

# Odeurs

---

Benoit Gingras, Christophe Guy, Thierry Pagé

La référence bibliographique de ce document se lit comme suit:

Gingras B, Guy C, Page T (2003)

Odeurs.

In : Environnement et santé publique - Fondements et pratiques, pp. 499-515.

Gérin M, Gosselin P, Cordier S, Viau C, Quénel P, Dewailly É, rédacteurs.

Edisem / Tec & Doc, Acton Vale / Paris

Note : Ce manuel a été publié en 2003. Les connaissances ont pu évoluer de façon importante depuis sa publication.

# Odeurs

---

Benoit Gingras, Christophe Guy, Thierry Pagé

- 1. Introduction**
- 2. Principales sources d'odeurs environnementales**
- 3. Populations touchées**
- 4. Caractéristiques de l'exposition aux odeurs**
  - 4.1 Perception des odeurs
  - 4.2 Métrologie
  - 4.3 Analyse de l'impact-odeur
- 5. Effets des odeurs environnementales sur la santé**
  - 5.1 Concepts de nuisance et de santé en matière d'odeurs
  - 5.2 Physiopathologie des symptômes associés aux odeurs
  - 5.3 Relation entre perception des odeurs et toxicité aiguë
  - 5.4 Mécanismes des symptômes liés aux odeurs environnementales
  - 5.5 Effets physiologiques liés aux odeurs
  - 5.6 Effets psychologiques liés aux odeurs
- 6. Nuisance olfactive et réglementations**
  - 6.1 Principes à la base des réglementations
  - 6.2 Quelques exemples de réglementation
- 7. Approches d'atténuation des odeurs**
  - 7.1 Approches de prévention
  - 7.2 Approches de traitement
- 8. Conclusion**

## 1. INTRODUCTION

L'odorat joue un rôle important dans notre confort et notre bien-être. L'industrialisation et le développement des services municipaux, combinés au phénomène de l'étalement urbain et au manque de planification de l'aménagement des territoires, ont fait naître toutes sortes de situations dans lesquelles des citoyens sont exposés à des odeurs incommodes. Le phénomène de l'isolation étanche des bâtiments a aussi pour conséquence de concentrer des contaminants odorants et irritants dans l'air intérieur des lieux d'habitation et de travail.

Après avoir présenté sommairement le processus physiologique de l'olfaction, nous déterminerons les principales sources d'odeurs environnementales et les populations exposées. Nous aborderons les caractéristiques des odeurs, dont les notions de mesures, et décrirons les

effets des odeurs environnementales sur la santé. Après avoir abordé les notions de normes en matière d'odeurs, nous verrons comment les odeurs, qui constituent un problème de santé environnementale, peuvent être atténuées.

### Processus de l'olfaction

Les molécules odorantes entrent en contact avec l'épithélium olfactif situé au sommet de la cavité nasale et stimulent chimiquement les multiples cellules réceptrices (figure 19.1). Les influx électriques ainsi générés sont transmis par le nerf olfactif (1<sup>er</sup> nerf crânien qui traverse le crâne par la plaque cribreuse) au système olfactif central situé dans le système limbique (Truex et Carpenter, 1964). Une branche du 5<sup>e</sup> nerf crânien, le trijumeau, véhicule pour sa part la sensation d'irritation de la muqueuse du nez, du nasopharynx et de l'oropharynx, à la fois en ce qui concerne la sensation du goût et de l'odorat.

