeur sous le vent, tandis qu'un récepteur au vent peut ne pas remarquer d'odeur.</li> <li>• Un terrain complexe peut affecter la dispersion des odeurs qui ne seraient pas prises en compte dans la méthode de la distance de séparation minimale.</li> </ul>	<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alberta (pour le secteur agricole), Ontario (pour le secteur agricole), Australie-Méridionale (la plupart, sinon tous les secteurs), Autriche, France, Allemagne, ...</li> </ul>

Tableau 4.8 (2/2) : Critères de distances de séparation minimales

Forces	Faiblesses	Considérations
	<p><b>Mises à niveau de la source :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne tiendrait pas compte des investissements technologiques qu'une source pourrait mettre en œuvre pour réduire les odeurs.</li> </ul>	<p><b>Normalisation de toutes les sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il serait nécessaire de déterminer comment adapter la législation à toutes les installations.</li> </ul>
	<p><b>Capter l'odeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les distances de séparation n'atténueraient pas nécessairement tous les problèmes d'odeur.</li> <li>• Des distances trop conservatrices entraveraient les projets et les développements futurs autour des sources qui pourraient ne pas être nécessaires.</li> </ul>	

C'est un critère typiquement appliqué dans les installations d'élevage, les abattoirs, les usines de compostage, ...

#### 4.6.- Critères de plaintes d'odeur

La plupart des administrations ont mis en place un système pour répondre aux plaintes relatives aux odeurs. Dans de nombreux cas, il existe une politique pour répondre à toutes les plaintes. Dans certaines juridictions, les critères de plainte sont exprimés en termes de seuil minimum de plaintes requises avant qu'une enquête ne soit lancée ou qu'une odeur soit considérée comme une nuisance. D'autres administrations ont également des lignes d'assistance téléphonique pour les plaintes qui sont dotées en personnel par les organismes de réglementation ou un service de réponse avec du personnel formé pour poser aux plaignants certaines questions utilisées dans la documentation et le signalement des plaintes. Certaines administrations ont des règlements ou des lignes directrices sur la façon dont l'organisme de réglementation répondra aux plaintes. D'autres administrations précisent également clairement comment elles détermineront si une plainte est justifiée ou vérifiée. En règle générale, une fois qu'une plainte est jugée crédible, les organisations suivent leurs procédures d'enquête.

Tableau 4.9 (1/2) : Critères de plaintes d'odeur

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Applicable aux sources existantes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être appliqué à des installations déjà existantes.</li> </ul>	<p><b>Quantifiable :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différentes personnes réagissent aux odeurs à différents seuils.</li> <li>• Difficile de distinguer ce qui est acceptable / inacceptable pour différentes personnes.</li> </ul>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Appliqué à toutes les sources, assez souvent basées sur l'industrie.</li> <li>• Généralement combiné avec d'autres méthodes de quantification.</li> </ul>
<p><b>Prend en compte les récepteurs :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Donne le pouvoir au public.</li> <li>• Se concentre sur les zones où se trouvent les récepteurs.</li> <li>• Concentrez-vous uniquement sur les sources de préoccupation (c.-à-d. si une source n'a pas soulevé de préoccupation au sujet des récepteurs, aucun temps ou argent n'est investi dans une enquête).</li> <li>• Peut concentrer les investissements dans des domaines (à la fois financiers et de temps) où les préoccupations en matière d'odeurs sont prédominantes.</li> </ul>	<p><b>Relations avec les voisins :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La vérification des impacts peut conduire à l'exposition des récepteurs à des effets encore plus longs.</li> <li>• Des poursuites peuvent en résulter si des désaccords surviennent entre le plaignant et le propriétaire de la source sur ce qui constitue une odeur.</li> </ul>	<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De nombreuses villes ont des règlements administratifs associés aux plaintes relatives aux odeurs. (p.ex. : Metro Vancouver), Wellington (Nouvelle-Zélande), San Francisco, autres juridictions des États-Unis.</li> </ul>

Tableau 4.9 (2/2) : Critères de plaintes d'odeur

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Non spécifique à la source individuelle :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut être appliqué à toutes les sources.</li> </ul>	<p><b>Législation préventive :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cette méthode est réactive.</li> <li>• Peut être considéré comme une solution « pansement » qui ne résout pas le problème.</li> </ul>	<p><b>Participation et méthode de déclaration :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Certaines administrations utilisent un journal des odeurs pour les récepteurs publics afin d'enregistrer les détails sur une certaine période de temps. D'autres utilisent des formulaires de déclaration en ligne et/ou des numéros sans frais.</li> <li>• Une fois qu'une plainte est émise, l'étape suivante doit être identifiée.</li> <li>• Certaines juridictions répondent à chaque plainte, d'autres exigent que toutes les plaintes soient consignées, mais pas nécessairement suivies d'effet.</li> <li>• Certains exigent un seuil minimum de plaintes avant qu'une enquête ne soit lancée.</li> </ul>
<p><b>Pratique bien établie :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La plupart des administrations ont mis en place un système pour répondre aux plaintes relatives aux odeurs.</li> </ul>		<p><b>Rationalisation pour toutes les industries :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Étant donné qu'il existe déjà des procédures pour certains organismes en ce qui concerne les plaintes relatives aux odeurs, il est important de décider comment les mettre en œuvre pour tous les cas.</li> </ul>

#### 4.7.- Critères quantitatifs d'émission

Certaines administrations ont des critères d'émission quantitatifs pour des produits chimiques spécifiques.

En général, ces critères limitent les émissions d'odorants ou de produits chimiques spécifiques à la source et sont essentiellement des limites d'émission dans la cheminée.

Tableau 4.10 (1/2) : Critères quantitatifs d'émission

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Mesures :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Les tests de cheminée sont courants pour un certain nombre de contaminants et l'ajout de tests supplémentaires pour les normes d'odeur pourrait être inclus.</li> </ul>	<p><b>Capter l'odeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Les taux d'émission ne sont pas nécessairement synonymes de problèmes d'odeurs.</li> <li>Bien que des émissions élevées puissent être enregistrées, les conditions météorologiques, les températures, le terrain environnant, etc., peuvent influencer la dispersion des émissions.</li> <li>Ne tient pas compte de l'endroit où se trouvent les récepteurs ou si un problème d'odeur se produirait dans les lieux publics.</li> </ul>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Serait limité aux installations qui ont des émissions ponctuelles.</li> <li>Serait plus avantageux dans les nouvelles installations.</li> </ul>
	<p><b>Inclusion de toutes les sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ce serait difficile à faire pour une plainte individuelle ou pour une exploitation agricole où les émissions peuvent être plus réparties à la fois dans la région et dans le temps.</li> <li>Les taux d'émission peuvent être difficiles à mesurer à partir de sources non ponctuelles.</li> <li>Il serait difficile de quantifier les sources qui sont variables en raison de la teneur en matière organique (p. ex., les sites d'enfouissement, le compostage, ...).</li> <li>Difficile à déterminer dans les zones avec un grand nombre de sources produisant des composés similaires.</li> </ul>	<p><b>Méthodes d'échantillonnage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La surveillance préventive peut constituer un bon outil de relations communautaires, tandis que la surveillance réactive peut faire l'objet d'un examen plus minutieux.</li> </ul> <p>Il faudrait tenir compte de la moyenne du temps.</p>

Tableau 4.10 (2/2) : Critères quantitatifs d'émission

Forces	Faiblesses	Considérations
		<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En général, dans tous les pays, bien que dans de nombreux cas, cette approche ne tienne pas spécifiquement en compte les odeurs.</li> </ul>
		<p><b>Seuils d'odeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Il existe des centaines de composés responsables des odeurs. Il faudrait savoir comment la législation les prioriserait lorsqu'il est impossible de les mesurer ou de les considérer tous.</li> <li>Les mesures doivent se rapporter à la détection des odeurs au niveau des récepteurs publics.</li> </ul>

Tableau 4.11 : Exemples de limites de concentrations d'odorants en émission

Portée	Composé	Limite
<b>PUGLIA (Italie)</b>	H <sub>2</sub> S	1mg/m <sup>3</sup> (sources ponctuelles)
		0,2mg/m <sup>3</sup> (émissions diffuses)
	Sulfure de diméthyle	20mg/m <sup>3</sup> (sources ponctuelles)
		3mg/m <sup>3</sup> (émissions diffuses)
	Disulfure de diméthyle	20mg/m <sup>3</sup> (sources ponctuelles)
		3mg/m <sup>3</sup> (émissions diffuses)
<b>SHANGHAI (Chine)</b>	H <sub>2</sub> S	5mg/m <sup>3</sup>
	Sulfure de diméthyle	5mg/m <sup>3</sup>
	Disulfure de diméthyle	5mg/m <sup>3</sup>
	Méthyl mercaptan	0,5mg/m <sup>3</sup>

#### 4.8.- Critères technologiques : Meilleures Technologies Disponibles (MTD)

De nombreuses administrations exigent que les installations nouvelles ou existantes mettent en œuvre une technologie de contrôle considérée comme MTD ou des approches similaires qui permettent d'atteindre les niveaux requis du traitement des odeurs ou l'application de certaines bonnes pratiques de gestion. Ces exigences sont pour la plupart de nature qualitative. Bien que normalement on ne stipule pas quelles technologies ou pratiques de gestion doivent être utilisées, certaines administrations spécifient des technologies de contrôle ou des pratiques de gestion pour différents types d'installations.

Tableau 4.12 : Critères technologiques : Meilleures Technologies Disponibles (MTD)

Forces	Faiblesses	Considérations
<p><b>Proactif :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet aux meilleures pratiques de se produire sur le site.</li> <li>• Minimise le risque de plaintes d'odeurs en s'attaquant aux émissions sur place et à la source.</li> </ul>	<p><b>Capter l'odeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Même avec des précautions, l'odeur peut toujours être un problème.</li> <li>• Une technologie supplémentaire peut ne pas affecter le potentiel de problèmes d'odeurs, mais aura probablement un impact financier sur les entreprises.</li> <li>• Le terrain environnant, les conditions météorologiques, les températures, etc., peuvent influencer la dispersion des émissions.</li> <li>• Ne tient pas compte de l'endroit où se trouvent les récepteurs ou si un problème d'odeur se produirait dans les lieux publics.</li> </ul>	<p><b>Sources :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut s'appliquer davantage aux grandes installations (en raison du coût pour les installations individuelles).</li> <li>• Plus facile à mettre en œuvre pour les installations communes où de multiples mesures de contrôle technologique existent déjà.</li> <li>• Plus facile à mettre en œuvre pour les nouvelles facilités.</li> </ul>
<p><b>Direction claire :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'industrie connaîtrait les normes minimales avant les étapes de planification.</li> </ul>		<p><b>Juridictions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Europe (UE) ; Colorado ; Wellington, Nouvelle-Zélande.</li> </ul>
		<p><b>Définitions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Meilleure technologie de contrôle ?</li> <li>• Est-ce que cela change avec le temps ?</li> </ul>
		<p><b>Définition des limites :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il faut définir des critères pour la technologie.</li> <li>• Analyse coûts-avantages requise.</li> <li>• Gestion de la cage requise à mesure que les critères d'odeur évoluent ou que de nouvelles technologies deviennent disponibles.</li> </ul>

## **5.- ASPECTS GÉNÉRAUX SUR LES ÉTUDES DES ODEURS ENVIRONNEMENTALES**

Ce chapitre présente d'une manière panoramique les principales manières pour aborder l'étude des odeurs environnementales, tant en termes d'émissions que de concentrations en air ambiant.

.

### **5.1.- Sur les facteurs qui influencent l'impact des odeurs**

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 le 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.

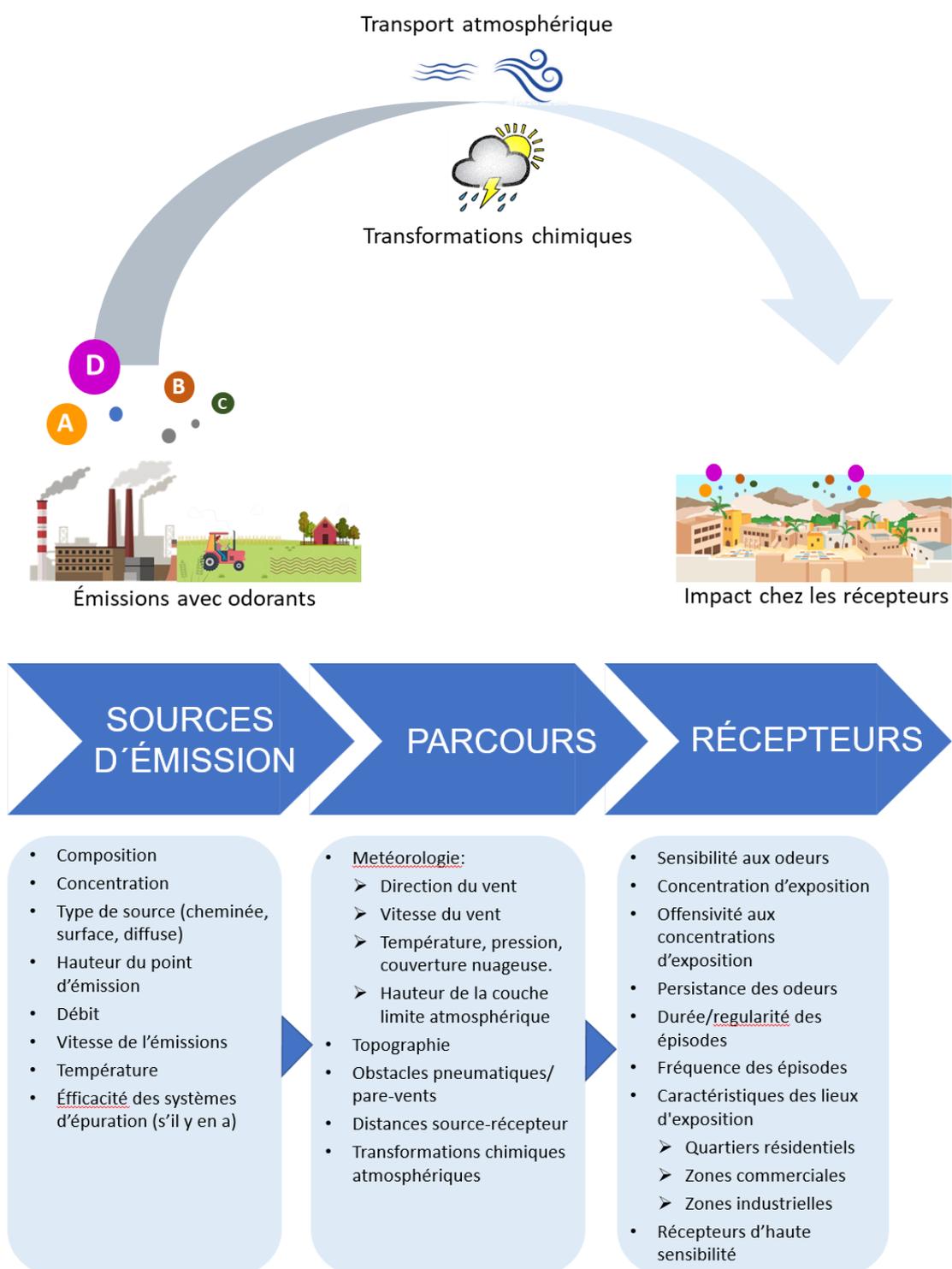


Figure 5.1: Schéma de développement des impacts des odeurs

### 5.1.1.- Considérations sur les sources d'émission par rapport aux impacts olfactifs

En ce qui concerne les sources d'émission, il est important avoir de l'information sur les aspects suivants:

- identifier les sources d'émission d'odeurs tels que :
  - cheminés et événements ;
  - sources de surface (STEP, bassins et terrains de stockage),
  - sources d'émissions diffuses et fugitives (fuites, évacuation des halls ou de conteneurs, ...)
- connaître (au moins) la présence et les niveaux quantitatifs des odorants les plus importants dans les émissions de chaque source ;
- faire attention aux émissions diffuses et fugitives ;
- tenir compte du fait que, pour une intensité d'odeur qualitative similaire, les émissions avec un débit plus élevé contribueront davantage à l'impact des odeurs ;
- dans le cas d'émissions focalisées, une plus grande dispersion atmosphérique de ces émissions et, par conséquent, un impact odoriférant de moindre importance se produiront lorsque la hauteur du point d'émission et la vitesse de ces émissions seront plus élevées ;
- envisager l'application des Meilleures Technologies Disponibles (MTD) tant en ce qui concerne la production (en réduisant les émissions de substances odorantes) que les traitements de désodorisation ;
- optimiser la ventilation des compartiments fermés où il existe un air ambiant avec de fortes implications d'odeur ;
- considérer l'opportunité de couvrir les sources superficielles ;
- appliquer des traitements d'épuration d'odeurs suffisamment efficaces pour réduire l'impact olfactif jusqu'à ce qu'il soit tolérable.

### 5.1.2.- Considérations sur le transport atmosphérique par rapport aux impacts olfactifs

Les principaux facteurs affectant le transport atmosphérique et la dispersion sont les suivants :

- la distance entre les sources et les récepteurs, avec une vigilance supplémentaire requise pour les récepteurs à haute sensibilité, tels que les récepteurs résidentiels ;
- les conditions météorologiques, en particulier la hauteur de la couche limite atmosphérique, la fréquence et vitesse du vent soufflant vers les récepteurs et l'apparition de calmes ;
- la topographie entre les sources et les récepteurs (par exemple, une vallée en pente descendante entre la source et le récepteur peut intensifier l'impact).

Il est nécessaire aussi de prendre en compte les suivants aspects :

- l'opportunité d'effectuer des simulations prospectives de l'impact des émissions d'odeurs provenant d'installations existantes ou prévues. À cet égard, il convient de tenir compte du fait que la concentration d'odeur isolée ne peut pas être utilisée comme seul outil pour déterminer le niveau d'impact chez les récepteurs. Une concentration d'odeur mesurée ne tient pas compte spécifiquement de l'intensité ou du caractère offensant. Les odeurs considérées comme agréables ou désagréables peuvent être attribuées à la même concentration d'odeurs, mais la réponse de la population à l'odeur sera différente. Cependant, une évaluation de la gamme complète des propriétés olfactives est nécessaire pour comprendre la réponse physiologique et psychologique d'un individu ou d'une population ;
- l'existence de récepteurs à haute sensibilité comprend les hôpitaux, les crèches, les maisons de retraite, les commerces, les écoles... Les installations présentant un potentiel d'émissions odorantes situées à proximité de ce type de récepteurs auront généralement besoin d'un degré élevé de contrôle des odeurs ;
- l'opportunité d'établir des distances minimales entre les installations à fortes émissions odorantes et les récepteurs potentiels.

5.1.3.- De la formation des émissions odoriférantes aux plaintes d'odeur

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



Figure 5.2 : Séquence de génération de problèmes odorants

## 5.2.- Aspects généraux sur les systématiques des études d'odeurs

Lors de l'étude des problématiques des odeurs est nécessaire de prendre en compte une double perspective

- dans quel lieu l'étude sera réalisée (où des échantillons seront prélevés)?
- avec quelle méthodologie ?

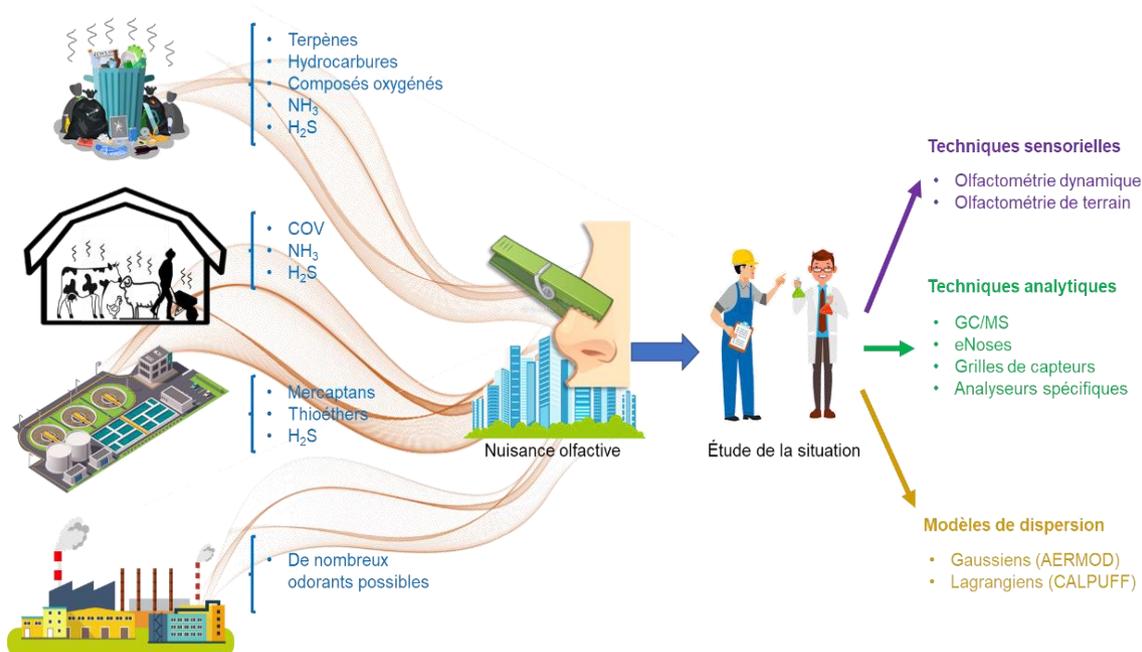


Figure 5.3 : Des émissions à la caractérisation des odeurs

## 5.3.- Étude des émissions odoriférantes des sources d'émission

Un aspect très important qui détermine le choix des formes d'étude des odeurs Il se résume aux options suivantes :

- réalisation de mesures des émissions prélevées aux sources ;
- dans les situations où l'accès aux sources d'émission n'est pas possible, des études sur la qualité de l'air à la périphérie des installations candidates peuvent également être réalisées.

**Note :** Il faut tenir compte du fait que si bien la caractérisation des émissions odoriférantes est toujours préférable, les deux options ne s'excluent pas mutuellement et même, en cas d'épisodes de puanteur très graves, elles sont nécessairement complémentaires.

Les stratégies d'étude mentionnées ci-dessus sont expliquées dans les sections suivantes.

Les études d'odeurs peuvent être réalisés sur la base de la 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 (voir le chapitre 10 de ce guide).

Du point de vue de la base métrologique de mesure, l'étude des odeurs et de leur impact peut être réalisée par des techniques sensorielles (olfactives) et/ou encore avec des méthodes d'analyse chimique. Le schéma suivant résume les principales techniques de mesure des odeurs et/ou des odorants.

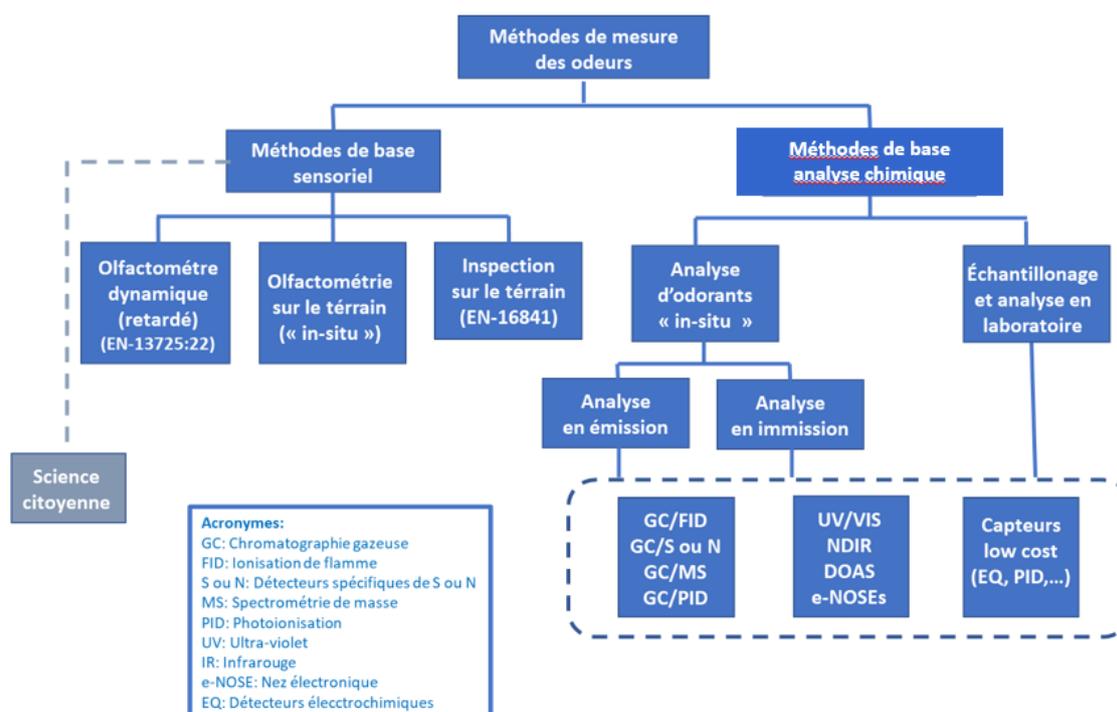


Figure 5.4 : Principales techniques pour mesurer les odeurs

#### 5.4.- Méthodologie des études d'odeur à partir des sources d'émission

La figure suivante montre un aperçu du processus typique (et pratique) à suivre pour mener une étude d'impact odoriférante soit d'une usine industrielle ou d'une infrastructure de traitement environnemental (STEP, installations d'équarrissage, décharges, ...). Il faut ajouter que dans ce cas, il est considéré que les sources d'émission sont accessibles.