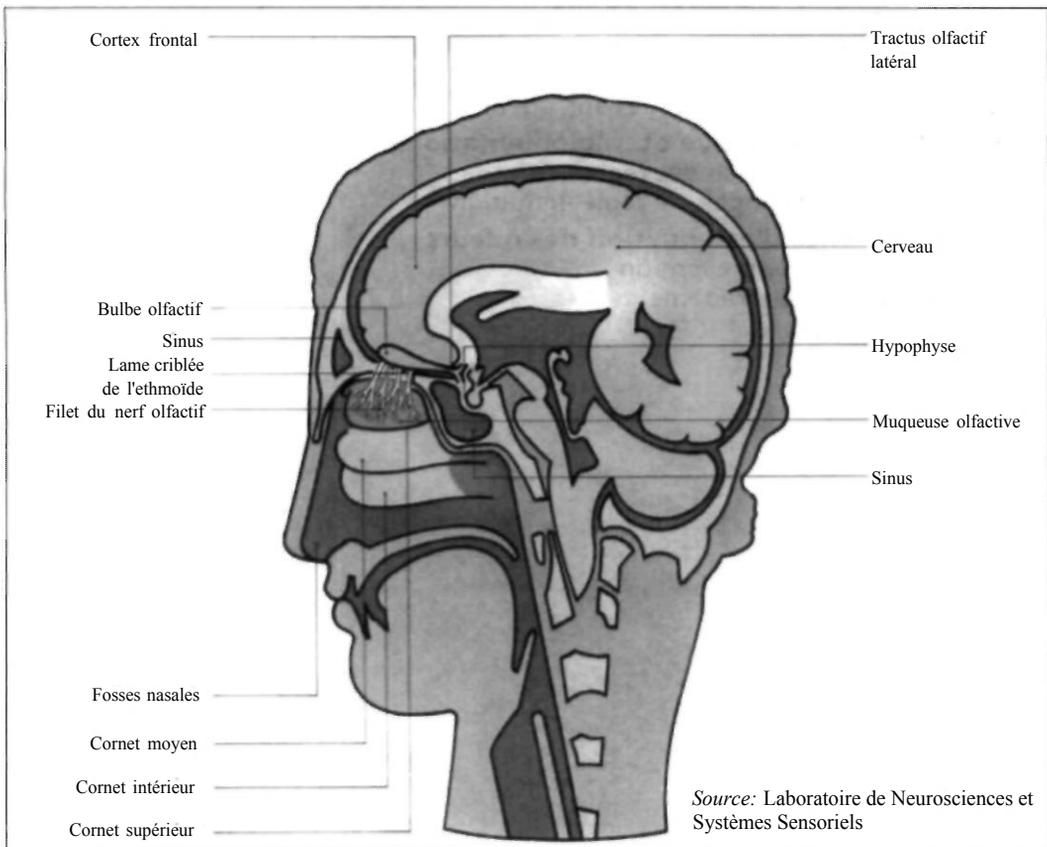


Figure 19.1 Schéma des voies olfactives

Le nerf trijumeau contribue aussi à évaluer la magnitude de l'odeur même pour les composés sans effet irritant (Cain, 1974a).

## 2. PRINCIPALES SOURCES D'ODEURS ENVIRONNEMENTALES

Une grande variété d'activités urbaines, industrielles et agricoles sont source d'émissions d'odeurs dans l'air et sont susceptibles d'atteindre et d'affecter certaines personnes. Certains milieux naturels dans lesquels on retrouve des activités biologiques de décomposition peuvent aussi émettre des odeurs qui seront perçues dans le voisinage. La qualité de l'air intérieur des édifices publics, en milieu de travail et en milieu résidentiel, peut aussi être affectée par des émissions d'odeurs de nature variée.

Une source d'odeur est généralement composée de multiples produits odorants dont certains ont aussi un caractère irritant et qui agis-

sent simultanément sur la muqueuse olfactive. Les différents produits composant l'odeur ont plutôt tendance à se combiner de façon infra-additive\*, peu importe la nature des composés impliqués ou leur degré de similitude (Berglund et coll., 1973). Cependant, l'effet irritant aurait tendance à agir de façon additive, surtout lorsque leur concentration est plus élevée (Cometto-Muniz et coll., 1989).

Le tableau 19.1 relève les sources d'odeurs environnementales les plus fréquentes selon leur origine.

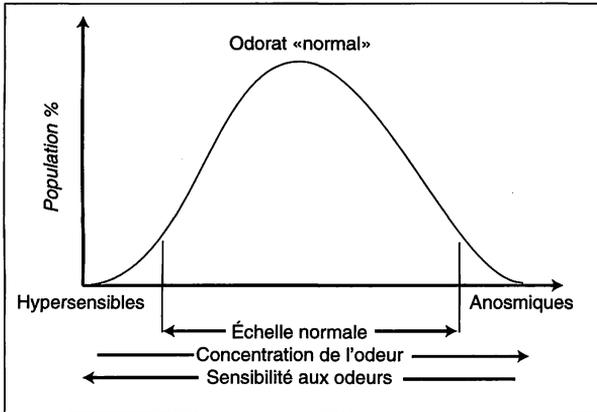
## 3. POPULATIONS TOUCHÉES

Les populations affectées par les odeurs sont habituellement celles qui habitent dans le voisinage des sources émettrices et qui se voient incommodées par ces odeurs non désirées. Nous verrons plus loin que plusieurs facteurs interviennent pour motiver une plainte éventuelle de la part des citoyens.