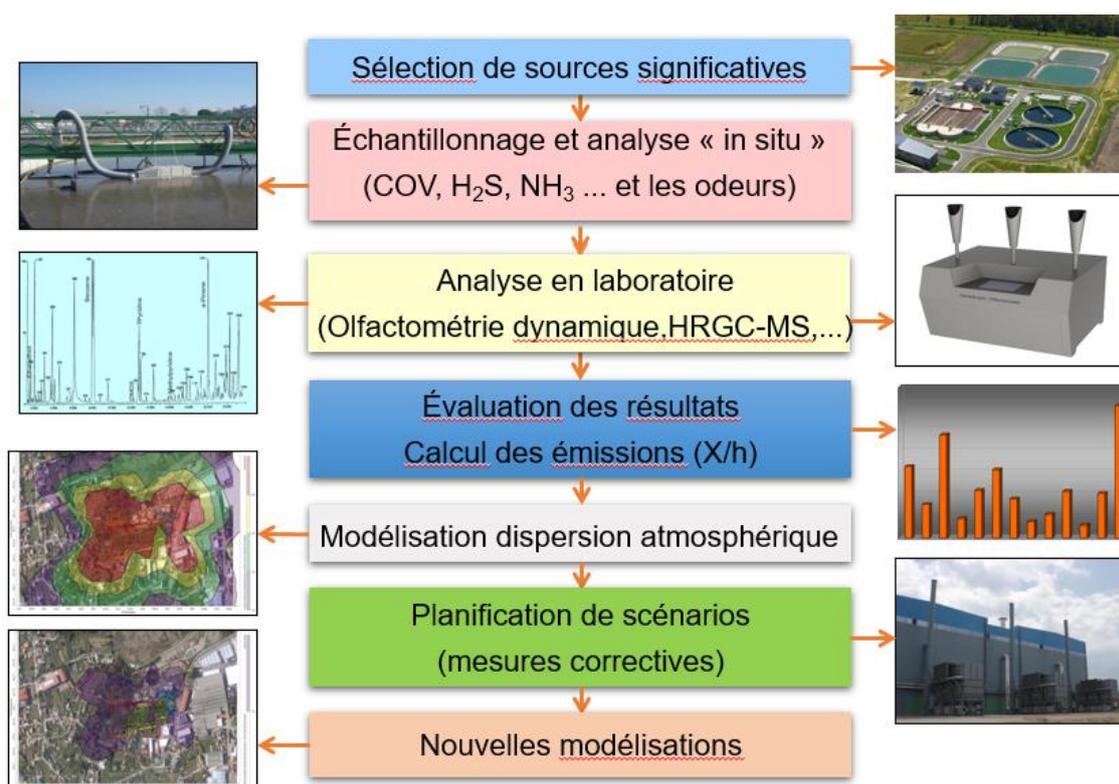


Figure 5.5 : Opérations à réaliser afin de déterminer et d'évaluer l'impact odoriférant d'une installation

### 5.5.- Etude de l'impact odoriférant à partir des récepteurs

Les alternatives d'étude de l'impact des odeurs sans avoir accès aux sources d'émission sont les suivantes :

- étude de traceurs odoriférants spécifiques en air ambiant au moyen de :
  - captations actives ;
  - captations passives ;
- olfactométrie instrumentale sur le terrain ;
- inspection sur le terrain (Normes EN-16481-1 et 2) ;
- mesure instrumentale « in-situ » d'aucuns odorants présélectionnés (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, ...) ;
- installation de réseaux d'analyseurs ou capteurs low-cost en air ambiant ;
- échantillonnage des odorants cibles et analyse ultérieure en laboratoire ;
- gestion et investigations des plaintes d'odeurs (avec la possibilité d'application de plateformes télématiques) ;

- enregistrement et évaluation d'observations télémétriques périodiques ou sporadiques des caractéristiques des odeurs (descripteurs, niveaux d'intensité semi-quantitatifs, ...) ;
- combinaison de différentes approches.

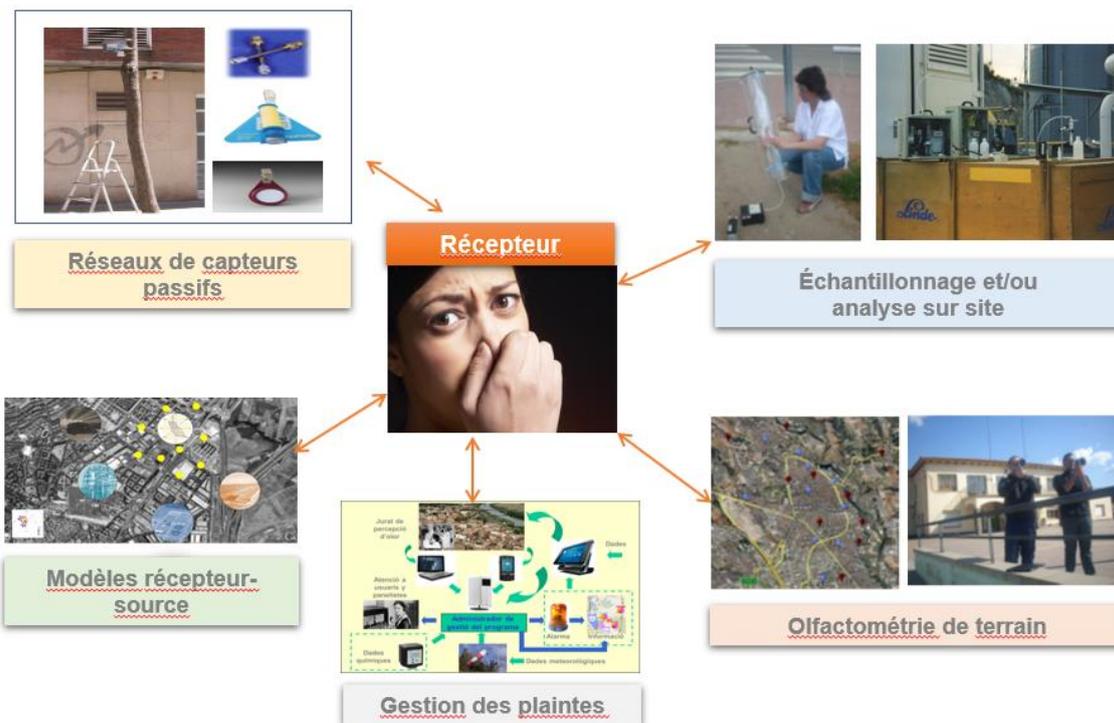


Figure 5.6 : Alternatives pour étudier les odeurs dans l'air ambiant

Les chapitres suivants de ce guide décrivent en détail les opérations correspondant aux systèmes de prélèvement et à l'analyse des odeurs et des principaux odorants et aussi la détermination de l'impact odoriférant par modélisation ou observations sur le terrain.

## 6.- ÉCHANTILLONNAGE POUR L'ETUDE DES ODEURS

### 6.1.- Introduction

Lors de la conception de campagnes d'échantillonnage ou de mesures « in situ », d'un point de vue général, il est nécessaire de considérer l'importance de pouvoir assurer autant que possible la représentativité des échantillons qui ont été obtenues et/ou des données collatérales.

Dans le cas des émissions, pour pouvoir planifier les travaux, il faut tenir compte la représentativité du processus dont les émissions sont objet de mesure et/ou d'échantillonnage et des conditions physiques (comme le débit et les conditions de température et humidité), la représentativité des concentrations des odorants et la représentativité temporelle.

D'autre part, en ce qui concerne les études en air ambiant, aux facteurs décrits précédemment pour les émissions, il est nécessaire d'y ajouter la représentativité de l'emplacement des points (ou grilles) de mesure « in-situ » ou d'échantillonnage et la représentativité des conditions météorologiques au moment des mesures ou de l'échantillonnage.

### 6.2.- L'échantillonnage dans les études d'odeurs et d'odorants

Cette section décrit les méthodes les plus utilisés pour l'échantillonnage des odeurs :

- méthode d'aspiration indirecte ou de poumon ;
- méthode de prédilution dynamique à la source ;
- méthode du tunnel ventilé (pour surfaces avec émissions passives) ;
- méthode de la hotte (pour surfaces avec émissions passives).

Les techniciens responsables des échantillonnages doivent choisir la méthode la plus appropriée en fonction d'une évaluation préliminaire de chaque source individuelle.

#### [Échantillonnage à l'aide de la méthode « pulmonaire »](#)

La « méthode pulmonaire » utilise une enceinte extérieure rigide et étanche à l'air dans laquelle un sac d'échantillonnage d'air est placé. Ce sac est relié à la ligne d'échantillonnage à l'extérieur du conteneur. La pompe (interne ou externe) d'aspiration permet l'évacuation du conteneur rigide. Afin d'équilibrer la pression négative, le sac se remplira à travers la ligne d'échantillonnage à la même vitesse à laquelle le conteneur est évacué. La figure suivante montre un schéma et une image de cette opération.

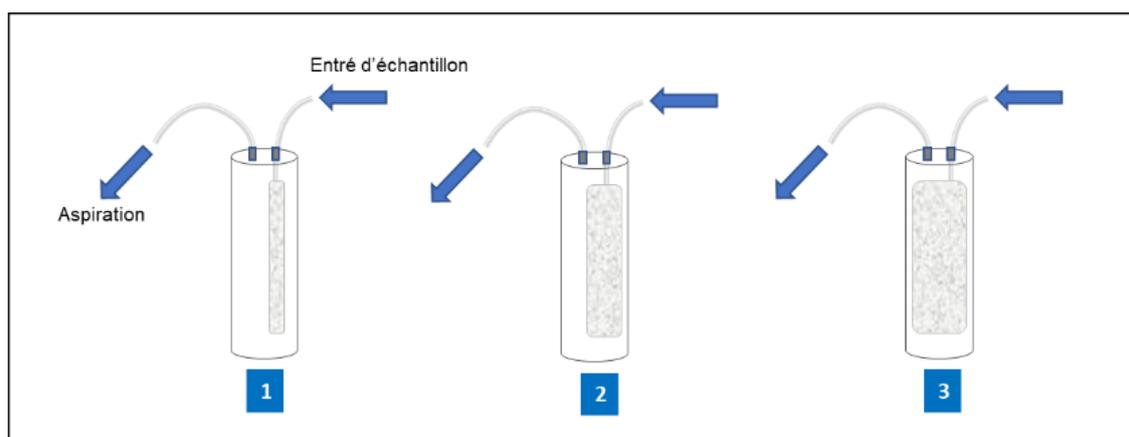


Figure 6.1: Schéma du processus d'échantillonnage en sacs par aspiration indirecte

### Pré-dilution pendant l'échantillonnage

Une pré-dilution du flux de gaz odorants avec du gaz neutre doit être appliquée afin :

- d'éviter la condensation dans l'équipement d'échantillonnage ou les tubes ;
- d'éviter la condensation dans les sacs d'échantillons dans des conditions d'échantillonnage ou de stockage et de transport ;
- de limiter la diffusion des composants odorants du sac ;
- de réduire les concentrations potentiellement dangereuses de composants à un niveau acceptable ;
- de réduire la température de l'échantillon.

### Nombre d'échantillons

Des échantillons suffisants doivent être prélevés pour s'assurer que le flux de gaz odorants est correctement quantifié

Selon l'annexe F de la version actuelle de la norme EN 13725, pour un résultat moyen de  $1000 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ , à partir d'un essai de 3 répétitions d'échantillons (vraisemblablement identiques), l'intervalle de confiance à 95% serait délimité par une limite inférieure de  $633 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  et une limite supérieure de  $1580 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ , et c'est le critère de compromis accepté dans le document susmentionné.

### 6.3.- Échantillonnage selon les caractéristiques des sources d'émission

La stratégie d'échantillonnage dans chaque cas dépendra des caractéristiques des sources d'émission dont la classification est présentée dans la figure suivante.

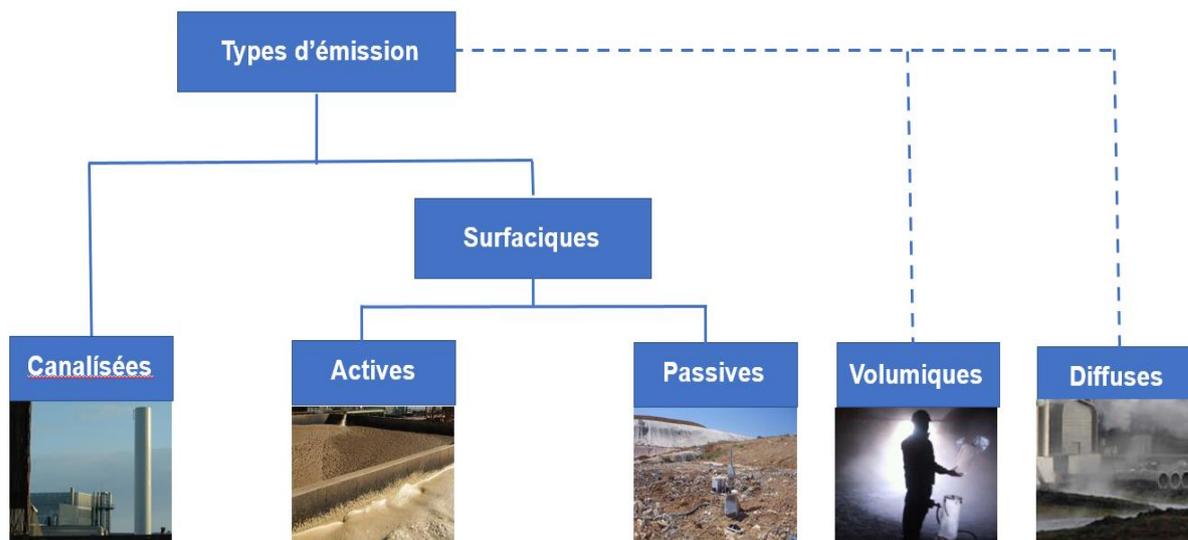


Figure 6.3 : Types d'émissions atmosphériques selon quelques caractéristiques des sources

### 6.4.- Échantillonnage des émissions canalisées dans sources ponctuelles

L'échantillonnage des émissions canalisées d'une source ponctuelle peut être effectué à l'aide d'un train d'échantillonnage composé d'une sonde thermostatée (ou non, si ce n'est pas nécessaire), et d'un tube de distribution avant le système de prélèvement d'échantillons. Cette opération peut être effectuée, selon les besoins, sans ou avec dilution.

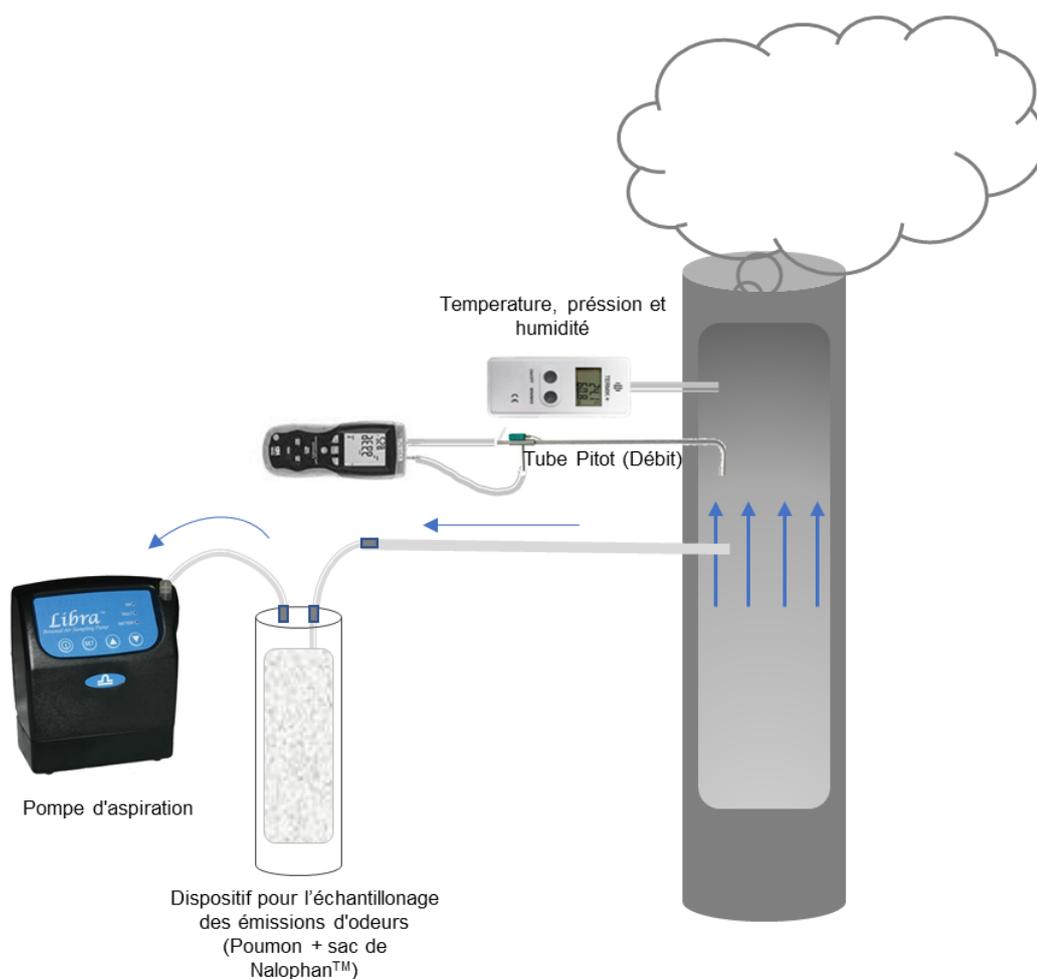


Figure 6.4 : Schéma d'échantillonnage d'une émission canalisée sans dilution



Figure 6.5 : Images de captations d'échantillons pour l'analyse de la concentration d'odeur en émissions canalisées sans dilution

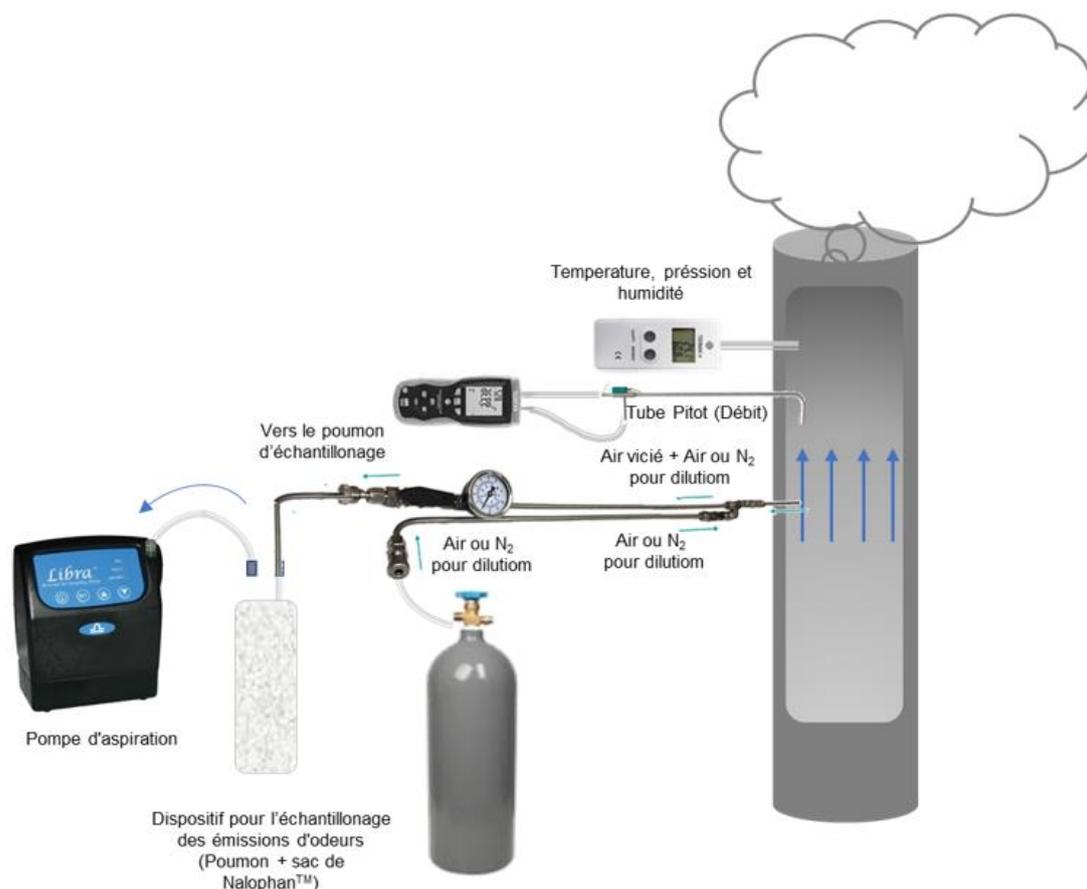


Figure 6.6 : Schéma d'échantillonnage d'une émission canalisée avec dilution dynamique

## 6.5.- Échantillonnage des sources surfaciques

Les principaux types de sources surfaciques sont :

- les sources de surface d'émission active avec écoulement intrinsèque vers l'extérieur (p.ex. les bassins d'aération des STEP) ;
- les sources de surface d'émission passive sans écoulement vers l'extérieur (p.ex. les clarificateurs des STEP).

Afin de différencier ce type de sources, il est nécessaire de prendre en compte que les sources de surface avec une vitesse d'émission  $v > 0,008\text{m/s}$  sont (par convention) considérées comme des sources actives et doivent être échantillonnées en conséquence. Les sources diffuses avec des vitesses de sortie inférieures sont considérées comme des sources diffuses passives.

### 6.5.1.- Critères d'échantillonnage pour les sources actives

Cette méthode d'échantillonnage utilise une hotte d'échantillonnage passive conçue pour produire une résistance minimale au flux d'air naturel des sources (dispositif valable tant pour les biofiltres que pour les réacteurs biologiques des STEP), tout en

canalisant le flux de gaz à travers d'un conduit à section suffisamment petite pour produire des débits gazeux mesurables. Un appareil d'échantillonnage pulmonaire sous vide est utilisé conjointement avec la hotte d'échantillonnage pour prélever des échantillons d'odeurs dans son conduit d'échappement. Voir les détails et exemples dans les figures suivantes.

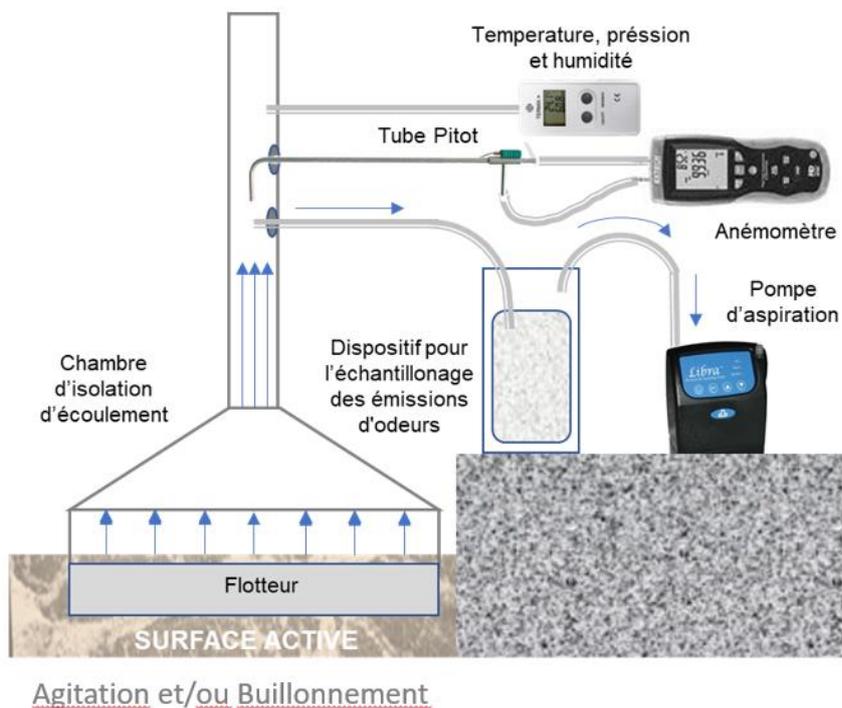


Figure 6.7 : Échantillonnage dans un source surfacique d'émission active



Figure 6.8 : Échantillonnage des émissions de deux STEP : réacteur biologique (gauche) et biofiltre (droite)

### 6.5.2.- Échantillonnage d'émissions passives des sources surfaciques

La norme ne prescrit pas de méthode standard pour mesurer le débit spécifique d'émission d'odeur pour les sources passives (en anglais on utilise l'acronyme SOER du Specific Odour Emission Rate). Ce paramètre fait référence à la quantité d'odeur émise par unité de surface et par unité de temps.

Les émissions d'odeurs provenant de sources passives sont causées par le transfert de masse (émanation) d'odorants volatils de la surface du liquide ou solide vers l'atmosphère d'où ils sont mobilisés et dispersés par l'action du vent.

La méthode d'échantillonnage est principalement entraînée par une convection forcée, c'est-à-dire le transfert de masse dû à l'action du vent sur la surface. C'est généralement le cas des sources liquides passives.

Il y a différents dispositifs pour réaliser le prélèvement d'échantillons qui proviennent des surfaces avec des émissions passives comme par exemple les chambres de flux et les tunnels de vent (aussi appelés boîte Lindvall), la surface isolée est balayée par l'insufflation d'un flux d'air contrôlé préalablement filtré pour la désodorisation (voir les schémas ci-dessous).

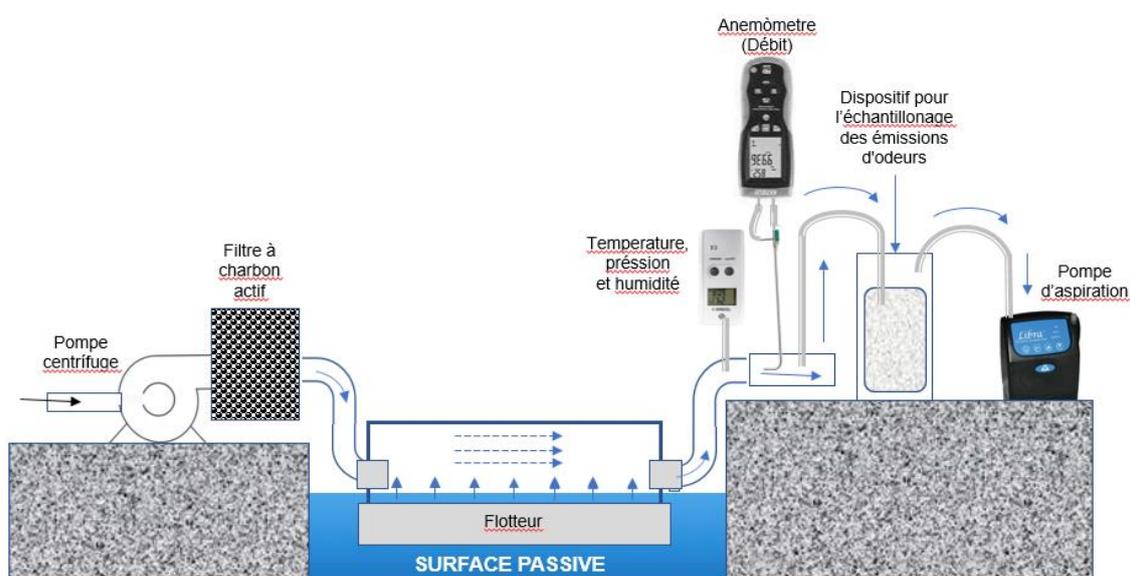


Figure 6.9 : Échantillonnage d'une surface d'émission passive avec un tunnel de vent



Figure 6.10 : Échantillonnage de l'émission d'un bassin (gauche) et de l'émission d'une pile de fumier de vache

## 6.6.- Échantillonnage d'odorants

D'un point de vue opérationnel, il convient de distinguer le cas des odorants inorganiques typiques tels que le H<sub>2</sub>S et l'ammoniac du cas des composés organiques volatils (COV).

Le tableau 6.1 montre différentes méthodologies proposées par l'Agence de l'environnement du Royaume-Uni pour l'échantillonnage et l'analyse « in-situ » des odorants

Tableau 6.1 (1/2) : Techniques proposées par l'Agence de l'environnement du Royaume-Uni pour l'échantillonnage et l'analyse de différents odorants

Substances	Méthode d'échantillonnage	Analyse	Méthodes alternatives
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	Échantillonnage : EN ISO 21877 Absorption dans l'acide sulfurique dilué	Laboratoire : Spectrophotom. UV-Vis Chromatographie ionique Potentiométrie d'électrode sélectif	In-situ : CEN TS 17337 Spectrophotométrie FTIR Extractive
Aldéhydes C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>	Échantillonnage : CEN TS 13649 Échantillonnage : NIOSH 2016 Tubes de gel de silice imprégnés de DNPH	Laboratoire : TD-GC-MS (à l'exclusion de C1) Laboratoire : Désorption acétonitrile HPLC (C18) -UV (360nm)	In-situ : Analyse in situ PTR-MS In-situ : CEN TS 17337 Spectrophotométrie FTIR Extractive
Amines	Échantillonnage : NIOSH 2010 DMA et DEA Tubes de gel de silice	Laboratoire : Désorption Méthanol + US Analyse : GC-FID ou GC/MS	In-situ : CEN TS 17337 Spectrophotométrie FTIR Extractive
Sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S)	Échantillonnage : Method 701 Intersociety Committee Train d'« impingers » avec NaOH 0,0001M+cadmiun sulfate	Laboratoire : Réaction avec diméthyl-p-phénylèndiamine Analyse : Spectrophotométrie VIS (670nm)	Échantillonnage : NIOSH 6013 Tubes à charbon actif Désorption : NH <sub>4</sub> OH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Laboratoire : Analyse comme sulfate par Chromatographie ionique In-situ : USEPA 15 Portable GC-FPD
Sulfure de carbone	Échantillonnage : CEN TS 13649 NIOSH 1600 Tubes à charbon actif	Laboratoire : TD-GC-MS Laboratoire : Désorption Toluène Analyse : GC-FPD	In-situ : USEPA 15 Portable GC-FPD
Sulfure de carbonyle		In-situ : USEPA 15 Portable GC-FPD	In-situ : CEN TS 17337 Spectrophotométrie FTIR Extractive
Acides carboxyliques volatils	Échantillonnage : CEN TS 13649 NIOSH 1603 (acide acétique) Tubes à charbon actif	Laboratoire : TD-GC-MS Laboratoire : Désorption acide formique GC-FID	In-situ : CEN TS 17337 Spectrophotométrie FTIR Extractive (pour formique, acétique, propanoïque et acrylique)

Tableau 6.1 (2/2) : Techniques proposées par l'Agence de l'environnement du Royaume-Uni pour l'échantillonnage et l'analyse de différents odorants

Substances	Méthode d'échantillonnage	Analyse	Méthodes alternatives
Mercaptans (C <sub>1</sub> -C <sub>4</sub> )	Échantillonnage : CEN TS 13649 Échantillonnage extractif sur un tube d'adsorption, avec désorption et analyse ultérieures. Échantillonnage : NIOSH 2542 Absorption dans un filtre imprégné de l'acétate de mercure.	Laboratoire : TD-GC-MS Laboratoire : GC-FPD Désorption : HCl+MeCl <sub>2</sub>	
Phénols et crésols	Échantillonnage extractif sur résine absorbante XAD-7 Échantillonnage : NIOSH 2546	Laboratoire : GC-FID Désorption : Méthanol	
Composés soufrés réduits totaux (TRS)	Échantillonnage Extraction + transformation thermique du soufre en SO <sub>2</sub> qui est absorbé au milieu d'H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Laboratoire : Analyse : titrage par la méthode USEPA 6 (Ba-Thorine)	

### 6.7.- Prélèvement d'échantillons pour l'analyse de Composés Organiques Volatiles (COV) odorants

En ce qui concerne les systèmes de captage d'échantillons, ceux-ci sont basés sur le stockage et le maintien pendant un certain temps d'une quantité d'échantillon dans son intégralité (c'est-à-dire, sans dégradation et/ou adsorption irréversible sur les parois correspondantes) dans des récipients appropriés (p.ex.: « canister », sacs en PTFE,...) ou la fixation d'une fraction d'intérêt par absorption, adsorption... sur différents supports (solutions de captage, tubes de charbon actif ou de Tenax<sup>TM</sup>,...). Les échantillons gazeux et/ou les fractions volatiles fixes sont transférés par divers procédés (aspiration, extraction solide-liquide, désorption thermique, ...) au système chromatographique où se produisent la séparation et la quantification des composés correspondants.



Figure 6.11: Exemples de conteneurs d'échantillons gazeux complets. Sac de Nalophan<sup>TM</sup> (gauche) et canister en inox passivé (droite)



Figure 6.12 : Images de tubes d'adsorption des COV pour désorption thermique et un tube de charbon actif pour désorption par moyen de solvants

#### Tubes d'échantillonnage de COV pour extraction par solvant (typiquement CS<sub>2</sub>)

Le tube absorbant, rempli de charbon actif comme adsorbant, doit présenter les caractéristiques suivantes :

- une couche adsorbante principale contenant 100mg de charbon actif avec un bouchon en laine de verre à l'avant du tube ;
- une couche d'adsorbant de sécurité pour détecter la percée, contenant 50mg de charbon actif séparé de la couche avant.

Les tubes absorbants doivent être utilisés conformément aux instructions du fabricant afin d'éviter les fuites et les pertes d'échantillons. Les tubes en carbone ouverts ou usagés ne doivent pas être réutilisés.

#### Tubes d'échantillonnage de COV pour l'analyse par moyen de désorption thermique accouplée à la chromatographie en phase gazeuse et à la spectrométrie de masse (TD-GC-MS)

Des informations détaillées sur la sélection des sorbants pour les méthodes de désorption thermique sont données dans la norme EN ISO 16017-1.

Dans le suivant tableau certains adsorbants sont montrés pour l'échantillonnage des COV en air ambiant en fonction de la polarité et de la volatilité des analytes.

Tableau 6.1 : Applicabilité de différents adsorbants pour l'échantillonnage des COV atmosphériques

Source : <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-11/documents/to-17r.pdf>

Sorbant de tube d'échantillonnage	Plage de volatilité approximative des analytes	Max. Temp., (°C)	Surface spécifique, (m <sup>2</sup> /g)	Exemple d'analytes
Carbotrap C® Carbopack C® Anasorb® GCB2	n-C <sub>8</sub> a n-C <sub>20</sub>	>400	12	Alkylbenzènes et aliphatiques dont la volatilité varie de n-C à n-C.
Tenax® TA	bp 100°C a 400°C n-C <sub>7</sub> a n-C <sub>26</sub>	350	35	Aromatiques à l'exception du benzène, composants apolaires (pb>100EC) et composés polaires moins volatils (pb>150 EC).
Tenax GR	bp 100°C a 450°C n-C <sub>7</sub> a n-C <sub>30</sub>	350	35	Alkylbenzènes, HAP en phase vapeur et PCB et comme ci-dessus pour Tenax TA.
Carbotrap ® Carbopack B® Anasorb® GCB1	(n-C <sub>4</sub> ) n-C <sub>5</sub> a n-C <sub>14</sub>	>400	100	Large gamme de COV inc, cétones, alcools et aldéhydes (bp>75EC) et tous les composés apolaires dans la plage de volatilité spécifiée. Plus fréons.
Carbosieve SIII*® Carboxen 1000*® Anasorb® CMS*	-60°C a 80°C	400	800	Bon pour les composés ultra volatils tels que les hydrocarbures C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub> , les haloformes volatiles et les fréons.

### Conditions d'échantillonnage

Dans tous les cas, le volume, la durée et la fréquence de l'échantillonnage doivent être suffisants pour garantir que les données quantitatives obtenues sont représentatives de la concentration moyenne de composés dans les gaz résiduaux pendant la durée du procédé surveillé ou pendant la période d'échantillonnage.

La surcharge des tubes ou la percée de l'échantillon doit être contrôlée par une analyse séparée de la deuxième section (tubes à charbon actif) ou des tubes témoin secondaires (désorption thermique). La percée maximale autorisée est de 5% de la concentration globale.

Si les données analytiques obtenues à partir de la deuxième couche ou du tube secondaire (de secours) sont inférieures à la limite de détection, il est admis qu'il n'y a pas de percée.

D'autres techniques d'intérêt consistent en effectuer un sous-échantillonnage des COV pris dans un sac de Nalophan ou de Tedlar par adsorption avec des fibres SPME et désorption thermique directe ultérieure dans l'injecteur du chromatographe en phase gazeuse ou encore l'extraction d'une aliquote gazeuse au moyen d'une seringue à gaz et l'injection directe de ladite aliquote au chromatographe en phase gazeuse. La figure suivante illustre les opérations indiquées ci-dessus.



Figure 6.13 : Images de sous-échantillonnage des COV avec une fibre de SPME (gauche) et avec une syringe de gaz (droite)

## 7.- OLFACOMÉTRIE DYNAMIQUE POUR L'ÉVALUATION RETARDÉE DES ODEURS

### 7.1.- Introduction

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 eux il faut mentionner le suivant :

- Norme européenne EN-13725:2022 (en leur édition française par AFNOR) a nommé comme Norme NF EN 13725 «Qualité de l'air - Détermination de la concentration d'une odeur par olfactométrie dynamique et le taux d'émission d'odeur» (pendante de publication au moment de la rédaction du présent Guide). 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 du 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.

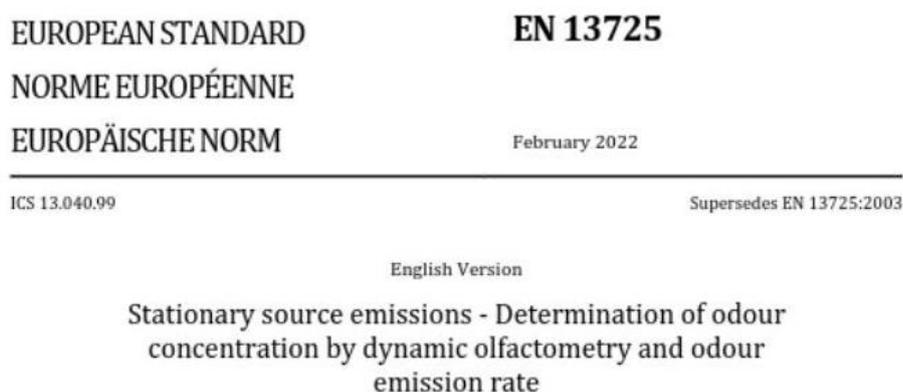


Figure 7.1 : Couverture de la nouvelle version de la norme 13725:2022

## 7.2.- Détermination de la concentration d'odeur par olfactométrie dynamique (selon la norme EN-13725:2022)

L'olfactométrie dynamique est une technique sensorielle normalisée permettant de mesurer les concentrations d'odeurs à l'aide de l'odorat humain. Il est lié à la sensation causée par un échantillon directement sur un panel de personnes sélectionnées adéquatement (le « jury de nez »).

La base métrologique de la concentration d'odeurs consiste en la concentration établie par olfactométrie dynamique, équivalente à la réponse d'un étalon avec l'EROM (European Reference Odour Mass) évaporée en  $1\text{m}^3$ , équivalent à  $0,040\text{mmol/m}^3$  de n-butanol ( $\cong 40\text{ ppbV} = 123\mu\text{g n-butanol/m}^3$ ).

En bref, a niveau pratique, la procédure est la suivante : des échantillons d'air odorant sont prélevés à la source de l'odeur dans des sacs adaptés à cette fin (voire la section 6.7), et après sont transportés au laboratoire, où l'analyse est effectuée en présentant l'échantillon au jury de nez à des concentrations croissantes (en réalisant une série de dilutions décroissantes), au moyen d'un dispositif de dilution appelé olfactomètre, jusqu'à ce que les membres du jury puissent détecter une odeur différente de l'air de référence.

Le résultat de cette mesure est la concentration d'odeur de l'échantillon, exprimée en unités d'odeur européennes par mètre cube ( $\text{ou}_E/\text{m}^3$ ). Cela représente le facteur de dilution (calculé par interpolation à partir des données expérimentales) qui doit être appliqué à l'échantillon afin que son odeur soit perçue par 50% des membres du jury de nez. Ainsi, si l'échantillon doit être dilué 100 fois avec de l'air pur (inodore) afin que 50% des membres du jury de nez ne puisse plus percevoir l'odeur (c'est à dire que, pour l'échantillon soumis à l'essai, le seuil olfactif du panneau a été atteint), cela signifie que l'échantillon a une concentration de  $100\text{ou}_E/\text{m}^3$ .

Il convient de noter que, en ce qui concerne la mesure de la concentration d'odeur de l'échantillon, peu importe le profil odoriférant (« qu'est-ce que ça sent ? ») ou le ton hédoniste « est-ce que l'odeur est agréable ou non ».

Enfin, il faut indiquer que les membres du jury de nez sont préalablement qualifiés sensoriellement en fonction de leur réponse à un étalon de n-butanol, et doivent présenter une valeur moyenne de sensibilité olfactive (ce qui implique que les personnes atteintes d'hyperosmie ou d'hyposmie seront exclues du panel) et montrer une grande précision de réponse.

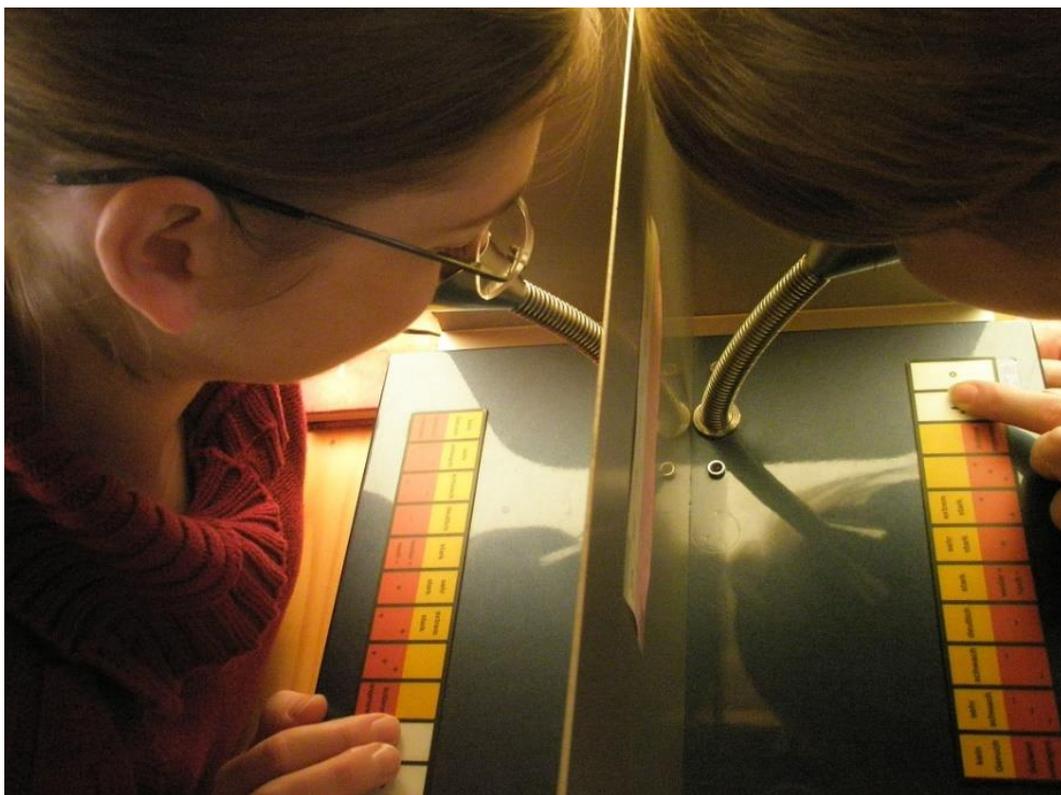


Figure 7.2 : Image d'une mesure de la concentration d'odeur au moyen de l'olfactométrie dynamique (Source : Wikimedia)

### 7.3.- Réalisation de l'analyse olfactométrique

L'essai est effectué à partir des sacs contenant les échantillons gazeux qui sont introduits par aspiration dans l'olfactomètre dynamique et soumis à différents niveaux de dilution contrôlés par un gaz neutre (air désodorisé) et évalués par les membres du jury de nez qui doivent discerner s'ils perçoivent ou non une odeur dans les présentations de l'échantillon ou dans ses différentes dilutions de cette dernière. Il faut ajouter qu'à chaque session, la capacité sensorielle des panélistes est testée pour s'assurer qu'elle est maintenue, et si l'un d'eux ne respecte pas la tolérance requise, il doit être remplacé.

#### 7.4.- Quelques commentaires sur la performance et la limitation de l'olfactométrie dynamique (selon les critères de la norme EN 13725:2022)

Il faut considérer que l'olfactométrie dynamique, en raison de ses caractéristiques opérationnelles, est l'une des techniques les plus utilisées internationalement pour l'étude des problèmes d'odeurs et de leur impact. Comme on peut le voir dans le chapitre 4 de ce guide, plusieurs réglementations exigent des limites basées sur la concentration d'odeur (voir tableau 4.3).

Par conséquent, d'un point de vue pratique, certaines caractéristiques et limitations intrinsèquement associées à l'olfactométrie dynamique doivent être prises en compte.

- la concentration d'odeur déterminée par olfactométrie dynamique est un paramètre qui est spécifiquement basé sur la sensation qui est destinée à être mesurée ;
- les concentrations d'odeurs déterminées par olfactométrie dynamique dans des échantillons d'émissions atmosphériques expriment combien de fois ces émissions doivent être diluées pour que seulement 50% de la population puisse percevoir leur odeur ;
- au moyen de l'olfactométrie dynamique (comme seul outil d'étude), il n'est pas possible de distinguer les odorants responsables d'une certaine odeur ;
- bien qu'il soit possible de déterminer l'efficacité d'épuration des odeurs en se basant exclusivement sur les données des concentrations à l'entrée et à la sortie d'un système de traitement des émissions, on doit préciser que ces systèmes purifient des substances réelles et non des sensations, ce qui est très important lors du choix de la technologie ;
- l'incertitude du test est assez élevée ;
- il convient de noter qu'une limite réaliste de quantification de l'olfactométrie dynamique est d'environ  $15 \text{ ou}_E/\text{m}^3$  (cependant, cette valeur peut varier selon les différents laboratoires). Ce fait implique l'impossibilité de mesurer, avec une qualité acceptable, des concentrations d'odeurs telles que celles qui commencent déjà typiquement à provoquer une gêne (limites comprises entre 1 et  $10 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ ) ;
- l'olfactométrie dynamique a l'inconvénient d'être une méthode de mesure discontinue, et, pour cette raison, il ne peut pas être utilisé pour surveiller en permanence les émissions d'odeurs.

## 8.- ANALYSE DES ODORANTS

Il est nécessaire de prendre en compte qu'un large éventail d'approches méthodologiques et technologiques applicables à l'analyse des composés odorants sont disponibles, à la fois en émission et en air ambiant, de sorte qu'elles doivent être sélectionnées en fonction des besoins de chaque cas.

Cette section identifie et compare les caractéristiques générales de ces techniques, leur applicabilité et leurs avantages et limites.

### 8.1.- Détermination d'odorants en émission

Les options applicables pour l'analyse des composés odorants et/ou d'autres paramètres collatéraux en émissions comprennent :

- la capture ponctuelle des émissions dans les sources et analyse d'odorants spécifiques ou « criblage » des considérés comme principaux ;
- l'emploi d'analyseurs continus spécifiques de certains odorants :  $H_2S$ ,  $NH_3$ , ...
- l'emploi d'analyseurs continus de familles d'odorants : par exemple, les composés soufrés volatils (VSC) ;
- l'emploi d'analyseurs continus de COV spécifiques ou à large spectre.

Les principales formes d'étude des odorants dans les émissions sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 8.1 : Comparaison de différentes méthodologies de mesure continue des odeurs et des odorants dans les émissions

Méthodologie	Sensibilité	Limitations/commentaires	Possibilité d'analyse continue et représentation et gestion on-line des données
Analyseurs continus spécifiques de certains odorants typiques : par exemple H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> (par, absorption UV, chimiluminescence, spectroscopie à cavité optique résonante avec transmission par faisceau laser, ...)	Bonne  H <sub>2</sub> S : LOQ 1-5ppb  NH <sub>3</sub> : LOQ 1ppb	Pour une source unique d c'est une solution coûteuse.  Possibilité d'attacher un « multiplexeur » pour analyser dans plusieurs sources séquentiellement.  Peut-on avoir besoin un pré conditionnement des échantillons.  Le coût d'un analyseur est moyen-élevé pour une source unique. Avec un « multiplexeur » à 6-8 voies, le coût peut devenir assez favorable.	Analyse continue : Oui  Représentation on-line : Oui
Analyseurs continus de familles d'odorants : par exemple composés soufrés volatils, VSC (chromatographes de phase de processus avec détecteurs sélectifs)	14 VSC LOQ 1-10ppb	Peut-on avoir besoin un pré conditionnement des échantillons.  Possibilité d'attacher un « multiplexeur » pour analyser dans plusieurs sources séquentiellement.  Le coût est moyen-élevé pour une source unique. Avec un « multiplexeur » à 6 voies, le coût est assez favorable.	Analyse continue : Oui  Représentation on-line : Oui
Analyseurs continus à large spectre de COV odorants spécifiques ou (exemple FTIR, MS, GC-MS, ...)	Haute sensibilité  Dépend du volume d'échantillon capturé  LOQ <sub>COV</sub> 1-50ppb	Dans certains cas, la complexité instrumentale est très élevée.  Coût élevé ou très élevé.	Analyse continue : Oui  Représentation on-line : Uniquement pour des analytes spécifiques
Nez électroniques	20-100ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> (calculé)		Analyse continue : Oui  Représentation on-line : Oui (par exemple, calculé comme ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> )

## 8.2.- Détermination d'odorants en air ambiant

Les stratégies applicables pour la détermination d'odorants en air ambiant sont les suivantes :

- la mise en place de réseaux passifs d'échantillonnage des différents odorants ;
- l'échantillonnage et analyse de polluants spécifiques ;
- l'emploi d'analyseurs continus spécifiques de certains odorants : par exemple H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> ;
- l'emploi d'analyseurs continus de COV spécifiques ou à large spectre ;
- l'installation des capteurs (« low-cost ») individuels ou en forme de réseau, pour la mesure, généralement, d'H<sub>2</sub>S, mercaptans, NH<sub>3</sub>, VOC<sub>tot</sub> (en fait, il s'agit d'un détecteur PID).