**Tableau 19.1** Principales sources d'odeurs environnementales

Domaine	Types d'activités	Types de contaminants responsables des odeurs
Municipal	• Épuration des eaux usées	Composés soufrés (H <sub>2</sub> S, mercaptans, etc.), composés azotés (NH <sub>3</sub> , amines, etc.), autres (acides gras volatiles, aldéhydes, etc.)
	• Enfouissement sanitaire	Composés soufrés (disulfure de diméthyle, H <sub>2</sub> S, etc.)
Industriel	• Pâtes et papiers (Procédé Kraft, procédé acide au sulfite)	Composés soufrés (H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , disulfure de diméthyle, méthyle mercaptan), térébenthine
	• Raffineries de pétrole	SO <sub>2</sub> et autres composés soufrés, composés organiques volatils (COV) variés
	• Fonderies	Solvants organiques volatils divers (SOV)
	• Industrie alimentaire: boulangerie, aliments frits, café, distillerie, fumoir, équarrissage	Variables
	• Traitement des surfaces métalliques	Acide sulfurique, acide nitrique, etc.
	• Ateliers de peinture	Méthyl éthyl cétone, acétone, toluène, xylène
	• Plastiques (moulage, fibres de verre, extrusion)	Styrène, SOV divers
Agricole	• Stockage de déchets dangereux	Variables
	• Bâtiments d'élevage	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S et autres composés sulfurés, amines, acides gras volatils, indols, scatols, phénols, etc.
	• Structures d'entreposage des fumiers (et autres fertilisants organiques)	
	• Épandage de fumier	
Air intérieur	• Épandage de pesticides	Variables selon le produit utilisé, solvants divers
	• Occupants	Effluves biologiques
	• Tabac	~ 5000 produits chimiques
	• Matériaux	Formaldéhyde et divers autres COV
	• Ventilation	Substances générant des odeurs

\* Aussi nommé hypoaditive: lorsque le résultat d'une interaction produit un effet inférieur à la somme des substances individuelles.



**Figure 19.2** Distribution de la sensibilité olfactive dans la population

Source: AIHA (1993)

Une odeur émise est perçue par les personnes exposées selon des caractéristiques quantitatives (intensité), qualitatives (reconnaissance de l'odeur) et son caractère hédoniste (appréciation). Comme le montre la figure 19.2, dans une population générale, la plupart des composés odorants sont perçus selon une distribution log-normale, 96 % des gens étant considérés comme ayant une sensibilité normale, 2 % étant qualifiés d'hypersensibles et 2 % d'hyposensibles ou anosmiques (Amoore et Hautala, 1983). La pente de distribution varie d'un composé à l'autre. Cependant, des individus peuvent être hypersensibles à une odeur et insensibles à une autre.

Certains facteurs externes, comme l'exposition professionnelle à des gaz, vapeurs ou particules irritants, contribuent à altérer quantitativement et qualitativement la perception des odeurs. Des facteurs personnels, de nature physiologique, peuvent également influencer la sensibilité olfactive chez l'humain (Shusterman, 1992). Citons, par exemple, l'âge (perte d'acuité), le sexe (les femmes sont plus sensibles selon la plupart des études), le tabagisme (perte de sensibilité), certaines allergies et divers états de santé. En plus de ces caractéristiques interindividuelles, il a été démontré qu'il peut y avoir une grande variabilité de l'acuité olfactive chez une même personne, d'une journée à l'autre, et même d'un essai à l'autre. Viennent également agir et influencer la sensibilité olfactive des individus, un phénomène d'adaptation (Cain, 1974b) (se manifeste par une baisse dans

le temps, de l'intensité de l'odeur perçue, en réponse à une exposition prolongée) et un phénomène de sensibilisation (Cain, 1980) (se présente comme l'accentuation de la détection des odeurs chez un individu exposé à répétition, par exemple, à une odeur industrielle).

## 4. CARACTÉRISTIQUES DE L'EXPOSITION AUX ODEURS

### 4.1 Perception des odeurs

Comme nous l'avons vu, la perception des odeurs résulte du traitement par le cerveau de stimuli localisés sur la muqueuse olfactive. Celle-ci peut être représentée par un grand nombre de récepteurs individuels qui émettent chacun un signal d'une intensité différente en fonction du mélange de composés adsorbés. À partir de cette information complexe, le cerveau établit d'abord une image odeur, puis la compare au répertoire d'images odeurs déjà acquises. Ces images odeurs sont associées au vécu de l'individu; l'appréciation de la qualité de l'odeur est alors suggestive, car elle fait intervenir l'expérience personnelle et les habitudes culturelles. S'il s'agit d'une nouvelle image odeur non référencée, le cerveau l'associera à l'événement vécu lors de la perception.