Les tableaux suivants comparent les caractéristiques et les performances des différentes options pour la caractérisation et la détermination de l'impact odoriférant du point de vue de l'émission et de l'air ambiant.

Tableau 8.2 : Comparaison de différentes méthodologies pour mesurer les odeurs et les odorants en air ambiant par analyse chimique en laboratoire

Méthodologie	Sensibilité	Limitations/commentaires
Mise en place de réseaux de collecte passive	Bonne (mais dépend du temps d'exposition) H <sub>2</sub> S : LOQ <sub>(24h)</sub> 1ppb NH <sub>3</sub> : LOQ <sub>(24h)</sub> 1ppb VOC : LOQ <sub>(24h)</sub> Dépend du temps d'exposition et de la technique d'analyse. Typiquement <1ppb	Pour les expositions prolongées (plusieurs jours afin d'avoir une sensibilité élevée), il faut considérer l'existence d'une perte d'information sur les pics possibles de contamination et les moments où ils peuvent se produire. Capacité à détecter des composés toxiques inattendus (lorsque des techniques permettant d'effectuer un balayage d'un grand nombre de composés sont utilisées). Dans ce cas, un laboratoire expert est nécessaire. Bien que le coût unitaire soit modéré, s'il est pratiqué de manière récurrente (en tant qu'exigence de l'administration ou en tant que bonne pratique environnementale), à la fin, cette option peut s'avérer coûteuse. Il est nécessaire de connaître le « taux d'échantillonnage » (« sampling rate ») des différents composés analysés.
Collecte en temps opportun des émissions et analyse de polluants spécifiques ou « dépistage »	Bonne (mais dépend du volume d'échantillon prélevé) H <sub>2</sub> S : LOQ 1-10ppb NH <sub>3</sub> : LOQ 10ppb COV <sub>(HRGC-MS)</sub> : 1µg/m <sup>3</sup>	Besoin d'expertise dans la sélection tant de la méthode de prélèvement que de l'analyse Parfois, par exemple pour couvrir l'étude d'une large gamme d'odorants, on a besoin d'effectuer l'échantillonnage et l'analyse en appliquant des méthodes diverses. Incertitude moyenne-élevée. Bien que le coût unitaire soit modéré, s'il est pratiqué de manière récurrente (comme une exigence de l'administration ou comme une bonne pratique environnementale), cela peut finir par supposer un coût élevé.

**REMARQUE : Ces techniques ne permettent pas l'analyse continue ou la représentation et gestion on-line des données**

Tableau 8.3 (1/2) : Comparaison de différentes méthodologies pour mesurer les odeurs et les odorants en air ambiant

Méthodologie	Sensibilité	Limitations/commentaires	Possibilité d'analyse continue et représentation et gestion on-line des données
Réseaux de capteurs low-cost (dans le cas des STEP, typiquement H <sub>2</sub> S et NH <sub>3</sub> ).	Insuffisant pour satisfaire le seuil olfactif du H <sub>2</sub> S H <sub>2</sub> S : LOQ 10-20ppb NH <sub>3</sub> : LOQ 100ppb COV <sub>tot</sub> : LOQ 10ppb	Grande incertitude et faible précision pour des concentrations proches aux limites de quantification qui, par ailleurs, sont même parfois trop élevées pour les seuils olfactifs de certains odorants. Durée de vie des capteurs ≤1-2 ans. Influence environnementale (de la température et de l'humidité). Le coût d'un capteur est faible. Mais si on doit installer, par exemple, des réseaux de 6-8 capteurs de 2-3 paramètres, le coût peut devenir assez important.	Analyse continue : Oui Représentation on-line : Oui, mais uniquement en tant qu'indicateurs de mesure en air ambiant
Analyseurs continus spécifiques de certains odorants typiques : p. ex. H <sub>2</sub> S et / ou NH <sub>3</sub> (absorption UV, spectroscopie à cavité optique résonante avec transmission par faisceau laser, chimiluminescence, ...).	Bonne H <sub>2</sub> S : LOQ 1-5ppb NH <sub>3</sub> : LOQ 1ppb	Le coût d'un analyseur est moyen-élevé. Avec un « multiplexeur » à 6-8 voies, le coût peut être assez favorable par rapport aux réseaux de capteurs même à faible coût.	Analyse continue : Oui Représentation on-line : Oui
Analyseurs continus de familles d'odorants : par exemple composés soufrés volatils, VSC (chromatographes de processus avec détecteurs sélectifs).	14 VSC LOQ 1-10ppb	Peut-on avoir besoin un pré conditionnement des échantillons. Possibilité d'attacher un « multiplexeur » pour analyser plusieurs sources séquentiellement. Le coût est moyen-élevé pour une source unique. Avec un « multiplexeur » à 6 voies, le coût est assez favorable.	Analyse continue : Oui Représentation on-line : Oui
Analyseurs continus de COV odorants spécifiques ou à large spectre (GC-MS).	Haute Dépend du volume d'échantillon capturé LOQ <sub>COV</sub> 0,1-2ppb	Dans certains cas, complexité instrumentale très élevée. Il est nécessaire d'avoir de l'expertise Coût élevé ou très élevé. Ils sont généralement installés sur des unités mobiles.	Analyse continue : Oui Représentation on-line : uniquement pour des analytes spécifiques

Tableau 8.3 (2/2) : Comparaison de différentes méthodologies pour mesurer les odeurs et les odorants en air ambiant

Méthodologie	Sensibilité	Limitations/commentaires	Possibilité d'analyse continue et représentation et gestion on-line des données
Nez électroniques.	<p>20-100ou/m<sup>3</sup> (calculé)</p> <p>Dépend de la configuration des capteurs de l'équipement et du type d'odeur</p>	<p>Capteurs sensibles à l'humidité, ce qui peut impliquer qu'il est essentiel de préconditionner les échantillons.</p> <p>Besoin d'étalonnage face à l'olfactométrie dynamique ce qui implique de devoir contraster avec les deux techniques de nombreux échantillons/motifs en parallèle avec les coûts associés à cette opération. Les résultats finaux viennent à exprimer une sorte d'unités de concentration d'odeurs plus ou moins spécifiques par rapport à la configuration des capteurs électroniques du nez électronique.</p> <p>Sensibilité insuffisante pour les épisodes réels d'odeur en air ambiant dont la plage est &lt;10ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>.</p> <p>Interférences possibles (non odoriférantes) qui peuvent donner un signal dans les capteurs du nez électronique.</p> <p>Durée de vie des capteurs des nez électroniques : ≤1-2 ans.</p> <p>Coûts modérés.</p>	<p>Analyse continue : Oui</p> <p>Représentation on-line : Oui (par exemple, calculé comme ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>)</p>

### 8.3.- Échantillonnage et analyse en laboratoire

Il existe un large éventail de méthodologies pour la caractérisation des odorants basée sur l'échantillonnage et l'analyse ultérieure en laboratoire. Le choix de la technique à appliquer dépendra, principalement, des composés à déterminer, de leur concentration (estimé « a priori ») et des caractéristiques de l'émission.

Le Tableau suivant présente un résumé des techniques susceptibles d'application pour la capture et l'analyse, en laboratoire, de composés organiques volatils (COV) avec des caractéristiques odoriférantes. La stratégie opérationnelle des techniques analytiques appliquées « in situ » ou en laboratoire, avec des variantes, est très similaire.

Tableau 8.4 : Techniques d'analyse des composés odoriférants en émission ou en air ambiant

Technique	Exemple d'application
Spectrophotométrie UV-Vis	Ammoniac, sulfure d'hydrogène, ... dans des solutions absorbantes
Potentiométrie avec des électrodes spécifiques	Solutions absorbantes d'ammoniac
Chromatographie ionique (mode cationique)	Solutions absorbantes d'ammoniac
Chromatographie en phase gazeuse à haute résolution (HRGC) avec ionisation de flamme (FID), capture d'électrons (ECD), azote/phosphore (NPD), flamme photométrique (FPD), photoionisation (PID), absorption infrarouge avec détecteurs à transformée de Fourier (FTIR)	Pour des familles spécifiques de substances ayant des caractéristiques structurales définies (par exemple, COV halogénés avec HRGC-ECD)
HRGC avec détecteur de spectrométrie de masse (HRGC-MS)	Analyse des composés ou familles cibles, analyse de "dépistage"
Chromatographie liquide avec détecteurs UV ou Diode Array HPLC-UV (ou DAD)	Carbonyles (aldéhydes et cétones)

### 8.4.- Analyse « in situ »

Comme indiqué ci-dessus, il existe plusieurs méthodologies qui permettent d'effectuer l'analyse de spéciation des odorants « in situ ». Ces techniques ont des plages de mesure, des sensibilités, des sélectivités et des capacités spatiales variées.

Les principes fondamentaux des différentes techniques disponibles pour la détermination de différents analytes odoriférants dans des échantillons « in situ » dans les émissions et/ou l'air ambiant sont décrits sous :

- Tubes colorimétriques : il s'agit de cartouches remplies d'un adsorbant imprégné d'un réactif qui réagit plus ou moins spécifiquement en donnant lieu à une coloration colorée avec les analytes d'intérêt (par exemple, l'ammoniac, l' $\text{H}_2\text{S}$ , ...)

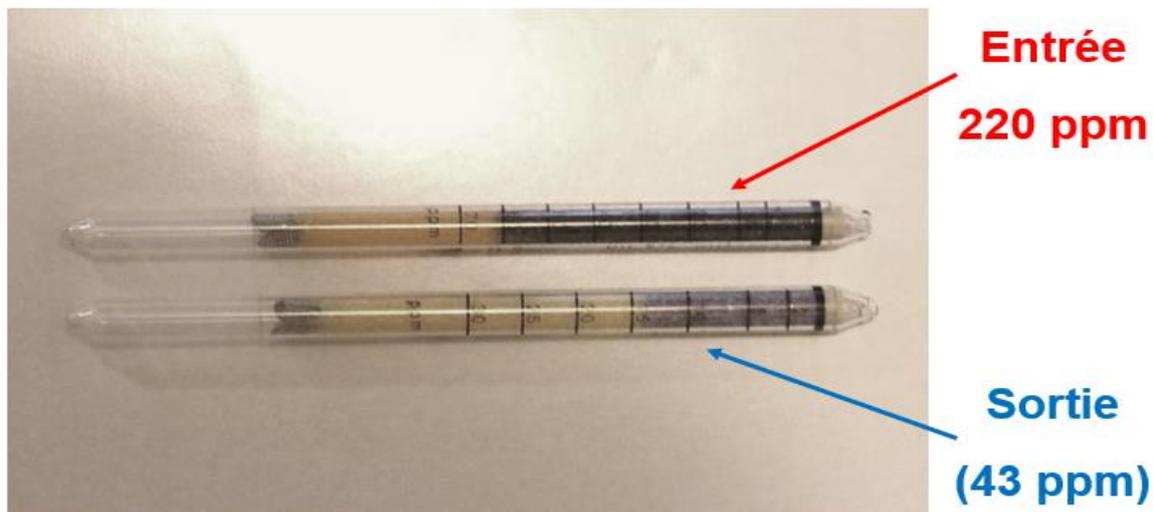


Figure 8.1 : Analyse « in-situ » d'ammoniac avec des tubes colorimétriques à l'entrée et à la sortie d'un système d'oxydation avec plasma non thermique pour le traitement des émissions d'odeur d'un processus de séchage des lixiviats d'une décharge

- Analyseurs de feuille d'or pour  $\text{H}_2\text{S}$  : Les composés soufrés réduits (sulfure d'hydrogène et mercaptans) de l'échantillon gazeux impactent sur une feuille d'or et un courant électrique proportionnel à la quantité de sulfures collectés est généré. La limite de quantification de ce type d'analyseurs est très faible, en particulier 0,003ppmV de  $\text{H}_2\text{S}$  (du même ordre que le seuil de détection olfactive correspondant).



Figura 8.2 : Analyseur portable d' $\text{H}_2\text{S}$  Jerome J605

- Spectromètres de masse portables : C'est une technique par laquelle les substances peuvent être identifiées en raison des différences entre les profils des fragments moléculaires des ions originaires et séparés par un champ électrique et magnétique.

L'intérêt de l'application des spectromètres de masse (fixes ou portables) réside dans la capacité de ces techniques à fournir des résultats qualitatifs et quantitatifs simultanés de multi composants très rapidement et avec la possibilité d'éviter l'influence d'éventuelles interférences de substances présentes dans la matrice (parfois la majorité). Ces systèmes ont un LOQ  $\cong$  50ppb.

- Systèmes GC couplés à des spectromètres de masse portables (GC-MS portables) ou sur le terrain : Avec ces systèmes, les COV des échantillons peuvent être caractérisés directement sur le terrain à la fois qualitativement et quantitativement.
- Systèmes GC avec différents détecteurs (FID, PID, FPD, FTIR ...) : Pour l'analyse de groupes définis de COV (ou même H<sub>2</sub>S pour le cas du détecteur FPD).



Figure 8.3 : Analyse « in-situ » de COT en une usine alimentaire avec un analyseur FID portable

- Détecteurs de spectroscopie de mobilité ionique : Cette technique consiste en l'ionisation (à pression atmosphérique) des molécules de COV de l'échantillon dans un chambre de réaction par rayonnement bêta provenant d'une source de Ni<sup>63</sup>. Les ions traversent un champ électrique faible et sont dirigés vers un détecteur d'ions et sont identifiés en fonction du temps qu'il faut pour atteindre le détecteur. À titre d'exemple de performance, on peut indiquer que jusqu'à 0,03mg/m<sup>3</sup> de gaz sarin peut être détecté directement de manière suffisamment fiable.
- Détecteurs de photoionisation (PID) : L'analyse avec les détecteurs PID est réalisée par ionisation des COV ou du sulfure d'hydrogène par l'action de lampes UV à moyenne-haute énergie. Normalement, ils ne fournissent que des informations globales sur la composition de l'échantillon.

- Détecteurs électrochimiques et catalytiques (Pellistors) : Les Pellistors sont des systèmes constitués de deux électrodes, le détecteur (constitué d'un fil de platine inséré dans un lit catalytique) et l'élément de référence (sans lit catalytique). Les deux électrodes font partie d'un pont de Wheatstone (chauffé à 500°C) qui produit un signal lorsque les deux résistances diffèrent. Les gaz ne s'oxydent que dans le détecteur, ce qui produit une chaleur qui augmente la résistance électrique proportionnelle à la concentration du gaz correspondant.

Les capteurs électrochimiques se composent également de deux électrodes qui se trouvent dans une chambre en contact avec l'électrolyte. Lorsque le gaz entre en contact avec l'électrode de travail, une réaction d'oxydation ou de réduction se produit en fonction du gaz., et alors un courant électronique proportionnel à la concentration du gaz se produit dans la direction de la contre-électrode (et vice versa).

- Nez électroniques : Sont des instruments qui répondent aux composés volatils d'un échantillon par la production d'un profil caractéristique des signaux électriques induits dans les capteurs intégrés. Les capteurs peuvent être de type électrochimique (oxyde métallique ou polymériques), IR ..., et sont sélectionnés en fonction de l'application pour répondre le plus sélectivement possible aux composants de l'échantillon.



Figure 8.4 : Batterie de capteurs d'un nez électronique (gauche). Installation d'un équipements à faible coût pour l'analyse du  $H_2S$  et du  $NH_3$  dans l'air ambiant (droite)

### 8.5.- Comparaison des différentes techniques d'analyse

Le tableau suivant présente une comparaison des caractéristiques des différentes techniques d'analyse, ainsi que de leurs avantages et inconvénients.

Tableau 8.6 : Exemple de comparaison des différentes techniques d'analyse des odeurs et des odorants dans les émissions des sources 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 (en ce qui concerne la conformité des limites en air ambiant officielles typiques de 1 à 10 ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ou OAV équivalent)	Sensibilité insuffisante dans la pratique pour mesurer des échantillons de problèmes d'odeurs en air ambiant (LDL ≥ 15 ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> )	Sensibilité généralement insuffisante pour les limites d'odeurs typiques en air ambiant (LDL ≥ 10 ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> )	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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 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	Élevé lorsque les COV sont déterminés par HRGC-MS	Spécifique pour les composés cibles VSC et NH <sub>3</sub> (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 (en plus de l'incertitude propre à la mesure, il porte également celle appartenant à l'olfactométrie dynamique)	Élevé 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)
Viellissement des capteurs	n.a.	1-3 ans	1-2 ans	n.a.	Jusqu'à 10 ans
Mesure « in situ »	Non	Oui	Oui	No (typiquement)	Oui
Mesure continue	Non	Oui	Oui	No (typiquement)	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 <i>ratio</i> 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 NH <sub>3</sub> 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

## 9.- STIPULATION DE L'IMPACT DES ÉMISSIONS D'ODEURS PAR MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

### 9.1.- Introduction

Les modèles de dispersion établissent l'impact odorifère des émissions d'une installation. Ceux-ci utilisent des équations mathématiques, définissant l'atmosphère, la dispersion et les processus physiques et chimiques pour calculer les valeurs de concentration d'odeurs, dans un domaine spatio-temporel assigné, au niveau des récepteurs entourant la source d'émission.

Une approche couramment utilisée pour évaluer l'impact des odeurs d'une source ou d'un groupe de sources consiste à :

- déterminer leurs taux d'émission d'odeur au moyen d'une campagne d'échantillonnage et d'analyse par olfactométrie dynamique ;
- modéliser la dispersion des odeurs à l'aide de ces taux d'émissions d'odeurs.

La figure suivante montre un schéma des étapes d'un processus de modélisation de la dispersion atmosphérique :

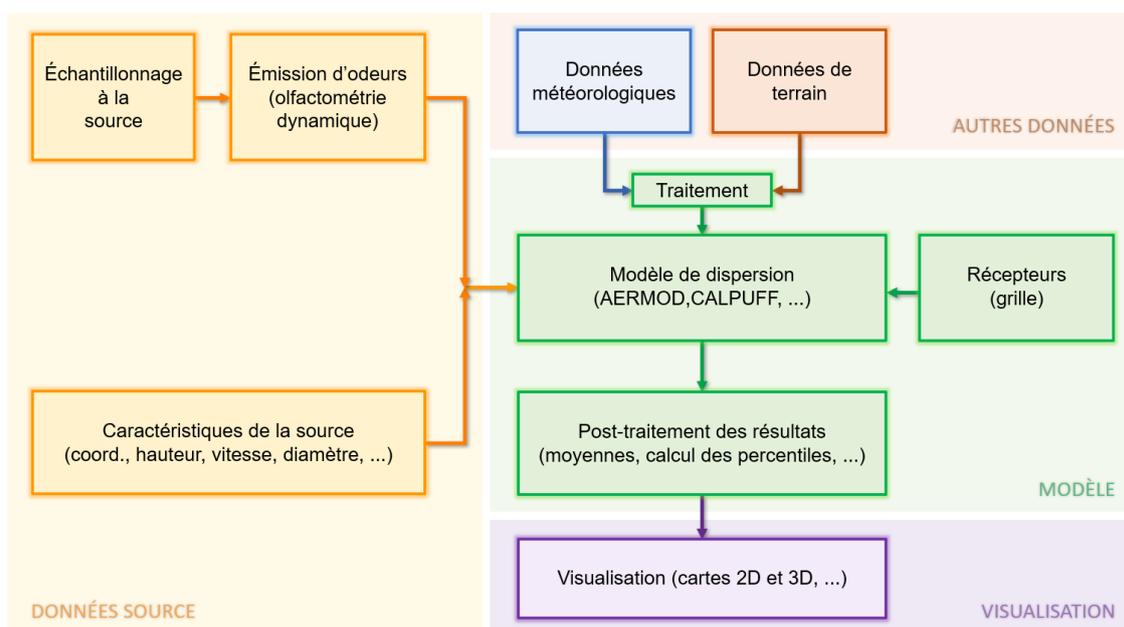


Figure 9.1 : Schéma d'un processus de modélisation atmosphérique

En général, la modélisation de la dispersion atmosphérique peut être utilisée pour atteindre différents objectifs :

- déterminer les impacts sur les odeurs que les unités existantes ou proposées auront autour d'une certaine installation ;
- calculer les distances approximatives de sécurité à respecter pour les nouvelles unités et les installer de manière appropriée ;

- estimer l'émission maximale d'odeurs autorisées et les techniques de réduction qui empêcheront les plaintes d'odeurs ;
- modéliser en temps réel à l'aide des données d'émissions actuelles d'analyseurs et/ou capteurs, nez électroniques, ...
- prédire les impacts des odeurs dans un proche avenir en utilisant les données météorologiques des pronostics ;
- calculer les trajectoires « a posteriori » des odeurs et des polluants à partir du point d'impact afin d'identifier les sources possibles de l'émission.

Il existe de nombreux modèles de dispersion différents (tels que ISC, AERMOD, AUSTAL, CALPUFF, ADMS5, HYSPLIT, ...) appartenant à plusieurs familles. Chacun utilise des approches différentes de la modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants et des odeurs : modèles gaussiens, modèles lagrangiens, eulériens, stochastiques, ...

Les modèles de dispersion les plus couramment utilisés sont AERMOD et CALPUFF (un modèle gaussien et un modèle lagrangien), tous deux développés par la U.S.A EPA et ayant un statut réglementaire aux États-Unis jusqu'en 2017.

Plusieurs facteurs influencent le choix du modèle tels que l'échelle spatiale et temporelle de l'analyse, la résolution temporelle demandée pour l'évaluation d'impact, la complexité du domaine, la variabilité et la disponibilité des données météorologiques et d'émissions de l'air. Il est important de travailler avec un modèle connu et familiarisé.

Une fois que le post-traitement des résultats est finalisé et que les moyennes et les percentiles appropriés sont calculés, les données sont prêtes à être représentées dans un format de visualisation. Les résultats pour chaque niveau de concentration sélectionné peuvent ensuite être représentés dans une ligne d'iso-odeur, qui à son tour définit une zone où les concentrations au sol sont égales ou inférieures à la concentration de la ligne d'iso-odeur correspondante.

Ces zones sont généralement visualisées en les superposant sur une carte ou une photographie satellite de la zone afin de mettre en évidence l'étendue de l'impact odoriférant de la source.

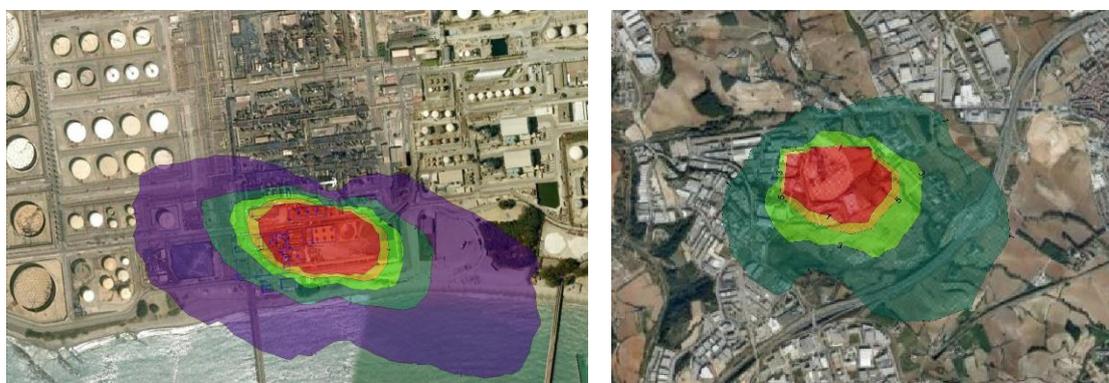


Figure 9.2 : Modélisation de l'impact odoriférant de la STEP d'une usine de raffinage de pétrole (gauche) et d'une industrie alimentaire (droite).

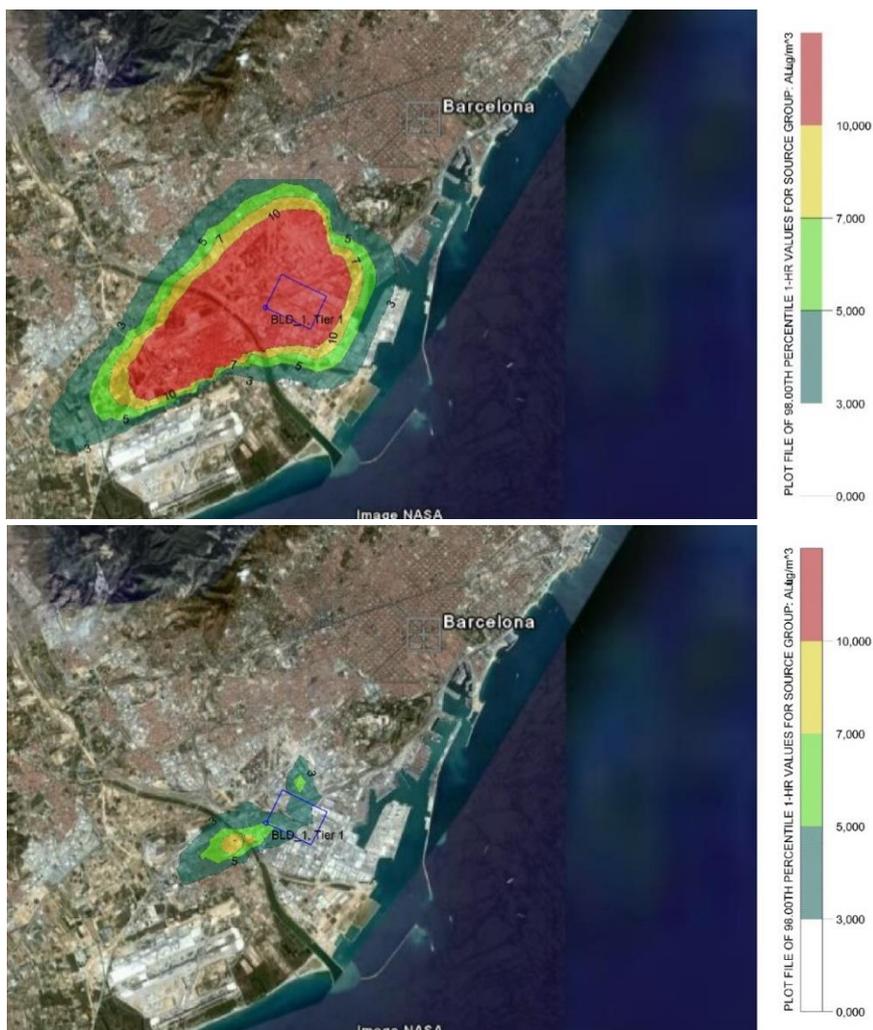


Figure 9.3 : Modélisation de l'impact odoriférant d'une usine de compostage et de biométhanisation pour les déchets urbains. Situation réelle (en haut) et simulation de l'application d'un traitement de purification des odeurs à haute efficacité (en bas).

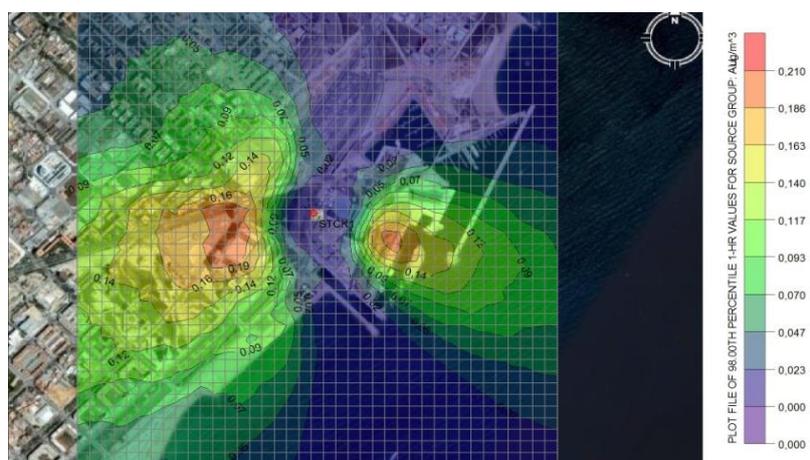


Figure 9.4 : Modélisation de l'impact odoriférant d'une usine de séchage thermique des boues de STEP avec un système d'épuration d'odeurs d'haute efficacité (oxydation thermique régénérative)

### 9.3.- Aspects à prendre en compte par rapport à la modélisation de la dispersion atmosphérique des odeurs

Lors de la modélisation des odeurs, la mesure des niveaux ambiants d'odeur et l'incorporation de ces niveaux dans les résultats de la modélisation, ne sont pas une approche valable car les odeurs ne sont généralement pas additives en raison des effets synergiques et non linéaires de plusieurs composés odorants dans l'environnement ambiant. Deuxièmement, un niveau d'odeur ambiante provenant d'une source d'odeur sera généralement masqué par le niveau d'odeur de fond existant qui a été enregistré jusqu'à 100-200 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>, tandis que l'odeur résiduelle dans les sacs d'échantillonnage peut varier de 20-50 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>.

Pour la réalisation de la modélisation des odeurs d'une installation il convient de garder à l'esprit les points suivants:

- la fréquence d'exploitation de chaque source dans une installation devrait être évaluée afin de déterminer un taux d'émission d'odeurs pondéré dans le temps approprié pour chaque source. Bien que cette approche pondérée dans le temps devrait être le scénario évalué pour la conformité, il convient également d'envisager un scénario avec la source d'odeur émettant continuellement afin qu'une évaluation des impacts à court terme puisse être envisagée ;
- les rejets d'odeurs supplémentaires pendant le transfert et l'agitation / déchetage des matériaux doivent être pris en compte car les concentrations de sources d'odeurs peuvent varier considérablement sur une base quotidienne / hebdomadaire / saisonnière en fonction de l'opération / activité spécifique entreprise ;
- une valeur indicative d'odeur appropriée doit être choisie en fonction du caractère offensant de l'odeur. Toutefois, un bon jugement professionnel devrait être appliqué dans le choix d'un critère d'évaluation des odeurs approprié pour tout cas particulier et cette justification devrait être fournie pour cette sélection ;
- par exemple, si une installation de sensibilité moyenne a des antécédents de plaintes d'odeurs, il peut être prudent d'imposer un critère d'évaluation des odeurs utilisé pour les installations à haute sensibilité. De même, une installation qui conduit toutes les émissions à travers des biofiltres, modifiant ainsi le caractère offensant (ton hédoniste) de l'odeur, pourrait raisonnablement avoir un critère d'impact sur les odeurs moins strict appliqué dans ce cas ;
- respect de la norme indicative sur les odeurs.

Il faut ajouter qu'on ne doit pas utiliser la modélisation de la dispersion des odeurs pour tenter de prouver l'absence d'effet indésirable lorsque des données communautaires peuvent être recueillies, ou sont disponibles pour démontrer le niveau actuel d'effet.

## 9.2.- Facteurs affectant la dispersion des odeurs

Le terrain et les conditions météorologiques influent sur la façon dont les odeurs se dispersent. Les obstacles naturels ou artificiels ont tous un impact sur les émissions d'odeurs. De même, les conditions météorologiques telles que la température, l'humidité et le vent jouent un rôle dans le mouvement des odeurs. L'interaction entre le terrain et les conditions météorologiques affecte davantage la dispersion des odeurs.

### 9.2.1.- Terrain

Les caractéristiques du paysage influencent la dispersion des émissions d'odeurs et la concentration des odeurs reçues par les récepteurs potentiels (c.-à-d. les personnes). La dispersion des émissions d'odeurs est inhibée si la source d'émission est située dans une vallée ou une dépression, mais améliorée si la source d'émission est située sur un terrain élevé ou si le point d'émission est situé bien au-dessus du sol. En raison des barrières physiques qu'elles créent, les vallées peuvent canaliser les vents et, par conséquent, les émissions. Cela peut entraîner des concentrations élevées d'une émission d'odeur canalisées sur une longue distance linéaire, plutôt que de se disperser.

Les obstacles peuvent influencer positivement ou négativement la dispersion des odorants. Par exemple, le couvert forestier peut réduire la concentration d'odeurs en améliorant la dispersion (en réduisant la concentration d'odeurs) et en fournissant des surfaces pour le dépôt d'odorants ou en limitant la dispersion dans la canopée (en raison de la réduction de la vitesse du vent).

### 9.2.2.- Météorologie

La météorologie influence les épisodes d'odeur de deux façons :

- en modifiant les taux d'émission ou les rejets d'odorants ;
- en déterminant le transport atmosphérique, la dilution / dispersion des émissions d'odeurs.

### Température et humidité

Des facteurs tels que la température ambiante et l'humidité affectent la perception de l'odeur. Des températures et humidité plus élevées augmentent la probabilité de détection. Pendant les précipitations, la concentration d'odeur est généralement réduite. La volatilité des odorants augmente par temps chaud, et les émissions d'odeurs provenant des réservoirs ouverts, des étangs et des tas de stockage augmenteront pendant les mois d'été, ce qui entraînera une augmentation du potentiel d'odeur pendant cette saison.



### 9.4.- Modèles de dispersion simples

Les modèles simples ou indicatifs permettent faire une estimation quantitative approximative de la concentration d'odeurs à une certaine distance des émissions du projet ou de l'activité, c'est-à-dire, dans les récepteurs, ou communément appelée immission d'odeurs. Cela permet de déterminer, de manière générale, le potentiel de perception de l'odeur dans l'environnement de l'emplacement du projet ou de l'activité.

Un exemple de ce type de modèles sont les nomogrammes pour différentes activités, qui correspondent à des graphiques bidimensionnels, dans l'un de ses axes la valeur de l'émission d'odeur est introduite et dans l'autre la distance à laquelle il est estimé qu'il y a une certaine concentration odoriférante est indiquée.

Dans la figure suivante des exemples de nomogrammes pour des impacts d'odeur des STEP avec des émissions à faible et haute charge d'odeur y sont montrés.

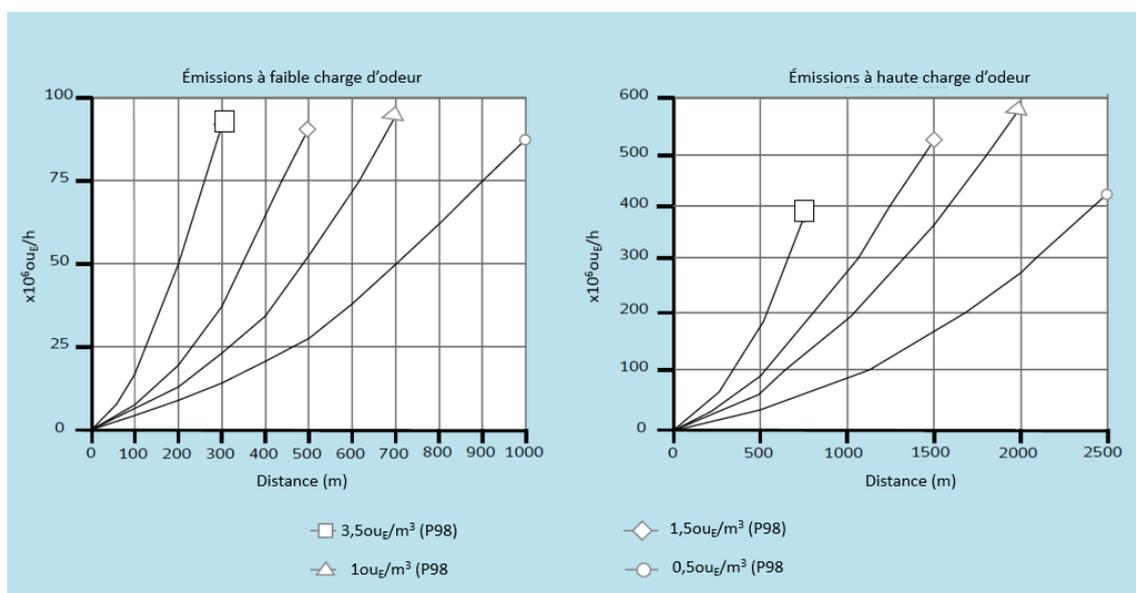


Figure 9.7 : Nomogrammes d'impacts d'odeurs des émissions de deux types de STEP.  
Source : NiE, Pays-Bas

## 10.- DÉTERMINATION DE L'IMPACT ODORIFÈRE PAR DES ÉTUDES SUR LE TERRAIN

### 10.1.- Introduction

Les critères d'évaluation de l'impact odorifère dans différentes zones du monde fixent généralement des niveaux de conformité à la concentration d'odeur en air ambiant entre 1 et 10 ou  $\text{E}/\text{m}^3$  (voir chapitre 3 de ce guide). Il faut considérer que ces niveaux ne peuvent pas être déterminés directement à partir de l'application directe de l'olfactométrie dynamique dont les limites de quantification, qui typiquement sont  $\geq 15$  ou  $\text{E}/\text{m}^3$ , impliquent que, pour pouvoir stipuler l'impact des odeurs autour d'une installation, la modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions correspondantes doit être utilisée.

Pour éviter cet inconvénient, différentes méthodologies d'étude des odeurs en air ambiant ont été développées :

- détermination de la fréquence de perception des odeurs; par l'application de la norme EN-16841-1 :2016 (dans sa version française NF EN-16841-1 « Air ambiant - Détermination de la présence d'odeurs par mesures de terrain - Partie 1 : méthode de la grille ») ;
- détermination de la limite du panache de dispersion des odeurs, par l'application de la norme EN-16841-2 :2016 (dans sa version française NF EN-16841-2 « Air ambiant - Détermination de la présence d'odeurs par mesures de terrain - Partie 2 : méthode du panache ») ;
- détermination semi-quantitative de l'intensité d'odeur perçue en air ambiant (à partir d'échelles définies, par exemple, dans la norme allemande VDI 3940-1:2006 qui prend comme référence la norme VDI 3882-1:1992) ;
- détermination de la concentration d'odeurs en air ambiant par olfactométrie instrumentale sur le terrain.

Dans les sections suivantes on décrit les principaux aspects des systématiques indiquées ci-dessus.

### 10.2.- Détermination de la présence d'odeurs par mesures de terrain. Méthode de la grille (Norme EN-16841-1:2016).

Cette norme européenne décrit la méthode de la grille pour déterminer la fréquence de l'exposition aux odeurs dans l'air ambiant.

En utilisant des membres qualifiés sensoriellement et sur une période de temps suffisamment longue pour être représentative des conditions météorologiques de cet endroit.

Les résultats des études fondées sur cette norme constituent un outil utile pour pouvoir évaluer si l'impact de cette exposition sur la population résidente pourrait être une cause

justifiée de gêne. En outre, dans certains cas, ils permettent de vérifier le respect des exigences légales formulées sur les tolérances liées à une telle exposition.

Un cycle de mesure d'au moins dix minutes est nécessaire pour obtenir une représentation certaine d'au moins 80 % sur la situation olfactive en une heure. Des mesures uniques sont effectuées dans les nœuds de la grille afin de définir la caractéristique d'impact de l'odeur.

Pour déterminer le pourcentage de temps d'odeur dans un cycle de mesure il faut tenir en compte :

- l'évaluateur, une fois situé au point de mesure, sent l'air toutes les dix secondes pendant 10min et enregistre la qualité d'odeur identifiée sur une fiche d'enregistrement de données spéciale (ex. dans une tablette) ;
- à la fin d'un cycle de mesure de dix minutes, l'évaluateur aura évalué 60 échantillons d'odeurs. À chaque intervalle de dix secondes, il n'évalue que la respiration d'air individuelle Immédiatement inhalé et non l'impression d'odeur acquise au cours des dix secondes précédentes. En cas de perturbations lors des évaluations individuelles des odeurs dans les 10 minutes, des échantillons peuvent être ajoutés immédiatement après à des intervalles de dix secondes. La mesure globale ne doit pas dépasser 20 minutes. Le pourcentage de temps d'odeur (voir la section 11.2.5) est le quotient du nombre d'évaluations d'odeurs positives divisé par le nombre total d'échantillons d'odeurs au cours du cycle de mesure ;
- l'évaluateur devra démarrer/arrêter son dispositif de chronométrage au début/à la fin d'un événement odorant. Le pourcentage de temps d'odeur est le quotient calculé à partir du temps d'odeur additionné et de la durée du cycle de mesure ;
- conformément à la définition de la caractéristique d'impact de l'odeur, l'évaluateur doit examiner l'air ambiant à la recherche d'odeurs clairement reconnaissables. L'odeur est clairement reconnue lorsqu'une qualité déterminée peut lui être clairement attribuée.

L'unité de mesure de la méthode est la fréquence des heures d'odeurs (en %) pour un quadrillage défini par quatre points de mesure comme une valeur représentative de l'exposition aux odeurs pour les conditions locales.

Les activités suivantes sont exclues de la portée de la norme :

- la mesure de l'intensité des odeurs ambiantes ;
- le taux de plaisir ou d'ennui promues par des odeurs environnementales ;
- le calcul de l'exposition aux odeurs dans des conditions météorologiques spécifiques afin de déterminer la distribution de fréquence des odeurs reconnaissables dans un panaché odorant ;
- le calcul du taux d'émission de la source estimé à partir de l'évaluation du panaché à l'aide de la modélisation de la dispersion inverse.

Synoptiquement, la méthodologie sur laquelle repose la procédure décrite dans la norme consiste en ce qu'un jury de nez, composé de personnes qualifiées sensoriellement,

réalisera une campagne de perception d'odeur (avec sélection binaire de résultat de type OUI/NON) à certains endroits d'une zone prédéfinie. Il faut ajouter que cette campagne sera conçue de manière à ce que, sur au moins 6 mois, des mesures soient effectuées (en nombre  $\geq 13$  à chaque nœud de la grille, c'est à dire  $\geq 42$  mesures uniques pour chaque quadrillage d'évaluation) par des personnes différentes à des horaires et à des saisons différentes.

Les évaluations d'odeurs seront effectuées aux nœuds de la grille. La figure suivante présente un exemple pour calculer le % d'heures d'odeur dans une cellule d'une grille.

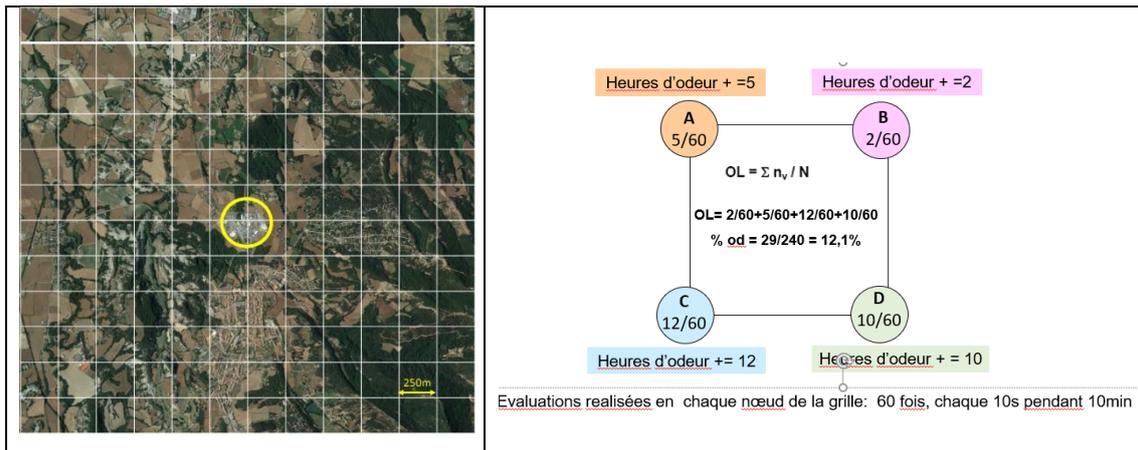


Figure 10.1 : Exemple d'une grille pour les mesures (selon la Norme EN-16841-1:2016) sur l'impact d'odeur d'une décharge (gauche) ; Exemple de calcul du % d'heures d'odeur dans un quadrillage (droite)

Dans la figure suivante on montre des exemples de calcul du % d'heures d'odeur dans 2 études selon la Norme EN-16841-1:2016 :

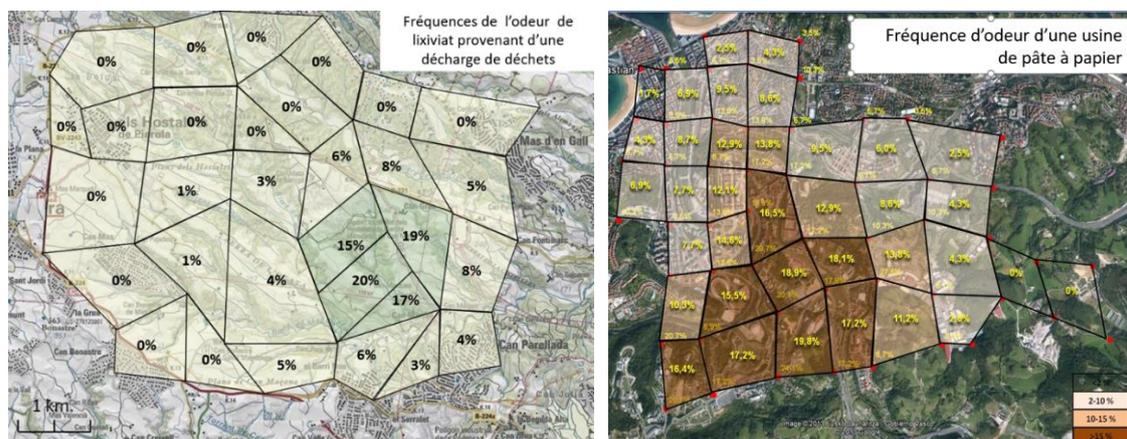


Figure 10.2 : Fréquences d'odeur autour d'une décharge de déchets ménagers (gauche) et autour d'une usine de fabrication de pâte de papier (droite)

Chaque évaluateur détermine le pourcentage de temps d'odeur pour chacun des points où il se situe. Si le pourcentage de temps d'odeur est inférieur à 10% pour des zones résidentielles et 15% pour des zones industrielles, l'odeur est considérée comme absente à l'endroit où l'évaluateur la trouve. Par contre si le pourcentage est supérieur ou égal à 10%, l'odeur sera considérée comme présente.

### 10.3.- Détermination de la limite du panache de dispersion des odeurs (Norme EN-16841-2:2016).

On distingue deux stratégies d'étude différentes : la méthode statique et la méthode dynamique.

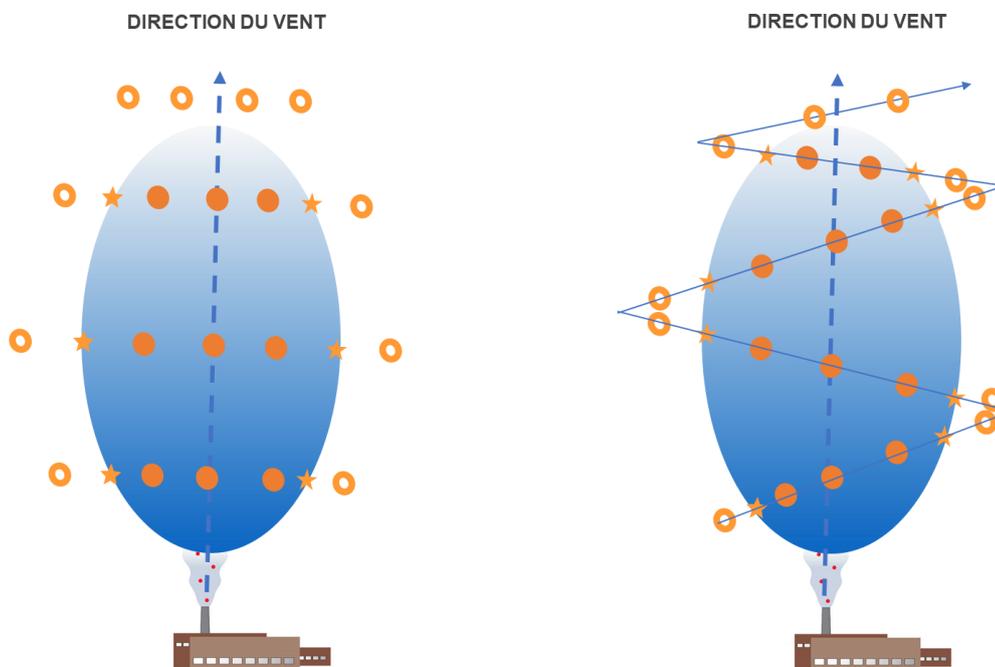


Figure 10.3 : Exemple de distribution des points de perception des odeurs pour l'application de « mesure du panache ». Méthodes statique (gauche) et dynamique (droite)

#### 10.3.1.- Résumé des méthodes de détermination de l'extension du panache

La zone d'extension du panache est définie par les points où se produit la transition de la perception olfactive OUI/NON d'odeur. Les évaluateurs déterminent l'absence ou la présence d'une odeur spécifique faisant l'objet d'une enquête à différents points en aval de la source d'émission et dans une fenêtre de conditions météorologiques bien définies.