Les principales informations caractéristiques de l'odeur perçue sont

- la qualité de l'odeur: la reconnaissance de l'odeur, et dans certains cas pour des individus très entraînés, la reconnaissance des principaux composés ou des principales odeurs «primaires» qui la constituent;
- l'appréciation de l'odeur ou son caractère hédonique: l'identification du caractère plaisant ou désagréable de l'odeur;
- l'intensité de l'odeur, qui est fonction du caractère spécifique des composés odorants perçus, de leur composition et de leurs interactions mutuelles et avec la muqueuse olfactive.

Notre sens de l'odorat est semblable à notre perception des corps chauds ou froids: l'intensité de l'odeur perçue est très forte au début puis se produit une adaptation et une baisse progressive de la sensation ressentie. Pour chaque composé odorant, il existe un seuil en dessous

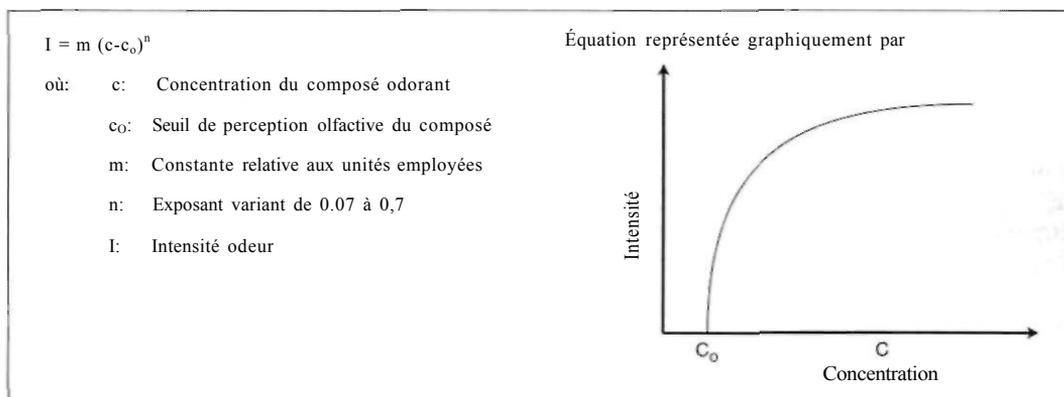


Figure 19.3 Relation intensité/concentration de l'odeur

duquel le composé n'est pas détecté. Au-dessus du seuil, l'intensité perçue n'est pas proportionnelle à la concentration, car un effet de saturation est observé: la loi de puissance de Stevens permet de décrire cette dépendance (figure 19.3).

Afin d'éliminer la subjectivité associée avec l'estimation de l'intensité odeur et, surtout, pour s'affranchir de la saturation observée à haute concentration, la notion de concentration odeur est maintenant privilégiée, car elle est objective et quantitative. Elle est basée sur le seuil de perception olfactive d'un mélange gazeux. Ce seuil est défini comme la concentration d'un mélange gazeux dans de l'air inodore à laquelle la moitié des membres d'un jury perçoivent une odeur, l'autre moitié ne la percevant pas. La détermination du seuil suppose donc qu'un jury de plusieurs personnes doit flairer diverses dilutions du même mélange gazeux; la concentration odeur est indépendante de la qualité de l'odeur et de son caractère hédonique. Par définition, le seuil de perception olfactive correspond à une concentration odeur de  $1 \text{ u.o./m}^3$  (unité odeur par mètre cube). Le nombre de dilutions nécessaires pour atteindre le seuil de perception à partir du mélange de gaz initial indique la concentration odeur. Ainsi, si l'on doit diluer 5000 fois avec de l'air inodore un échantillon de gaz prélevé à la cheminée d'une usine afin d'obtenir un mélange gazeux correspondant au seuil de perception olfactive, la concentration odeur de l'effluent émis à la cheminée est de  $5000 \text{ u.o./m}^3$ . La concentration odeur est très utile en ingénierie, car elle commande les mêmes avantages que la concentration chimique: quantifiable avec une précision

dépendant de la méthode analytique utilisée, proportionnelle à la dilution dans l'air pur contrairement à l'intensité odeur. Elle rend compte aussi des interactions possibles entre les divers composés d'un mélange odorant (effets additifs, synergiques, antagonistes), ce que ne peuvent pas faire les concentrations chimiques. Elle n'est, par contre, pas reliée à l'intensité réelle de la perception olfactive: on ne peut pas faire la différence entre  $1000$  et  $10\,000 \text{ u.o./m}^3$ !