##### Méthode statique pour la détermination de l'extension du panache

En utilisant la méthode statique, les évaluateurs sont placés à des intervalles spécifiques, le long de plusieurs lignes d'interception perpendiculaires à la direction du panache afin de couvrir la distance estimée reconnaissable du panache (voire la figure 10.5 gauche). Les déterminations sont faites simultanément.

À titre de référence, des valeurs telles que celles indiquées pour la méthode de la grille peuvent être utilisées.

L'ensemble des mesures individuelles le long de la ligne d'interception doit être effectué simultanément.

### Méthode dynamique de détermination de l'extension du panache

En utilisant la méthode dynamique, les évaluateurs traversent le panache, en diagonale, tout en effectuant des mesures ponctuelles avec des intervalles de temps établis. En entrant et en sortant du panache, ils déterminent les points de transition définis par l'absence ou présence d'une odeur reconnaissable (voire la figure 10.3 droite).

La traversée s'effectue à différentes distances du point d'émission. Cette méthode permet de minimiser l'adaptation olfactive que les évaluateurs peuvent acquérir au cours des tests.

L'extension du panache est déterminée par les points d'intersection situés à la distance moyenne entre les points où la présence ou l'absence d'odeur est enregistrée.

#### 10.4.- Détermination de la concentration d'odeur en air ambiant par olfactométrie instrumentale sur le terrain

Les équipements utilisés pour mesurer directement en air ambiant les niveaux d'odeur sont des olfactomètres de terrain.

La figure suivante montre les parties de l'olfactomètre de champ Nasal Ranger™.



Figure 10.4 : Olfactométrie de terrain avec l'olfactomètre Nasal Ranger™

On devrait indiquer qu'il s'agit d'une méthode officiellement acceptée dans différents États et régions des États-Unis.

Tableau 10.1. Limites d'odeurs d'air ambiant de référence dans différents États et régions des États-Unis dont les normes exigent l'application de l'olfactométrie sur le terrain

État/Zone	Limite d'olfactométrie sur le terrain dans les zones résidentielles/commerciales ou(D/T) (*)	Limite d'olfactométrie sur le terrain dans les zones industrielles uo(D/T)
Californie	5 (périmètre d'activité)	5 (périmètre d'activité)
Dakota du Nord	2 (2 mesures en 1h)	2 (2 mesures en 1h)
Connecticut	7 (3 mesures en 1h)	7 (3 mesures en 1h)

(\*) Les unités ou(D/T) sont les résultats expérimentaux mesurés avec les olfactomètres de terrain et représentent le facteur de dilution à appliquer jusqu'à ce que le seuil de détection olfactive de l'échantillon soit atteint. Synoptiquement, ils en viennent à correspondre à la concentration d'odeur.

À titre d'exemple, les figures suivantes présentent, d'une part, les fréquences de détection des odeurs (notez que, dans la réalité, la géométrie des quadrillages est déformée en raison de difficultés d'accès, ...) et, d'autre part, les courbes moyennes

d'iso-concentration des odeurs mesurées avec 3 panelistes munis d'olfactomètres de champ Nasal Ranger™ en une étude avec plus de 1.200 mesures sur le terrain (réparties sur 3 campagnes dans une grille de 80 carrés).

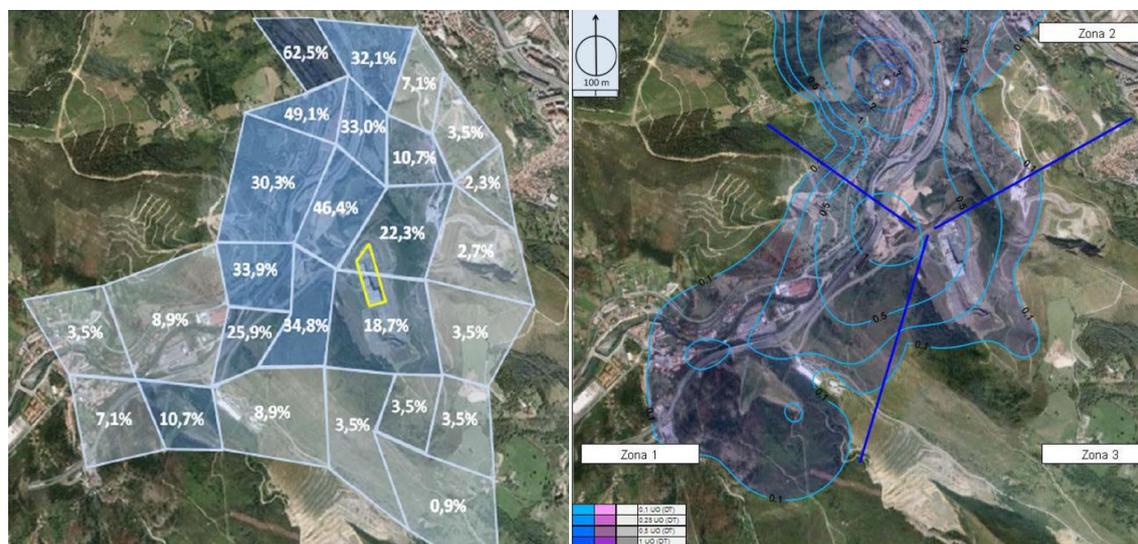


Figure 10.5 : Fréquences d'impact de l'odeur d'une industrie (gauche) et carte de concentration des odeurs (D/T) à partir de >1200 mesures d'olfactométrie instrumentale de terrain (droite)

## 11.- DESCRIPTION DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES POUR L'ÉPURATION DES ÉMISSIONS ODORIFÉRANTES

### 11.1.- Introduction

L'applicabilité des différents procédés de traitement d'odeurs dépend, outre les objectifs d'épuration provenant des limites d'émission ou d'immission fixées dans les réglementations ou dans les permis environnementaux qui doivent être respectés et qui dépendent, principalement, de la composition et du taux d'odeur présent dans les gaz résiduels. D'autre part, la température, l'humidité, la teneur en particules, la coexistence de substances sans signification odoriférante mais qui peuvent influencer les performances des systèmes de désodorisation (ou même les rendre inapplicables) doivent être prises en compte. Autres aspects à considérer sont : la localisation, la météorologie locale et les caractéristiques urbaines et socio-économiques de l'environnement des installations où les odeurs sont générées.

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 volatils).

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

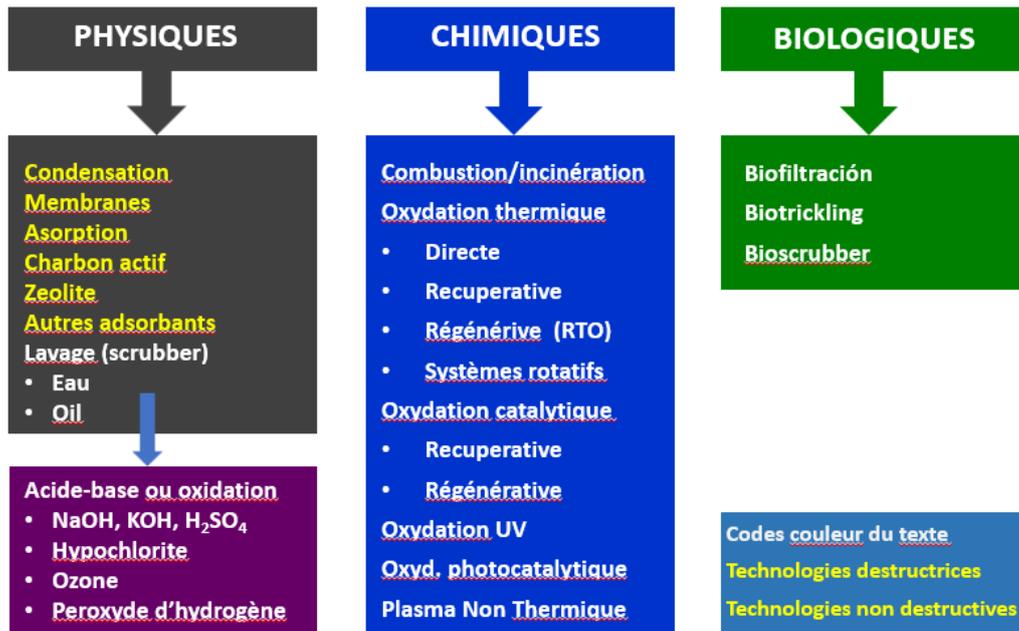


Figure 11.1 : Technologies de traitement des odeurs et des COV dans les émissions atmosphériques (selon différentes bases d'opération)



Figure 11.2 : Exemples des technologies d'épuration des émissions d'odeurs et des COV

## 11.2.- Aspects considérer dans l'évaluation sur les technologies de traitement des émissions de COV

Lors de l'évaluation des solutions de rechange au traitement atmosphérique plus appropriée, il convient de disposer d'informations suffisantes sur les aspects suivants.

**Remarque : dans chaque cas, les informations nécessaires peuvent varier.**

- inventaire des sources, caractéristiques de construction et emplacement (2D si possible, connaître les hauteurs des bâtiments) ;
- bien qu'il soit toujours préférable d'avoir réalisé la caractéristique des émissions de toutes les sources, il est pratique de connaître les analogies possibles entre ces sources (en termes de processus, de débit, de composition similaire des émissions, etc.) ;
- informations sur les processus concurrents ;
- débits des émissions (niveaux moyen, maximum et minimum) et aussi la possible existence de variations et/ou de pics d'émission ;
- température et humidité ;
- concentration (niveaux moyen, maximum et minimum) des odorants inorganiques (p.ex. H<sub>2</sub>S et/ou NH<sub>3</sub>), du carbone organique total (COT) et des COV odoriférants qui sont soupçonnés d'être présents dans les émissions. Dans les cas qui appliquent, d'autres composés et substances (p.ex. : particules, acides, ...) ;
- estimation de l'efficacité nécessaire (garantie).

### Autres informations :

- existence d'une possible « adhésivité » dans les émissions ;
- disponibilité de l'espace pour l'installation d'équipements de traitement et auxiliaires ;
- existence (le cas échéant) de capacité de traitement des eaux usées ;
- disponibilité des services (p. ex. gaz naturel), accessibilité aux points d'électricité ;
- niveau d'automatisation requis (connexion au SCADA, ...) ;
- prospective en ce qui concerne l'intégration éventuelle de nouvelles sources d'émission ;
- flexibilité pour s'adapter à d'éventuels changements (modérés) de processus ;
- maturité des technologies considérées et mise en œuvre dans le secteur ;
- acceptabilité sociale des technologies ;
- implications des nouveaux critères liés aux MTD.

Aujourd'hui, il existe une variété d'options de contrôle des odeurs disponibles sur le marché. Chaque technologie a des forces et des faiblesses qui doivent être prises en compte selon les critères suivants :

- vue d'ensemble de la technologie et de son fonctionnement pour le contrôle des odeurs ;
- efficacité d'épuration pour les odorants présents dans les émissions (en ce qui concerne les odeurs en tant que paramètre global) ;
- espace occupé ;
- plage de fonctionnement par rapport au débit ;
- limitations de la technologie ;
- coûts d'investissement et d'exploitation ;
- considérations relatives à l'exploitation et à l'entretien (p. ex., fréquence des temps d'arrêt, facilité d'entretien, exigences pour avoir un stock de pièces de rechange, exigences en matière de services publics, d'espace libre) ;
- la durabilité fait référence, par définition, à la satisfaction des besoins actuels en assurant un équilibre entre croissance économique, respect de l'environnement et bien-être social.

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

### 11.3.- Épurateurs à absorption (« scrubbers »)

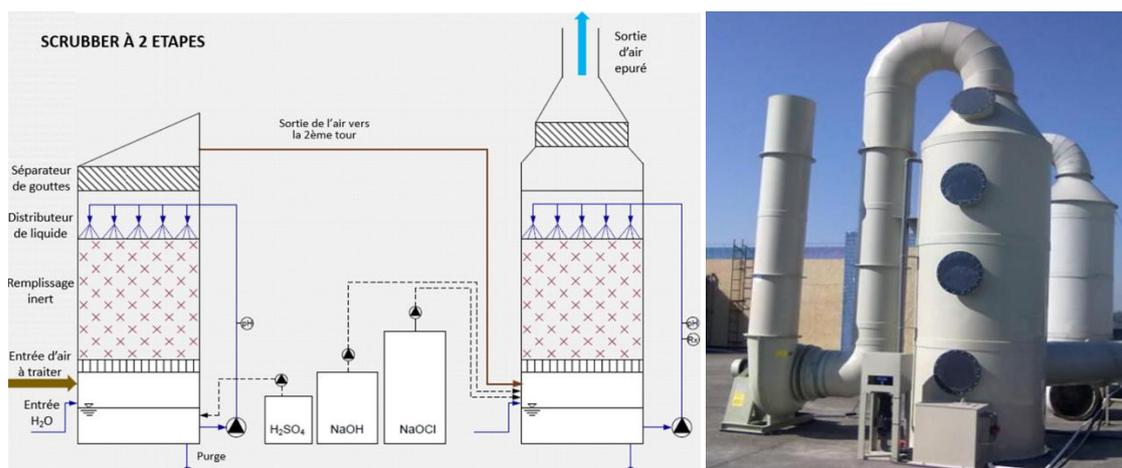


Figure 11.3 : Schéma et exemple d'un « scrubber » à deux tours

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 :  $\text{H}_2\text{S}$ , 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 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, l'aptitude de la substance correspondante à se dissoudre et à réagir (le cas échéant) rapidement dans la phase aqueuse.

Les épurateurs à absorption, parfois appelés épurateurs humides, utilisent un liquide de lavage qui est pulvérisé ou douché dans les gaz inodores. Les composés odorants se dissolvent ensuite ou réagissent avec le liquide et sont éliminés de l'agent liquide.

#### 11.3.1.- Caractéristiques et applicabilité

- Plages de concentration : cette technologie admet une large gamme de concentrations des odorants à purifier ; cependant, il faut tenir compte du fait que la consommation de réactifs est directement liée auxdites concentrations.
- Efficacités typiques :
  - $\text{H}_2\text{S}$  : > 95 %
  - $\text{NH}_3$  : > 95 %
  - COV : 60 %
  - Concentration d'odeur : 60 – 70 %

- Secteurs typiques d'application : Le lavage chimique est plus adapté aux applications dans la station d'épuration que dans certaines parties du réseau d'assainissement, car les besoins d'entretien des épurateurs chimiques sont mieux gérés dans des installations dotées d'un personnel permanent. Les épurateurs caustiques et/ou caustiques + oxydants conviennent à la purification de niveaux élevés de H<sub>2</sub>S, tels que ceux que l'on trouve dans les halls de prétraitement des STEP, et aussi dans les installations de déshydratation de boues. Les épurateurs d'acide sont très efficaces dans le traitement des émissions avec hauts niveaux d'ammoniac et/ou d'amines, comme les installations de compostage ou les usines de manipulation ou conservation des poissons.
- Coûts/1000m<sup>3</sup> : 0.50 – 1.02 TD/1000m<sup>3</sup> (amortissement du coût d'acquisition sur 10 ans).

### 11.3.2.- Avantages

- capacité d'épurer une large gamme de concentrations ;
- application pour éliminer un nombre limité d'odorants spécifiques ;
- occupation minimale d'espace ;
- contrôle simple des paramètres de base : niveau de liquide, pH, conductivité, potentiel redox, ...
- technologie mature, simple et robuste pour les applications typiques (H<sub>2</sub>S, mercaptans, amines, certains COV, ...)
- entretien assez facile ;
- possibilité de traiter directement les émissions avec une humidité élevée et même chaudes (<50-60°C) ;
- modularité ;
- possibilité de conversion future des « scrubber » en « biotrickling » ;
- peut gérer les flux de gaz avec des particules.

### 11.3.3.- Inconvénients

- un apport de l'eau doit également être incorporé afin de compenser les pertes par évaporation et des réactifs (acides, bases, oxydants, ...) est nécessaire ;
- nécessité de traiter les déchets aqueux des purges (parfois considérés comme spéciaux) des « scrubber » ;
- possibilité de « blockages » dus à des excès de particules ou de graisses ;
- dans certaines situations, la recirculation de l'épurateur peut entraîner une augmentation de l'émission d'odeurs ;
- certaines solutions liquides elles-mêmes ont des odeurs indésirables.

## 11.4.- Adsorption sur charbon actif

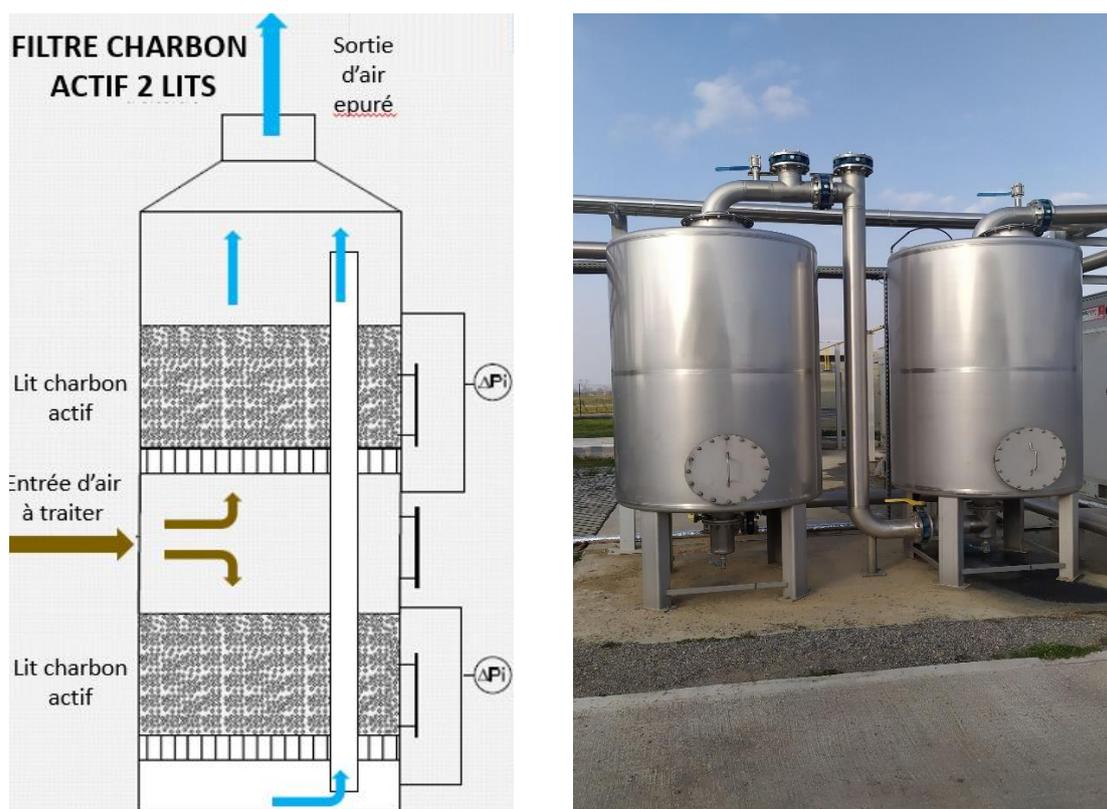


Figure 11.4 : Schéma et exemple d'un filtre de charbon actif

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.

Pour minimiser l'émission d'aérosols dans les tours de lavage, des systèmes d'élimination de gouttelettes (« demister ») sont installés à la sortie de ces équipes.

### 11.4.1.- Caractéristiques et applicabilité

- Efficacités typiques :
  - $H_2S$  : > 95 %
  - $NH_3$  : très faible efficacité
  - COV : > 95 %
  - Concentration d'odeur : > 95 %

- Secteurs typiques d'application : C'est une technologie utile pour le traitement des gaz à faible concentration de polluants (COV polaires et/ou H<sub>2</sub>S), en particulier dans les points où une installation nécessitant peu d'entretien est nécessaire, comme c'est le cas des émissions des stations d'épuration, des stations de pompage et, également, dans l'industrie alimentaire, dans l'industrie chimique, ... Cette technologie est également utilisée comme 2<sup>ème</sup> étape des processus de traitement lorsqu'il existe des exigences d'odeur très exigeantes.
- Coûts/1000m<sup>3</sup> : 0.30 – 0.45 TD/1000m<sup>3</sup> (amortissement du coût d'acquisition sur 10 ans)

#### 11.4.2.- Avantages

- technologie mature, simple et robuste ;
- très haute efficacité de purification du H<sub>2</sub>S et des COV ;
- occupation minimale d'espace ;
- facilité d'installation, de maintenance et d'opération ;
- contrôle simple : ventilation et, le cas échéant, de détecteurs pour caractériser les émissions finales ;
- modularité et transfert facile ;
- possibilité d'utilisation pour purifier les émissions discontinues ;
- éprouvé et efficace sur un large éventail de contaminants ;
- particulièrement adapté aux flux de gaz à basse température, à faible concentration de contaminants ou à charge massique ;
- les supports d'adsorption peuvent être spécifiquement choisis pour les odorants, et les systèmes multimédias sont aussi disponibles ;
- l'équipement et les composants sont simples et les systèmes sont faciles à utiliser ;
- peut être utilisé comme concentrateur avant l'oxydation thermique ou pour la récupération des solvants par condensation.

#### 11.4.3.- Inconvénients

- capacité limitée des concentrations à traiter en raison de la possibilité de saturation du charbon, non seulement en raison de la présence des composés odorants à retenir, mais aussi d'autres ayant un caractère odoriférant plus bas. Le charbon doit être remplacé ou régénéré périodiquement ;
- possibilité de « blockages » dus à des excès de particules ou de graisses dans les émissions à traiter ;
- réduction drastique des performances en cas de purification des émissions avec une humidité élevée ;
- possibilité d'incendies dans le cas du traitement des COV dont l'adsorption est très exothermique (comme les aldéhydes et les cétones) ;

- ne convient pas aux flux d'odeurs contenant un excès d'eau, de graisse, d'huile ou de particules, car les surfaces du milieu peuvent se obturer, d'autre part la présence de carbonyles (aldéhydes et cétones) à des concentrations appréciables dans les émissions à purifier, puisque l'adsorption de ces types de composés est fortement exothermique, peut provoquer des situations dangereuses ;
- peut ne pas convenir aux applications à forte concentration (par exemple  $>200\text{mgC/Nm}^3$ ) de contaminants en raison d'exigences élevées en matière de remplacement ou de régénération, à moins qu'il ne soit utilisé comme concentrateur avant d'autres technologies de contrôle ;
- ne convient pas aux applications à haute température.

## 11.5.- Biofiltration conventionnelle

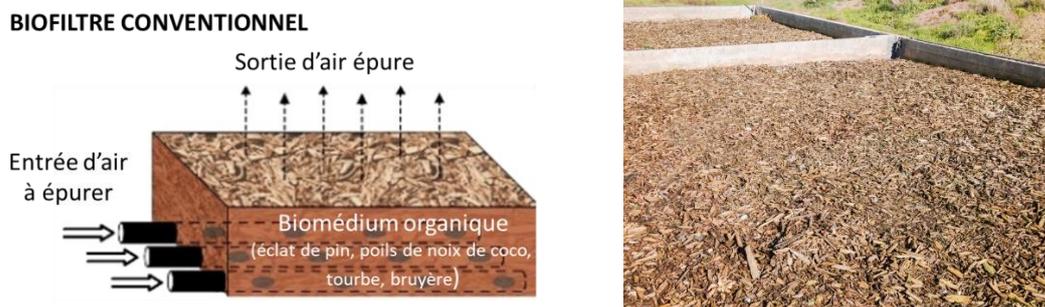


Figure 11.5 : Schéma et exemple d'un biofiltre conventionnel d'éclat de pin

Les biofiltres sont des bioréacteurs dans lesquels les gaz à traiter passent à travers un matériau plus ou moins poreux où auquel il est adhérent 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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , 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  $>100.000\text{m}^3/\text{h}$ ).

### 11.5.1.- Caractéristiques et applicabilité

- Plages de concentration : l'applicabilité principale de la biofiltration est pour le traitement des émissions avec de faibles concentrations de COV diverses (voici une différence avec les systèmes de biotrickling et bioscrubber) ainsi que les autres odorants comme  $\text{H}_2\text{S}$  et  $\text{NH}_3$ , généralement inférieures à 25-50ppmv.
- Efficacités typiques :
  - $\text{H}_2\text{S}$  : 50 – 75 %
  - $\text{NH}_3$  : 40 – 50 %
  - COV : 50 – 60 %
  - Concentration d'odeur : 50 – 70 %
- Secteurs typiques d'application : Cette technologie s'applique souvent dans la purification des émissions d'odeurs des installations d'épuration de l'environnement (comme : dans les STEP ou les ventilations des bâtiments d'usines de compostage, stations de transfert de déchets, ...).
- Coûts/ $1000\text{m}^3$  : 0.56 – 1.33 TD/ $1000\text{m}^3$  (amortissement du coût d'acquisition sur 10 ans)

### 11.5.2.- Avantages

- technologie mature ;
- facilité d'installation ;
- moyenne-haute efficacité de purification du H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> et des COV biodégradables ;
- contrôle simple : ventilation, pH du biomédium, et, le cas échéant, de détecteurs pour caractériser les émissions finales ;
- coût modéré.

### 11.5.3.- Inconvénients

- besoin d'occupation d'une grande surface ;
- non applicable si des rendements très élevés sont requis ;
- faible capacité tampon du pH et de rétention de l'eau ;
- besoin de pré-humidifier les émissions à traiter ;
- compactage et ouverture de canaux préférentiels en cas de mauvaise humidification du biomédium ;
- réduction d'efficacité en cas de l'existence de variations de la composition et/ou de la concentration des odorants dans les émissions à traiter ;
- la durée de vie utile des biomédia conventionnels est limitée et même très limitée (p.ex. 2-4 ans).

## 11.6.- Biofiltration à haute performance

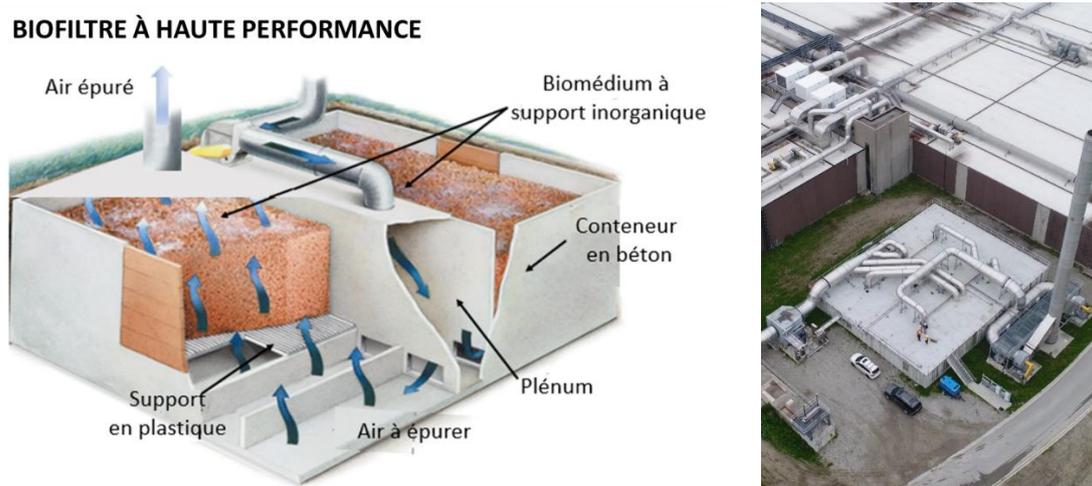


Figure 11.6 : Schéma et exemple d'un biofiltre à haute performance

### 11.6.1.- Caractéristiques et applicabilité

- Plages de concentration : l'applicabilité principale de la biofiltration est pour le traitement des émissions avec de faibles concentrations de COV diverses (voici une différence avec les systèmes de biotrickling et bioscrubber) ainsi que les autres odorants comme H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub>, généralement inférieures à 25-50ppmv.
- Efficacités typiques :
  - H<sub>2</sub>S : > 98 %
  - NH<sub>3</sub> : > 95 %
  - COV : 85 – 95 %
  - Concentration d'odeur : > 95 %
- Secteurs typiques d'application : traitement des émissions avec des taux d'odeur 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, ...
- Coûts/1000m<sup>3</sup> : 0.44 – 1.04 TD/1000m<sup>3</sup> (amortissement du coût d'acquisition sur 10 ans).

### 11.6.2.- Avantages

- technologie assez mature ;
- facilité d'installation ;
- haute résistance au compactage ;
- capacités tampon pH et rétention eau élevées ;

- très haute efficacité de purification du H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> et des COV odorants biodégradables (efficacité pour les odeurs >90-95% garantie ;
- haute robustesse d'opération ;
- contrôle simple : ventilation, pH du biomédium, les pressions d'entrée et de sortie, et, le cas échéant, des détecteurs pour caractériser les émissions finales ;
- appliquée dans biofiltres couverts ;
- la durée de vie utile des biomédia à haute performance si un entretien approprié est effectué, est garantie jusqu'à plus de 15 ans.

#### 11.6.3.- Inconvénients

- besoin de pré-humidifier les émissions à traiter ;
- réduction d'efficacité en cas d'existence de variations de la composition et/ou de la concentration des odorants dans les émissions à traiter ;
- des programmes d'entretien plus exigeants que dans le cas des biofiltres conventionnels ;
- prix très élevé.

## 11.7.- Biotrickling

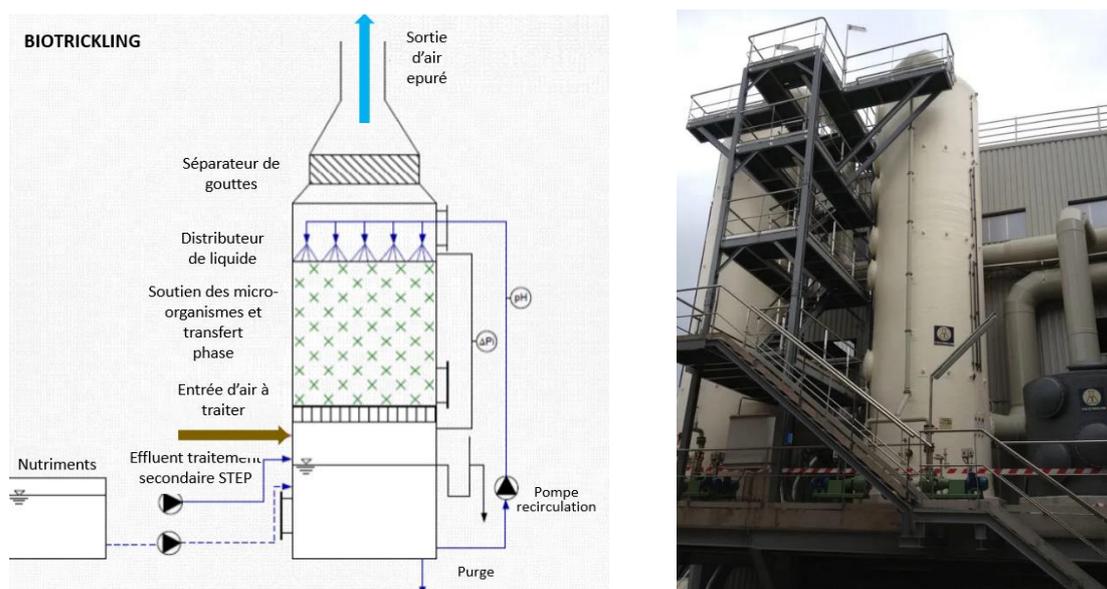


Figure 11.7 : Schéma et exemple d'un biotrickling

Les filtres de biopercolation (« biotrickling ») ont une configuration similaire à celle des tours de lavage de gaz, sauf que les réactions d'épuration sont réalisées par l'action de micro-organismes.

L'air pollué passe à travers un lit fixé sur un support inerte (plastique, mousse de polyuréthane, pierre ponce, perlite, ...) dans lequel se développent les bactéries qui dégradent les contaminants correspondants. Le liquide contenant des nutriments inorganiques essentiels est filtré lentement sur le milieu de remplissage, de sorte que les conditions optimales (pH, concentration en sels et nutriments) pour le développement du processus peuvent être maintenues.

### 11.7.1.- Caractéristiques et applicabilité

- Efficacités typiques :
  - $H_2S$  : > 95 %
  - $NH_3$  : > 75 %
  - COV :  $\cong$  60 - 70 %
  - Concentration d'odeur : 70%
- Secteurs typiques d'application : Le domaine d'application de cette technologie, bien qu'avec de meilleures performances, est similaire à celui de la biofiltration conventionnelle. Est également utilisée dans l'épuration des émissions avec des COV biodégradables dans l'industrie alimentaire ou, par exemple, l'impression flexographique, certains processus de l'industrie chimique. Enfin, ils sont également utilisés dans les processus d'élimination du  $H_2S$  dans le biogaz.
- Coûts/1000m<sup>3</sup> : 0.52 – 0.86 TD/1000m<sup>3</sup> (amortissement du coût d'acquisition sur 10 ans).

### 11.7.2.- Avantages

- technologie mature ;
- facilité d'installation ;
- haute efficacité de purification d' H<sub>2</sub>S, et NH<sub>3</sub> ;
- possibilité de traitement des concentrations moyennes-élevées d'H<sub>2</sub>S ;
- faible perte de charge ce qui se traduit par une faible consommation électrique ;
- faible besoin d'espace ;
- contrôle simple : ventilation, pH du biomédium, et, le cas échéant, de détecteurs pour caractériser les émissions finales ;
- fiabilité supérieure à celle des biofiltres conventionnels (mais inférieur à celui des biofiltres à haute performance) ;
- possibilité de compléter l'efficacité en combinaison avec la filtration au charbon actif.

### 11.7.3.- Inconvénients

- faible efficacité pour les COV à faible solubilité dans l'eau ;
- en cas d'acidification élevée du milieu (pH $\leq$ 2), bien qu'une efficacité élevée pour le H<sub>2</sub>S soit maintenue, elle sera toutefois réduite pour de nombreux autres composés ;
- faible capacité tampon du pH ;
- il y a un très bon contrôle du développement d'un excès de biofilm ;
- réduction d'efficacité en cas de l'existence de variations de la composition et/ou de la concentration des odorants dans les émissions à traiter ;
- pour certaines applications, il est nécessaire d'ajouter des nutriments ;
- coût modéré-haut.

## 11.8.- Oxydation thermique régénérative (RTO)



Figure 11.8 : Schéma et exemple d'un système d'oxydation thermique régénérative

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 >5s, en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de vapeur d'eau (et, s'il y en a, les hétéroatomes peuvent former d'autres substances telles que le SO<sub>2</sub>, 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 >0,5s) qui est maintenue par l'action d'un brûleur à gaz auxiliaire. Les COV sont donc oxydés produisant du CO<sub>2</sub> et du H<sub>2</sub>O.

Par la suite, les gaz chauds passent à travers un deuxième lit en céramique en cédant la chaleur accumulée. Le fonctionnement d'un système d'oxydation thermique régénérative est cyclique, c'est-à-dire que lorsqu'un lit en céramique est chaud, après avoir été traversé par les gaz déjà traités à haute température, le passage est inversé et, à partir de ce moment, des gaz froids contaminés circulent à travers lui. De cette façon, le lit abandonne sa chaleur et les gaz atteignent la chambre de combustion suffisamment chaude. Lorsque ce lit refroidit, il y a un nouveau changement dans la direction de passage des gaz. Pour améliorer l'efficacité du processus et ainsi éviter le transfert de composés contaminés dans l'atmosphère pendant le processus de changement de direction de fonctionnement, l'équipement est conçu avec trois lits en céramique, de sorte qu'avant qu'un lit qui a fonctionné comme une entrée ne fonctionne comme une sortie, une purge est effectuée qui est redirigée vers l'entrée.

La figure suivante montre le fonctionnement des systèmes d'oxydation thermique régénérative (RTO).

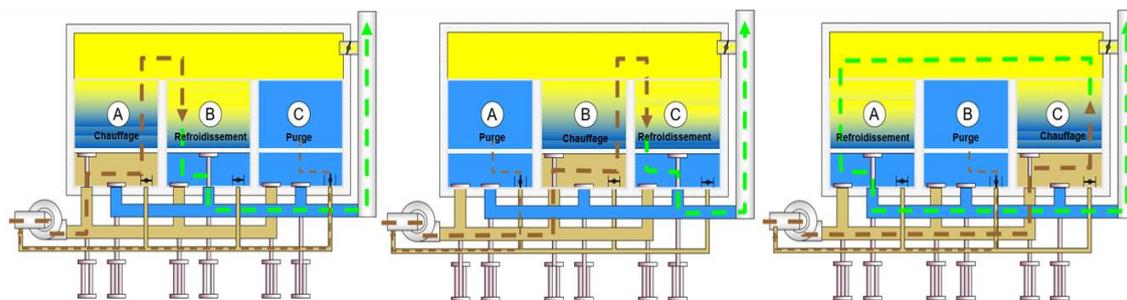


Figure 11.9 : Cycles d'opération d'un système d'oxydation thermique régénérative

### 11.8.1.- Caractéristiques et applicabilité

- Plages de concentration : Débits allant jusqu'à 50.000 m<sup>3</sup>/h et lorsque la charge organique est élevée jusqu'à environ >1,5-12 g/Nm<sup>3</sup>.
- Efficacités typiques :
  - H<sub>2</sub>S : > 98 %
  - NH<sub>3</sub> : > 98 %
  - COV : > 98 %
  - Concentration d'odeur : > 98 %
- Secteurs typiques d'application : Cette technologie est utilisée pour le traitement des gaz contaminés par fortes concentrations de COV (p.ex. >4.000mgC/Nm<sup>3</sup>), tels que les émissions des usines d'application de peinture, de l'industrie automobile, des processus de séchage dans l'industrie du meuble, dans quelques processus d'impression, ainsi que dans les entreprises qui utilisent les COV comme matière première, par exemple dans les secteurs chimique, pharmaceutique, ... En ce qui concerne le traitement des émissions odoriférantes provenant des infrastructures de traitement environnemental (comme les STEP, plantes de compostage, ...) cette technologie n'est généralement pas appliquée en raison du coût élevé de l'exploitation puisque les concentrations typiques de COV odorants dans les émissions sont de l'ordre de dizaines de mg/m<sup>3</sup> au maximum.
- Coûts/1000m<sup>3</sup> : 1.58 – 2.35 TD/1000m<sup>3</sup> (amortissement du coût d'acquisition sur 10 ans).

**Note :** il convient de considérer que les coûts indiqués ci-dessus se rapportent au cas d'émissions avec une concentration en VOC qui permet de maintenir des conditions proches de l'auto-chauffeur. Dans le cas typique d'émissions avec des niveaux de COT de 200-300mgC/Nm<sup>3</sup> mais avec une forte charge odoriférante, les coûts d'exploitation de cette technologie seraient beaucoup plus élevés.

### 11.8.2.- Avantages

- technologie mature et robuste ;
- haute efficacité de purification de COV, H<sub>2</sub>S et odeurs (>98%) ;
- applicable à un large éventail de contaminants ;
- fiabilité maximale ;
- courts temps de séjour ;
- peu de besoin d'espace ;
- contrôle automatique ;
- la chaleur résiduelle peut être récupérée pour préchauffer le gaz odorant entrant et d'autres utilisations dans l'installation ;
- particulièrement applicable aux flux à base d'hydrocarbures à concentration plus élevée.

### 11.8.3.- Inconvénients

- coûts d'investissement élevés ;
- coûts d'exploitation très élevés pour le traitement des émissions dans des conditions non autothermiques ;
- formation collatérale de gaz (CO et NO<sub>x</sub>) ;
- possibilité de formation des PCDD et des PCDF en traitant émissions de COV halogénés ;
- les systèmes catalytiques peuvent présenter des rendements de conversion variables sur certains contaminants et certains contaminants peuvent être un inhibiteur de catalyseur ou un poison. Le catalyseur nécessite une régénération ou un remplacement au fil du temps.

## **11.9.- Comparaison des technologies de traitement des odeurs et leur applicabilité**

Le tableau suivant présente une comparaison des caractéristiques et des exigences des différentes technologies de traitement décrites ci-dessus.

Tableau 11.1 : 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 <sub>2</sub> S (1)	>95%	>95%	50-75%	>98%	>95%	>98% (1)
Efficacité pour NH <sub>3</sub>	>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 ou 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 H<sub>2</sub>S 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/Nm<sup>3</sup>)

(5) En cas de niveaux élevés de H<sub>2</sub>S dans l'émission pour traiter les purges peuvent avoir un pH ≅ 2

(6) Ils dépendent de la concentration en COV et H<sub>2</sub>S dans l'émission à traiter

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

Tableau 11.2 : 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 appliquée 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

## 12.- D'AUTRES OUTILS POUR LA MINIMISATION EL LA GESTION DES ODEURS

### 12.1.- Procédures d'élimination ou de minimisation des émissions d'odeurs

La présente section présente de manière diverse des mesures pratiques susceptibles de contribuer à réduire les émissions d'odeurs des usines industrielles, des installations d'élevage et des infrastructures environnementales.

#### 12.1.1.- Quelques actions sur l'installation

- au stade de la planification d'une installation ou lors d'une extension de leurs activités, il faut envisager de placer les opérations les plus odorantes le plus loin possible de tout récepteur résidentiel/sensible à proximité. Il convient également de tenir compte les caractéristiques du vent dominant local afin d'éviter de localiser des activités particulièrement odorantes immédiatement au vent des récepteurs sensibles ;
- un test d'intégrité du bâtiment est recommandé pour tout bâtiment où des matériaux odorants sont stockés. Idéalement, le bâtiment devrait avoir un système de pression négative installé avec l'air extrait conduit à une cheminée à pointe verticale (et éventuellement avec un système de réduction avant la libération lorsque le besoin s'en fait sentir). Des portes à fermeture automatique et des alarmes de déclenchement sur les portes à rouleaux doivent également être installées ;
- la conception des cheminées (hauteur, diamètre et emplacement) pour s'assurer que l'air extrait est dispersé de manière adéquate est très importante. L'air évacué doit avoir une vitesse de sortie de cheminée suffisante (généralement supérieur à 10 à 15 m/s requis) e pour éviter la déflexion à l'extrémité de la cheminée ;
- une politique de portes fermées devrait être strictement appliquée lorsqu'il existe un risque de rejets odorants par des portes ouvertes ;
- l'extraction de l'air par un système à pression négative jusqu'à une source ponctuelle réduira les émissions fugitives associées aux sources passives telles que les évacuations de ventilation générale, les persiennes, les fenêtres ou les portes ;
- un système local de collecte avec des tuyaux flexibles peut être utile pour capturer et extraire les odeurs fugitives des sources présentant un potentiel d'odeur significatif. Un confinement localisé réduira le volume d'air à extraire et, si nécessaire, à traiter ;
- garder la température aussi basse que possible réduira l'évaporation et donc les matériaux odorants doivent être gardés à l'abri de la lumière directe du soleil et réfrigérés si possible ;
- pour le transfert ou la livraison de liquides odorants, la récupération des vapeurs ou un système en boucle fermée doit être utilisé ;

- les livraisons (ou ramassages) par camion de matières odorantes doivent être scellées ou fermées. Les zones de rassemblement des camions doivent également être situées à l'écart des récepteurs à proximité ;
- dans le cas des matières organiques avec une grande capacité d'être (ou devenir) odorantes les installations devraient appliquer une approche de gestion « juste à temps ». L'élimination des déchets doit également être entreprise dès que possible, en particulier s'il existe un risque de conditions anaérobies. Le stockage des matières odorantes doit également être basé sur la politique du « premier entré, premier sorti » ;
- dans le cas de réservoirs ou de bassins contenant des eaux usées ou des déchets solides ayant une capacité d'émission fortement odoriférante, il convient de tenir compte de la nécessité de les couvrir, de les ventiler et de les traiter ultérieurement.

### 12.1.2.- Quelques mesures pratiques pour minimiser les émissions d'odeurs

- les émissions fugitives telles que les vannes, les joints de pompe, les brides et les fuites devraient être étudiées systématiquement à l'aide de méthodes appropriées (par exemple, la détection par photoionisation (PID)) et, le cas échéant, suivies d'un programme de mesures correctives ;
- un plan d'entreposage des déchets devrait être élaboré ;
- les mesures d'atténuation pour l'entreposage et la manipulation des matériaux odorants situés à l'extérieur comprennent la construction d'enceintes (au moins à 3 côtés) et le déplacement des activités à l'intérieur d'eux ;
- tous les déversements, débordements et fuites doivent être nettoyés rapidement en suivant le protocole pertinent ;
- les produits qui sont potentiellement odorants ou qui peuvent conduire à des sous-produits odorants devraient être examinés quant au potentiel de substitution du produit ;
- dans certains cas, les odeurs peuvent être efficacement minimisées par la re-conception et l'exploitation des processus. Les émissions odorantes de l'agriculture intensive peuvent être minimisées grâce à l'alimentation animale par exemple (réduction des protéines dans les aliments pour animaux) ;
- l'augmentation de l'humidité et la réduction du flux d'air sur la surface d'un liquide odorant réduiront le taux d'évaporation (le taux d'évaporation est directement proportionnel à la vitesse du flux d'air sur la surface du liquide) ;
- une réduction de la surface exposée des réservoirs de stockage de liquides à l'aide de couvercles flottants réduira le taux d'évaporation et de rejet ultérieur dans l'atmosphère ;
- l'ajustement au pH peut augmenter la solubilité de certains composés odorants dans l'eau ou, par exemple, avoir unes conditions acides permettra de supprimer

l'émanation de l'ammoniac et des amines. D'autre part, l'augmentation de l'alcalinité aidera à supprimer la libération de H<sub>2</sub>S dans l'atmosphère ;

- l'ajout de tensioactifs aux solutions aqueuses aidera à modifier l'équilibre air-eau des composés organiques volatils, ce qui entraînera une diminution des taux d'évaporation ;
- des activités telles que l'agitation, le déchiquetage et le mélange (turbulence) dans des liquides et des solides augmenteront considérablement le taux d'émission d'odeurs. Ces activités devraient être entreprises avec des mesures d'atténuation appropriées en place.

**Note : il faut tenir compte du fait que cette mesure est contradictoire avec l'agitation des eaux usées pour les oxygéner et éviter les conditions anoxiques (et donc possiblement d'une puanteur sévère), donc ce type d'opération doit être réalisé de manière équilibrée.**

## 12.2.- Plans de Gestion des Odeurs (PGO)

Un plan de gestion des odeurs (PGO), est un document-cadre qui formalise et décrit les actions qu'un intervenant émetteur d'odeurs doit mettre en œuvre pour assurer la prévention, la réduction et / ou le contrôle des émissions d'odeurs. Un PGO n'est pas une évaluation d'impact, mais prévoit plutôt une série de mesures de prévention, de réduction et de contrôle pour une bonne gestion des risques associés aux odeurs. Un PGO décrira les mesures de contrôle interne de l'installation pour prévenir les situations à risque ainsi que tout plan d'urgence en cas de nuisance olfactive.

Les PGO sont un outil de plus en plus requis dans les réglementations des pays ayant des exigences plus élevées en matière d'odeurs, tels que, par exemple, en Europe, en Australie, Royaume Uni, Canada et qui commence également à être considérée comme Meilleure Technologie Disponible MTD dans plusieurs documents BREF/BAT de l'Union Européenne (cela se produit déjà, par exemple, dans le cas de plus de 9 secteurs productifs)

L'objectif des Plans de Gestion des Odeurs (PGO) est de détecter et décrire les mesures à appliquer pour minimiser les impacts découlant des émissions d'odeurs de l'installation, et comprend des mesures opérationnelles et de contrôle pour les conditions normales et anormales qui peuvent être susceptibles de générer des odeurs. Ainsi, le PGO comprend les méthodes et les systèmes à appliquer grâce auxquels l'évaluation, la réduction et la prévention systématiques des émissions potentiellement odoriférantes de l'usine peuvent être effectuées.

Le PGO doit être rédigé de manière à constituer un outil utile qui contribue à la réalisation des objectifs de prévention de l'émission d'odeurs énoncés ci-après :

- employer toutes les méthodes économiquement durables qui sont appropriées pour minimiser les émissions de substances odoriférantes et leur impact ultérieur ;

- prévenir l'exposition des personnes à l'extérieur de l'installation à des niveaux d'odeur qui peuvent causer de l'inconfort aux récepteurs immédiats ;
- minimiser le risque d'incidents inattendus d'émission d'odeurs ou d'accidents pouvant causer de l'inconfort dans les environs de la installation ;
- l'impact odoriférant est pris en compte dans le cadre des inspections de routine effectuées à l'usine ;
- le contrôle des odeurs devrait se faire principalement à la source, grâce à l'application de bonnes pratiques opérationnelles, à l'utilisation et à l'entretien corrects de l'installation et à la formation de l'opérateur aux odeurs.

Le PGO devrait aider à la prise de décisions sur le choix des contrôles à effectuer, la conception globale de l'installation en matière d'odeurs (en cas d'extensions ou d'introduction de changements substantiels) et les pratiques opérationnelles les plus appropriées, afin d'aligner ces aspects sur les meilleures pratiques environnementales courants.

Le PGO décrit les actions qui seront menées afin de minimiser les impacts potentiels des odeurs, et vise également à documenter la possibilité d'incidents ou d'événements imprévus, tels que, par exemple, des pannes ou des défaillances d'équipement.

Le PGO définit les personnes chargées d'autoriser ou d'entreprendre les actions et les mesures à appliquer, et il convient d'indiquer qu'il doit être utilisé comme document de référence pour le personnel d'exploitation dans le cadre de l'exploitation pratique quotidienne de l'installation, de sorte qu'il doit être suffisamment diffusé pour pouvoir être consulté comme référence par le personnel de l'installation, ainsi que l'administration responsable de la réglementation.