La valeur du seuil de perception olfactive dépend du composé ou du mélange gazeux considéré (AIHA, 1989). Il peut varier de  $0,1 \text{ ppb}$  (parties par milliard en volume) pour le mercaptan allylique (odeur désagréable d'ail) ou le thiocrésol (odeur rance de mouffette) à quelques dizaines de ppm (parties par million en volume) comme pour l'ammoniac ( $17 \text{ ppm}$ ). En règle générale, pour les composés purs, le seuil tend à être plus faible pour des composés de poids moléculaire élevé et dépend des fonctionnalités chimiques de la molécule considérée. Pour des mélanges, le seuil ne peut pas être obtenu à partir des seuils des composés purs: des effets de synergie ou d'antagonisme, d'addition ou de moyenne peuvent être observés.

## 4.2 Métrologie

Dans le cas d'odeurs environnementales, en raison de l'impossibilité de relier la concentration ou l'intensité d'odeur aux concentrations chimiques, l'analyse chimique ne permet pas de quantifier une nuisance olfactive. Néanmoins, elle peut s'avérer très utile, en complément de l'analyse olfactométrique, pour déterminer les constituants responsables de la nuisance. Dans

certaines domaines où il y a peu de variabilité dans les composants responsables de l'odeur, comme en contrôle-qualité, par exemple dans le domaine agroalimentaire, une corrélation statistique entre l'intensité ou la concentration d'odeur et la concentration chimique du mélange ou de certains de ses constituants peut être établie et utilisée avec succès; une approche de réseaux neuronaux pour décrire cette corrélation peut s'avérer très performante (Hudon et coll., 2000a).

L'analyse olfactométrique en tant que telle repose sur la détermination de la concentration odeur par un jury de personnes. La détermination de la concentration odeur par dilution dynamique est la méthode recommandée ou exigée par la plupart des réglementations récentes en vigueur. C'est ainsi le cas du règlement 90 de la Communauté urbaine de Montréal, du règlement québécois sur la qualité de l'atmosphère (Q.2, r-20, 2001), des normes américaines ASTM # E544-75 (1993) et # E679-91, de la norme européenne CEN # TC264/WG2N222 et de la norme australonéo-zélandaise EV/07/03 DR99306. La figure 19.4 présente un schéma de fonctionnement typique d'un olfactomètre à dilution dynamique. Un système de dilution automatique informatisé distribue dans un cornet de flairage diverses dilutions de l'échantillon gazeux à analyser aux six membres du jury. L'analyse de leurs réponses (odeur perçue ou non et si oui, dans quel cornet) selon une méthode statistique appropriée (probit, meilleur estimé), ainsi que la séquence optimale de présentation des dilutions, permet de déterminer le seuil de perception olfactive du mélange gazeux analysé avec un intervalle de confiance, une précision et une répétitivité indépendantes du jury. La concentration odeur de l'échantillon est alors obtenue par le nombre de dilutions nécessaires pour atteindre le seuil de perception olfactive.

Une autre approche d'olfactométrie utilise la comparaison avec un composé de référence comme le n-butanol: l'analyste doit trouver la concentration de n-butanol dans l'air produite par l'olfactomètre, qui donne la même impression d'intensité que l'odeur de l'échantillon. Elle permet de déterminer l'intensité odeur d'un échantillon, exprimée en concentration équivalente en n-butanol. Elle se prête bien à une

analyse rapide et préliminaire de l'air ambiant, car ce type d'olfactomètre autorise une mesure sur le terrain. Par contre, elle ne permet pas de faire des mesures à la cheminée et elle souffre des inconvénients inhérents à l'utilisation de la notion d'intensité plutôt que de concentration.

De récents développements en olfactométrie portent sur la mise au point de détecteurs d'odeurs complètement automatisés, appelés nez électroniques (Kress-Rodgers, 1996; Hudon et coll., 2000b). Ils sont constitués d'une série de capteurs chimiques non spécifiques, couplés à un système automatisé de reconnaissance. Quelques unités sont disponibles commercialement, et leurs applications portent principalement sur la reconnaissance ou la discrimination d'odeurs, l'analyse de la composition de l'odeur et le contrôle-qualité.

### *4.3 Analyse de l'impact odeur*

À l'instar des analyses d'impact environnemental ou des analyses de risques pour la santé du public associés à des activités industrielles, l'analyse de l'impact odeur associé à une source d'émission peut s'avérer extrêmement riche, en termes d'informations quantitatives qui rendent compte de l'envergure d'une nuisance olfactive et des objectifs d'atténuation ou de mitigation à atteindre (Guy et Pagé, 2002). En effet, à partir de la caractérisation olfactométrique de la source (débit d'odeur, concentration odeur) et des caractéristiques de dispersion atmosphérique de l'odeur, il est possible d'estimer les concentrations dans l'air ambiant entourant la source et de quantifier l'exposition du public aux odeurs. Les modèles de dispersion atmosphérique à utiliser doivent rendre compte des spécificités de notre odorat: réponse très rapide, sensibilité aux variations et aux maxima. De ce fait, ils doivent pouvoir rendre compte plus finement de la turbulence atmosphérique afin d'estimer les maxima de concentration plutôt que les moyennes et de présenter les résultats d'estimation sous une forme pratique pour juger de la nuisance olfactive. Très peu de modèles possèdent ces caractéristiques; les modèles classiques de dispersion de toxiques rendent médiocrement compte de la dispersion des odeurs (Pagé et Guy, 1997).

Ainsi, l'estimation de l'exposition aux odeurs à l'aide de l'évaluation de la dispersion atmo-

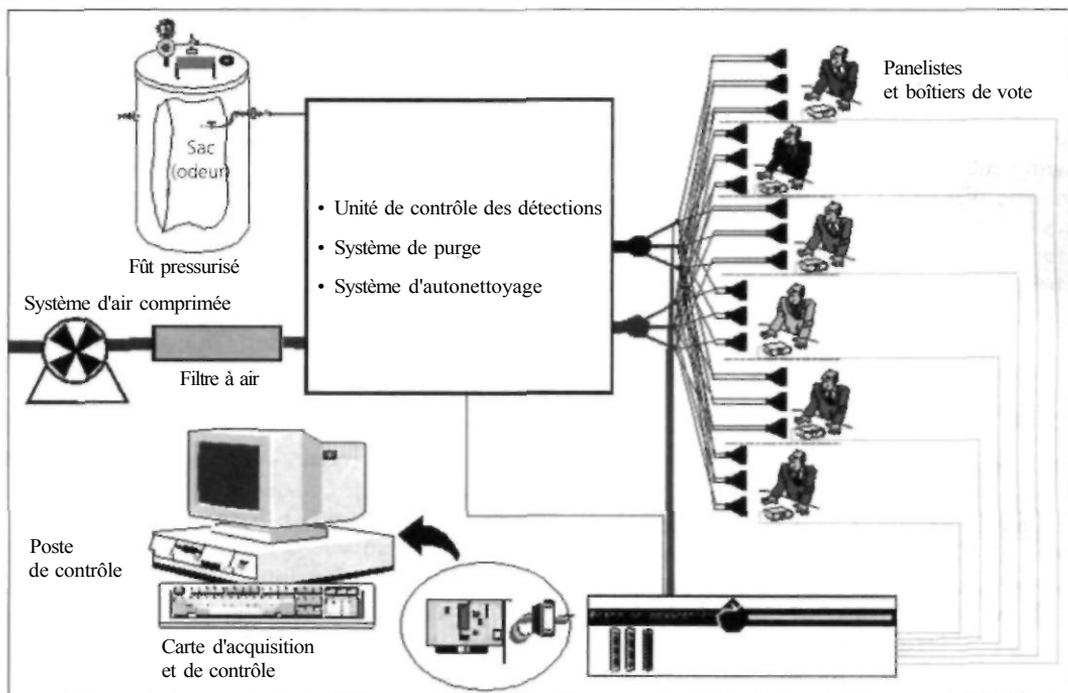


Figure 19.4 Olfactomètre à dilution dynamique

Source: Odotech inc. (1999)

sphérique permet de déterminer l'effort de réduction de l'émission nécessaire pour diminuer la nuisance et d'évaluer l'impact de l'utilisation de telle ou telle technologie d'atténuation dont l'efficacité est connue.

## 5. EFFETS DES ODEURS ENVIRONNEMENTALES SUR LA SANTÉ

On a souvent tendance à aborder les notions de nuisance\* et d'atteintes au confort sur le plan environnemental comme des inconvénients, sinon négligeables, du moins mineurs et inhérents au développement économique local. Dans certains cas, on estime que les plaintes associées à ces nuisances relèvent davantage du caprice que d'une atteinte à la santé. De même en est-il des questions relatives aux odeurs environnementales. Or, les odeurs provenant d'activités municipales, industrielles ou agricoles peuvent avoir un impact significatif sur la santé

de la population exposée, tant au plan physiologique que psychologique (Winneke et Kastka, 1977; Rotton, 1983; Shusterman, 1992).