Le PGO comprend, entre autres, les aspects suivants :

- attribution des responsabilités en matière de prévention des odeurs au personnel participant à l'activité (y compris la direction) ;
- identification des activités susceptibles de générer des odeurs, ainsi que des sources d'émission d'odeurs ;
- évaluation des risques liés à l'émission d'odeurs ;
- rédaction et mise en œuvre des procédures liées à la gestion des odeurs ;
- mesures d'urgence en matière d'émissions d'odeurs ;
- programme de surveillance des odeurs ;
- gestion systématique des plaintes, y compris la tenue de registres des plaintes reçues et d'autres aspects opérationnels liés à la génération d'odeurs et, finalement
- audit de fonctionnement du PGO.

En général, l'élaboration d'un PGO s'effectue en suivant les étapes indiquées ci-dessous

1. Définition des responsabilités. Il s'agit de l'attribution des différentes activités prévues dans le PGO aux membres du personnel de l'établissement qui en seront responsables, ainsi qu'au personnel de remplacement en cas d'absence ;
2. Diagnostic. Il consiste à recueillir toutes les informations nécessaires sur la situation de l'installation par rapport aux émissions d'odeurs, ainsi que sur son environnement (récepteurs critiques, météorologie, etc.) ;
3. Définition des mesures. A ce stade, les mesures qui peuvent être mises en place pour contrôler et minimiser les odeurs (bonnes pratiques de travail, utilisation de technologies de désodorisation, ...).
4. Surveillance et contrôle. Il comprend la définition des paramètres à considérer dans la surveillance et les méthodologies à appliquer ;
5. Programme d'urgence. Il consiste à définir les actions à mener dans des situations anormales (incidents, pannes, etc.), en comprenant également les aspects liés à la gestion des plaintes.

La documentation du PGO comprendra les sections suivantes :

- description sommaire des installations et des éléments qui font partie de l'installation ;
- identification des sources d'odeurs les plus importantes et emplacement des récepteurs les plus vulnérables aux émissions odoriférantes ;
- description détaillée des responsabilités associées à la gestion de l'installation, ainsi que des procédures liées à l'évaluation et à la correction des lacunes existantes, à l'identification des besoins de maintenance, au remplacement des consommables critiques, ...
- procédure de réception et de gestion des plaintes relatives aux odeurs ;
- procédures de gestion et d'exploitation des aspects critiques de l'installation liés aux odeurs ;
- formation du personnel pour une exploitation des installations qui tient compte des répercussions possibles sur les questions odoriférantes ;
- entretien et inspection de l'installation (à la fois de routine et en réponse à des urgences ayant des implications odoriférantes possibles) ;
- procédures de gestion des déversements et des fuites ;
- tenue des dossiers : format, responsabilités et emplacement ;
- planifier les interventions en cas de pannes, d'urgence et d'incidents, y compris l'attribution des responsabilités et la liaison avec les autorités locales.

Finalement, il faut ajouter que les dispositions d'auto-exigences incluses dans le PGO devraient être considérées comme partie des permis d'activité et doivent être respectées.



Figure 12.1 : Schéma d'un PGO

### 12.3.- Établissement des relations communautaires et de voisinage

L'établissement de bonnes relations entre les installations potentiellement générateurs d'odeurs et la communauté de leur environnement est un outil de prévention et d'atténuation qui peut être utilisé au niveau du récepteur pour ajuster la sensibilité et la tolérance de la communauté aux odeurs. Parfois, les tentatives de résoudre les problèmes de nuisance olfactive mettent souvent seulement l'accent sur les solutions techniques. Un aspect sous-estimé de la gestion des odeurs est l'opinion publique au sein de la communauté locale concernant l'installation. Une perspective négative de la part des voisins environnants peut diminuer les avantages obtenus de l'utilisation d'outils de prévention et d'atténuation. Engager la communauté dans un dialogue bilatéral favorise la coopération et la confiance. Une communauté activement engagée et informée peut mener à des attentes plus réalistes à l'égard des odeurs. La collectivité elle-même peut également devenir une source précieuse de données qualitatives, fournissant de l'information à utiliser pour évaluer d'autres outils de prévention et d'atténuation.

## 12.4.- Gestion des plaintes par odeurs

Dans les situations dans lesquelles un inconfort suffisamment grave ou fréquent peut souvent être généré dans la population qui reçoit l'impact odoriférant, des plaintes de mauvaises odeurs sont susceptibles de se produire.

Il faut prendre en compte que les plaintes peuvent être une source importante d'information pour les gestionnaires d'un établissement. Ainsi, l'emplacement et le moment de l'inconfort, le caractère de l'odeur perçue, etc. sont des aspects utiles qui peuvent aider à identifier la source d'émission ou l'activité à l'origine des problèmes, ainsi que les moments et / ou les conditions dans lesquels les plaintes sont plus répandues, de sorte qu'une réception et un enregistrement adéquat des plaintes peuvent constituer un outil très utile dans la prévention des épisodes d'odeurs. Ainsi, les plaintes ou dénonciations liées aux épisodes d'odeurs ont été fréquemment utilisées comme indicateurs de l'existence de problèmes d'odeurs importants et/ou de la prise en compte de leur gravité.

D'autre part, les plaintes sont généralement de bons indicateurs de situations anormales (fuites accidentelles, problèmes spécifiques dans un processus ou existence de nouvelles sources).

Il est important de suivre les plaintes, les mesures proposées pour les résoudre et leurs délais, ainsi que leurs progrès. De même, il est essentiel d'établir une bonne communication avec les plaignants, de montrer de l'intérêt à résoudre leurs problèmes et de les impliquer dans le processus d'amélioration (par exemple, en demandant des informations plus détaillées sur l'épisode qui a motivé la plainte, en les informant des mesures prises et / ou de leurs délais, etc.), ce qui peut souvent générer une certaine bonne volonté de la part de la population touchée, et même une atténuation de l'intensité et du ton des plaintes.

### 12.4.1.- Procédure de gestion des plaintes relatives aux odeurs

Il est conseillé de mettre en place une procédure précisant les actions à suivre pour la gestion des plaintes, qui doit indiquer la ou les personnes chargées de traiter les différents aspects de la plainte. Les aspects suivants doivent être précisés :

- personne à qui les plaintes doivent être adressées de manière centralisée ;
- personne avec la responsabilité technique de résoudre toute plainte justifiée ;
- personne responsable de la communication avec l'administration et les autres parties locales concernées (y compris de l'accusé de réception des plaintes à leur résolution, lorsque cela est justifié) ;
- liste exhaustive des données à recueillir lors de l'attention des plaintes et le format à remplir.

La Norme allemande « VDI 3883-4:2017. Effects and assessment of odours - Processing odour complaints », décrit la méthodologie d'enregistrement et la gestion des plaintes relatives aux odeurs.

### 12.4.2.- Registre des plaintes

Un registre sera créé pour inclure toutes les plaintes reçues concernant les odeurs. Il est préférable que ce dossier ait un format électronique, de type base de données ou tableur, afin de faciliter le croisement des données avec d'autres sources d'information pertinentes (enregistrements d'autocontrôle, conditions météorologiques au moment de l'épisode, informations sur l'état de l'installation, ...).

De même, un format ou un dossier de collecte des plaintes sera établi qui devrait inclure les aspects suivants :

- nom et adresse du plaignant ;
- date et heure de réception de la plainte ;
- la date, l'heure, la nature et la durée de l'incident auquel la plainte se rapporte, selon les renseignements reçus du plaignant ;
- la date d'accusé de réception de la plainte par l'autorité ;
- informations sur toute mesure prise à la suite du rapport, ainsi que sur les résultats de l'action ;
- les résultats de l'enquête sur la plainte ;
- détails sur la réponse donnée au plaignant.

Il est à noter que ce formulaire, que ce soit sous forme papier ou électronique (tableur, base de données, ...), doit être rempli lors de la communication avec l'émetteur par la personne chargée d'assister à ladite communication, et doit être inscrit au registre des réclamations correspondant.

Dans les cas où les plaintes sont reçues par téléphone, il est important d'établir un protocole d'attention au public à appliquer afin de définir une procédure de réception des plaintes qui permet d'obtenir toutes les informations nécessaires sur l'épisode et, éventuellement, de pouvoir corroborer sa plausibilité.

Ce protocole d'attention téléphonique consistera en un bref questionnaire, composé d'une série de questions à poser, afin de s'assurer que toutes les informations nécessaires sont reçues.

Il convient de rappeler que, lors de la réception des plaintes par téléphone, il est important d'adopter une disposition qui contribue à la détente et qui évite, dans la mesure du possible, d'augmenter l'inconfort ou la colère de l'expéditeur de la même. En ce sens, les recommandations suivantes peuvent être prises en compte :

- maintenir en tout temps une attitude aimable et respectueuse, en démontrant de l'intérêt pour les problèmes et les malaises décrits et en démontrant une position proactive de l'installation dans la résolution satisfaisante des causes du problème ;
- en aucun cas, aucune des déclarations faites par l'émetteur de la plainte ou les informations fournies (qui, en tout état de cause, seront corroborées ou rejetées en

temps voulu après une évaluation basée sur les informations fiables disponibles) ne doivent être remises en question ;

- acceptez que l'agacement puisse amener les plaintes à être formulées sur un ton méchant, de grief ou même d'une certaine hostilité. La compréhension des inconvénients causés sera démontrée et les attitudes conflictuelles seront toujours évitées, cherchant à promouvoir la détente et la désescalade de l'hostilité.

#### 12.4.3.- Enquête et évaluation des plaintes : Analyse de l'information

Il convient de noter que la présence de plaintes n'est pas strictement indicative de la permanence de l'inconfort, mais uniquement de ses symptômes. Ce fait, ainsi que la multitude de facteurs qui rendent difficile l'enregistrement des plaintes, signifie qu'elles doivent être interprétées avec prudence, car si les revendications sont un bon indicateur de l'existence réelle de problèmes de nature odoriférante, leur absence ne signifie pas que l'inconfort n'existe pas.

Dans tous les cas, une évaluation des plaintes reçues sera effectuée, en tenant compte des informations disponibles sur la situation et les activités de l'usine au moment de celle-ci, afin de déterminer leur plausibilité, et une enquête plus détaillée sera menée que celles qui sont considérées comme plausibles, ainsi que leur suivi correspondant. Un aspect de la possibilité de plaintes de personnes hypersensibles et les effets du mimétisme.

L'enquête sur les plaintes évaluées comme pertinentes visera à identifier, dans la mesure du possible, la ou les sections de l'usine qui peuvent être impliquées dans l'épisode, les conditions internes et externes existant à ce moment-là et leurs causes.

Dans le cas où l'épisode de plaintes est raisonnablement considéré comme étant causé par une défaillance ou une anomalie dans le fonctionnement de l'un des éléments de l'usine, les actions nécessaires seront effectuées pour sa résolution, en les surveillant. Ces renseignements de suivi seront ajoutés à la fiche de registre des plaintes correspondante.

Il est conseillé d'envisager l'installation d'une station météorologique dans l'usine, afin de disposer d'informations sur les conditions atmosphériques dans l'installation et son environnement qui permettent d'évaluer les plaintes en fonction de ces conditions, comme indiqué ci-dessus.

Il est recommandé, en revanche, d'effectuer des visites en face à face dans les lieux d'origine des plaintes jugées pertinentes, afin d'observer l'environnement potentiellement affecté et ses caractéristiques. Si possible, les visites seront effectuées avec l'accompagnement de la personne qui les a émises, avec l'avantage supplémentaire, dans ce cas, de démontrer l'intérêt de la part de l'installation à enquêter (et, éventuellement, à résoudre) les problèmes d'odeurs qui peuvent survenir.

Enfin, la réalisation d'une analyse systématique des données recueillies des plaintes d'odeurs reçues à partir d'un épisode peut être une source d'intérêt comme point de départ pour conceptualiser les caractéristiques et la portée de l'impact des odeurs dans

la zone réceptrice, ainsi que pour planifier plus précisément les campagnes d'étude à mener.

La figure suivante montre un exemple d'analyse de plaintes d'odeurs dans une ville côtière dans laquelle les sources candidates étaient une usine de pâte à papier, une décharge et une STEP. Comme on peut le voir, les données analysées indiquaient : a) que la source la plus importante était l'usine de fabrication de pâte à papier, b) que les épisodes se produisaient principalement pendant la nuit (coïncidant avec des changements dans la direction des brises) dans certains quartiers et qu'il n'y avait pas une distribution saisonnière biaisée.

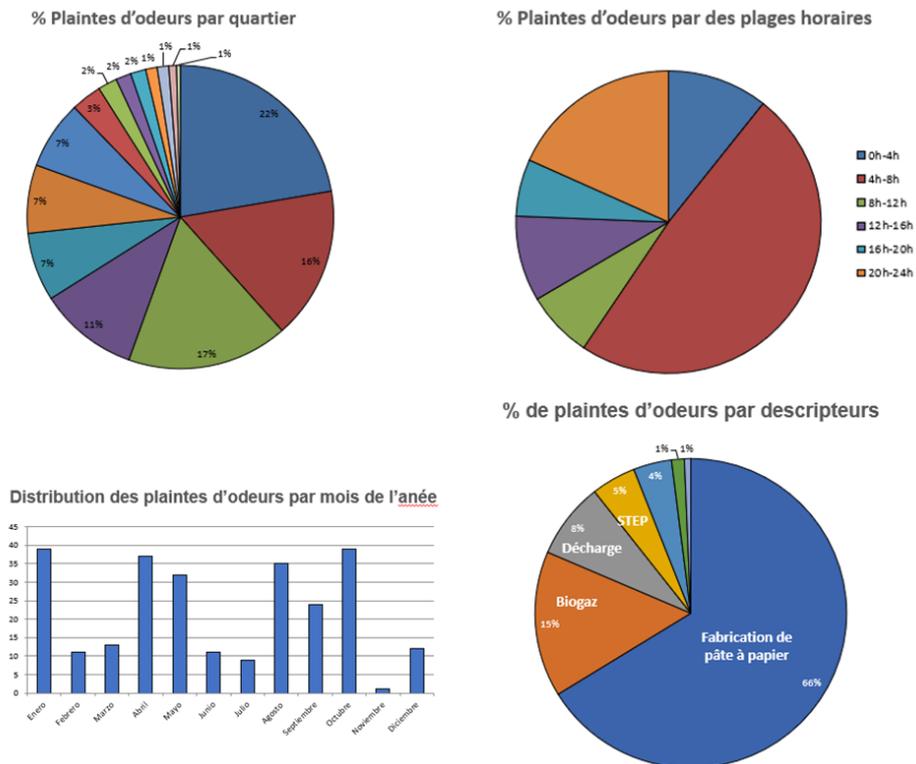


Figure 12.2 : Exemples des données de plaintes d'odeur

## BIBLIOGRAPHIE

### 1.- Livres

- “Odeurs et désodorisation dans l'environnement” (1993), Eds. Gut Martin et Paul Laffort.
- “Methods of Air Sampling and Analysis, 3<sup>rd</sup> Ed. (1998), Ed. James P. Lodge, Jr, Taylor and Francis.
- “La Pollution Olfactive, Sources d’Odeurs, Cadre Réglementaire, Techniques de Mesure et Procédés de Traitement. Etat de l’Art » (2006), Eds. Jean Louis Fanlo et J. Carré, Record.
- “Biotechnology for Odor and Air Pollution Control” (2007), Eds. Z. Sareefdeen et A. Singh, Springer.
- Odours in Wastewater Treatment (2007) : Measurement, Modelling and Control, Ed. R.Stuetz, IWA Publishing.
- “Odour Impact Assessment Handbook” (2013), Eds. Vincenzo Belgiorno, Vincenzo Nadeo et Tiziano Zarra, John Wiley & Sons, Ltd.
- “Handbook of Environmental Odour Management” (2019) : Eds. F.B. Frechen, R.M Stuetz, A. P. van Harreveld et J.M. Guillot, IWA Publishing.
- “Odor Emissions and Control for Collection Systems and Water Resource Recovery Facilities” (2020), 2<sup>nd</sup> Ed, Water Environment Federation (WEF), MOP 25.
- “Evaluation of Odour and Odorant Emissions” (2022), Ed Xinguang Wang, ELIVA.
- Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards (2013), Eds. Sharon S. Murnane, Alex H. Lehocky et Patrick D. Owens, AIHA.

### 2.- Guides généraux sur les odeurs

- “Review of odour character and thresholds” (2007), Environment Agency (UK).
- “Odour Guidance for Local Authorities” (2010), DEFRA, UK.
- “Good Practice Guide for Assessing and Managing Odour” (2016), Wellington (New Zealand): Ministry for the Environment.
- “Guidance on the assessment of odour for planning” (2018), Institute of Air Quality Management (UK).
- “Odour Emissions Guidance Note (Air Guidance Note AG9)” (2019), Environmental Protection Agency Office of Environmental Enforcement (Ireland).
- “Guideline Odour Emissions” (2019). Department of Water and Environmental Regulation, Australie.
- “Guidance for field odour surveillance” (2021). EPA Victoria (Australie).

### 3.- Normes

- VDI 3882-1:1992, “Olfactometry : Determination of Odour Intensity.” Part 1. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- VDI 3882-2:1994, “Olfactometry : Determination of Hedonic Odour Tone.” Part 2. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- CEN/EN-13725 (2022) Qualité de l'air - Détermination de la concentration d'une odeur par olfactométrie dynamique.
- EN 15259 (2007) Qualité de l'air - Mesurage des émissions de sources fixes - Exigences relatives aux sections et aux sites de mesurage et relatives à l'objectif, au plan et au rapport de mesurage.

CEN/TS 15675 (2008) Qualité de l'air - Mesures des émissions de sources fixes - Application de EN ISO/CEI 17025:2005 à des mesures périodiques

CEN/EN 16841-1:2016, Ambient air - Determination of odour in ambient air by using field inspection - Part 1: Grid method.

CEN/EN 16841-2:2016, Ambient air - Determination of odour in ambient air by using field inspection - Part 2: Plume method.

VDI 3940-3 : 2010, Measurement of Odour Impact by Field Inspection - Determination of Odour Intensity and Hedonic Odour Tone. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Measuring stack gas emissions using FTIR instruments. Environment Agency Version 3 (2013), Environmental Agency UK.

CEN/TS 13649 (2014), Stationary source emissions - Determination of the mass concentration of individual gaseous organic compounds - Sorptive sampling method followed by solvent extraction or thermal desorption.

Radiello (2004), <http://www.curml-utcf.ch/prestations/ref-SCR002.pdf>

Intersociety Committee of Air Sampling. Method 701 Determination of Hydrogen Sulfide.

VDI 3945-3:2001, "Environmental Meteorology - Atmospheric Dispersion Models - Particle Model." Beuth Verlag GmbH, Berlin.

EIPPCB (2016). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector. JRC Science for Policy Report.

## 4.- Articles

### 4.1.- Articles sur des seuils de détection des odeurs

John H. Ruth (1986) Odor Thresholds and Irritation Levels of Several Chemical Substances. A review, Am. Ind Hyg. Assoc J. (47), pp 142-155.

Nagata Y. 2003. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. Odor measurement review. Tokyo (Japan) : Office of Odor, Noise and Vibration, Environmental Management Bureau, Ministry of Environment. p. 118–127.

Invernizzi M., Capelli L., Sironi S. (2016). Quantification of odour annoyance-nuisance, Chemical Engineering Transactions, 54, 205-210.

### 4.2.- Articles sur les limites des odeurs

GOAA 2008. Determination and Evaluation of Odour Immissions – Guideline on Odour in Ambient Air GOAA (1994/1999/2004/2008). (Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen - Geruchsimmissions-Richtlinie) Länderausschuss für Immissionsschutz, LAI- Schriftenreihe No. 5, Berlin (in German) ; (available in English).

Nicell, J.A. (2009) 'Assessment and regulation of odour impacts', Atmospheric Environment, Vol. 43, No. 1, pp.196–206.

D.G.R. 15 febbraio 2012 - n. IX/3018. Regione Lombardia: Determinazioni generali in merito alla caratterizzazione delle emissioni gassose in atmosfera derivanti da attività a forte impatto odorigeno.

Marlon Brancher, K. David Griffiths, Davide Franco et Henrique de Melo Lisboa (2017), A review of odour impact criteria in selected countries around the world, Chemosphere Volume 168, Pages 1531-1570.

DNOSES (2019) Analysis of existing regulation in odour pollution, odour impact criteria.

### 4.3.- Articles sur la mesure des odeurs

Cecilia Conti, Marcella Guarino, Jacopo Bacenetti (2020), Measurements, techniques and models to assess odor annoyance : A review, *Environment International*, 134.

Carmen Bax, Selena Sironi et Laura Capelli (2020), How Can Odors Be Measured ? An Overview of Methods and Their Applications, *Atmosphere*, 11, 92.

Capelli L., Sironi S., Del Rosso R. (2013). Odour sampling : techniques and strategies for the estimation of odor emission rates from different source types. *Sensors (Basel)*. Jan 15 ; 13(1) : 938-55. DOI : 10.3390/s130100938.

Yael Laor, David Parker et Thierry Pagé (2014), Measurement, prediction, and monitoring of odors in the environment : a critical review, *Rev Chem Eng* 2014 ; 30(2) : 139–166.

J. M. Guillot, B. Fernandez, P. Le Cloirec (2000), Advantages and limits of adsorption sampling for physico-chemical measurements of odorous compounds, *Analisis*, 28, N° 3, pp 180-187.

Rodríguez-Navas, C., Forteza, R., Cerdà, V. (2012). Use of thermal desorption–gas chromatography–mass spectrometry (TD–GC– MS) on identification of odorant emission focus by volatile organic compounds characterisation. *Chemosphere*, 89(11), 1426-1436.

Davoli, E., Gangai, M. L., Morselli, L., & Tonelli, D. (2003). Characterisation of odorants emissions from landfills by SPME and GC/MS. *Chemosphere*, 51(5), 357-368.

Zhao, Y., Lu, W., et Wang, H. (2015). Volatile trace compounds released from municipal solid waste at the transfer stage : evaluation of environmental impacts and odour pollution. *Journal of hazardous materials*, 300, 695-701.

Guffanti, P., Pifferi, V., Falciola, L., & Ferrante, V. (2018). Analyses of odours from concentrated animal feeding operations : A review. *Atmospheric Environment*, 175, 100-108.

Daniel Almarcha, Manuel Almarcha, Sílvia Nadal, Josep Caixach, (2012), Comparison of the Depuration Efficiency for VOC and Other Odoriferous Compounds in Conventional and Advanced Biofilters in the Abatement of Odour Emissions from Municipal Waste Treatment Plants, *Chemical Engineering Transactions*, Vol 30, pp 259-264.

Daniel Almarcha, Manuel Almarcha, Sílvia Nadal, Arne Poulsen (2014), Assessment of Odour and VOC Depuration Efficiency of Advanced Biofilters in Rendering, Sludge Composting and Waste Water Treatment Plants, *Chemical Engineering Transactions*, Vol 40, pp 223-228.

Zarra T., Cimadoribus C., Naddeo V., Reiser M., Belgiorno V. and Kranert M (2018), Environmental odour monitoring by electronic nose, *Global NEST Journal*, Vol 20, No 3, pp 664-668.

Abdulnasser Nabil Abdullah, Kamarulzaman Kamarudin, Syed Muhammad Mamduh, Abdul Hamid Adom and Zaffry Hadi Mohd Juffry (2020), Effect of Environmental Temperature and Humidity on Different Metal Oxide Gas Sensors at Various Gas Concentration Levels, *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering* 864.

Alejandra Ribes, Guillem Carrera, Eva Gallego and Xavier Roca (2007) Development and validation of a method for air-quality and nuisance odors monitoring of volatile organic compounds using multi-sorbent adsorption and gas chromatography/mass spectrometry thermal desorption system, *Journal of Chromatography A* 1140(1-2).

Capelli, L. et Sironi, S. (2018). Combination of field inspection and dispersion modelling to estimate odour emissions from an Italian landfill. *Atmospheric Environment*, 191, 273-290.

#### 4.4.- Articles sur la modélisation des odeurs

Maurizio Onofrio, Roberta Spataro and Serena Botta (2020), A review on the use of air dispersion models for odour assessment, *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 67, No. 1, pp 1-20.

Latos, M., Karageorgos, P., Kalogerakis, N. and Lazaridis, M. (2011) 'Dispersion of odorous gaseous compounds emitted from wastewater treatment plants', *Water Air and Soil Pollution*, Vol. 215, Nos. 1–4, pp.667–677.

#### 4.5.- Articles sur les technologies d'épurations des odeurs

Estrada, J. M., Kraakman, N. B., Muñoz, R., Lebrero, R. (2010). A comparative analysis of odour treatment technologies in wastewater treatment plants. *Environmental science & technology*, 45(3), 1100-1106.

Vincenzo Senatore, Tiziano Zarra, Mark Gino Galang, Giuseppina Oliva, Antonio Buonerba, Chi-Wang Li, Vincenzo Belgiorno and Vincenzo Naddeo (2021), Full-Scale Odor Abatement Technologies in Wastewater Treatment Plants (WWTPs) : A Review, *Water* 2021, 13, 3503.

Izabela Wysocka, Jacek Gębicki, Jacek Namieśnik (2019), Technologies for deodorization of malodorous gases, *Environmental Science and Pollution Research* (2019) 26:9409–9434.