### 5.1 Concepts de nuisance et de santé en matière d'odeurs

D'un point de vue juridique, la définition de nuisance varie considérablement d'un pays, d'une province et même d'une municipalité à l'autre. Cependant, l'objectif commun à toutes les mesures de contrôle vise à prévenir ou à réduire l'atteinte à l'environnement par l'élément nuisible qui dégrade la qualité de vie des citoyens (Selmi et Manaster, 1989). Par ailleurs, le concept de santé a beaucoup évolué au cours des années. Définie d'abord comme une absence de maladie, la santé fut ensuite considérée comme un état de bien-être physique, mental et social (Hogart, 1977). Maintenant, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) donne une définition plus précise encore de la santé. En effet, selon l'OMS, c'est la mesure dans laquelle

\* Sentiment de déplaisir associé à un «agent» ou à une condition considérée comme affectant négativement un individu ou un groupe (Lindvall et Radford, 1973).

un groupe ou un individu peut, d'une part, réaliser ses aspirations et satisfaire ses besoins et, d'autre part, évoluer avec le milieu ou s'adapter à celui-ci (...). Ainsi donc, la promotion de la santé ne relève pas seulement du secteur de la santé; elle dépasse les modes de vie sains pour viser le bien-être (OMS, 1986). Dans ce contexte, l'approche des questions de nuisance et d'atteinte au confort dans le domaine de la santé environnementale ne peut être dissociée du concept de santé.

### 5.2 Physiopathologie des symptômes associés aux odeurs

On constate souvent que les effets apparents provoqués par les odeurs environnementales sur la santé de personnes habitant, par exemple, en bordure d'usines de traitement des eaux usées ou d'enfouissement des déchets, de sites industriels ou de lieux d'activités agricoles ne répondent pas, de façon objective, à l'approche toxicologique classique. Un certain nombre d'études réalisées chez l'animal et chez l'humain au cours des dernières années a permis de mieux comprendre les mécanismes par lesquels les odeurs peuvent affecter la santé.

Une revue de la littérature réalisée par Shusterman (1992) indique que la plupart des symptômes rapportés par les personnes exposées à des sources d'odeurs environnementales sont aigus dans leurs manifestations, limités dans le temps et de nature subjective; ils sont donc difficiles à définir objectivement. Néanmoins, plusieurs études rapportées par cet auteur tendent à démontrer une forte corrélation entre les symptômes rapportés par les personnes exposées ou l'exposition aux odeurs environnementales dans l'air intérieur des bâtiments ou provenant d'équipements municipaux, d'activités agricoles ou industrielles, même si les concentrations des contaminants responsables de ces odeurs étaient bien inférieures aux niveaux considérés toxiques. Shusterman conclut que, en matière de problèmes de santé associés aux odeurs, les mécanismes physiopathologiques ne s'expliquent pas par l'approche toxicologique classique, mais doivent être abordés comme des effets non toxicologiques de ces contaminants sur la santé.

### 5.3 Relation entre perception des odeurs et toxicité aiguë

Malgré des variations interpersonnelles, il est possible d'établir, pour les diverses substances odorantes, une échelle psychophysique\* qui conserve sa validité d'un individu à l'autre, de façon à pouvoir déterminer des niveaux d'exposition selon l'intensité de l'odeur (Cain et Moskowitz, 1974). Par ailleurs, le ratio de la concentration du produit à laquelle des effets irritants ou toxiques sur l'humain peuvent se produire (concentration maximale admissible pour une durée de huit heures) sur son seuil olfactif constitue le *facteur de sécurité olfactive* (FSO) pour cette substance (Amoore et Hautala, 1983). Lorsque le FSO d'un contaminant est faible (<10), les symptômes liés aux odeurs sont aussi les symptômes liés à la toxicité intrinsèque du produit. Un produit odorant dont le FSO est modéré (10-25) peut aussi causer une toxicité aiguë dans la population, mais seulement si sa concentration environnementale dépasse largement son seuil olfactif. D'autres produits cependant peuvent provoquer des symptômes aigus associés à leur simple odeur, même si les concentrations en cause ne constituent pas une exposition toxique proprement dite (Shusterman, 1992).

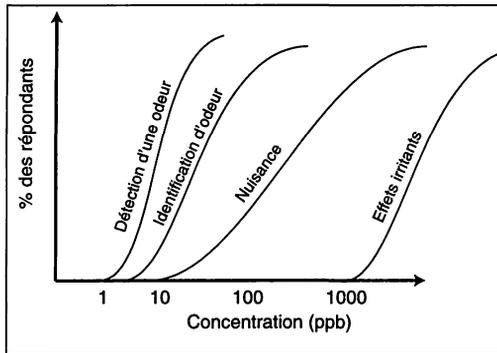
Par exemple, certains gaz comme le sulfure d'hydrogène et divers mercaptans qui, notamment, sont des produits souvent impliqués en cas de plaintes de citoyens possèdent un seuil olfactif beaucoup plus bas que les niveaux reconnus comme pouvant entraîner des symptômes par les mécanismes toxicologiques ou irritatifs classiques. Pourtant, ces gaz sont souvent associés à des manifestations symptomatiques apparaissant à des niveaux qui dépassent de peu leur seuil olfactif, donc à des concentrations considérées comme non toxiques (Flesh et Turk, 1975). À titre d'exemple, la figure 19.5 représente la relation entre les concentrations dans l'air et la proportion de personnes affectées à diverses intensités pour le sulfure d'hydrogène.

### 5.4 Mécanismes des symptômes liés aux odeurs environnementales

Les mécanismes pouvant expliquer les problèmes de santé dont se plaignent des citoyens

\* La psychophysique est la science qui étudie les caractéristiques stimulus-réponse des stimuli sensoriels

exposés à un ou à plusieurs composés odorants, à des concentrations de toute évidence sous-irritantes ou sous-toxiques, ne sont pas de nature toxicologique, mais sont plutôt des mécanismes liés aux odeurs proprement dites. Ces mécanismes sont de plusieurs natures. Le



**Figure 19.5** Relations entre la perception de l'odeur, la nuisance et les effets irritants pour le sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ )

Source: Shustermann (1992)

tableau 19.2 présente succinctement les principaux mécanismes rapportés dans la littérature scientifique sur le sujet.

Les odeurs environnementales peuvent donc déclencher divers symptômes à des concentrations bien inférieures à celles pouvant causer des réactions de type toxique en agissant par une variété de mécanismes physiologiques. La complexité et les nombreux éléments inconnus du phénomène s'apparentent d'ailleurs à la problématique des «sensibilités chimiques multiples» (Rosenstock et Cullen, 1994; Kipen et coll., 1995).

### 5.5 Effets physiologiques liés aux odeurs

Un grand nombre d'effets de nature physiologique sont associés à l'exposition aux odeurs. Ces effets peuvent cependant être très variables d'un individu à l'autre et même varier dans le temps chez un même individu (Dalton et coll., 1997a, b). Plusieurs recherches ont démontré que la réponse à un stimulus odorant est forte-

**Tableau 19.2** Principaux mécanismes des symptômes liés aux odeurs environnementales

Aversion innée aux odeurs	Les facteurs individuels influencent grandement les réactions aux odeurs perçues. Cependant, plusieurs substances odorantes ne vont pas laisser certaines personnes indifférentes et provoquer des réactions réflexes.
Exacerbation de conditions médicales préexistantes	Les principales conditions médicales impliquées dans ce mécanisme sont l'asthme, la bronchite, la grossesse, certains troubles psychosomatiques et certaines dysfonctions olfactives.
Intolérance acquise aux odeurs	Ce type de réaction résulte le plus souvent d'une expérience antérieure d'exposition aiguë symptomatique. Cette sensibilisation conditionnée à des substances odorantes est surtout rapportée en milieu de travail. Elle pourrait aussi se manifester plus subtilement dans un contexte d'odeurs environnementales, lorsque des gens sont exposés de façon fréquente à des odeurs désagréables.
Somatisation due au stress environnemental	Il s'agit ici d'un état de stress associé au sentiment d'altération de l'environnement par les odeurs, auquel s'associent des sentiments de perte de jouissance des lieux et de perte de valeur de la propriété.
Nature intermittente du stimulus	La réaction relève du sentiment d'absence de contrôle sur un stimulus transitoire récidivant et non désiré.
Réponse du système immunitaire aux odeurs déplaisantes	Plusieurs études ont mis en évidence des liens directs entre les centres olfactifs du cerveau et les tissus lymphoïdes. Par ce mécanisme, les odeurs agiraient sur le système immunitaire par un effet d'immunosuppression (parfois d'immunostimulation). Il a aussi été démontré que l'altération de l'humeur pouvait avoir une influence négative sur le système immunitaire.
Effet physique direct	Les molécules de certaines substances odorantes tel l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène sulfuré et le chlore agissent directement sur la muqueuse nasale et respiratoire, puis acheminent les influx nerveux via les nerfs crâniens trijumeau, glossopharyngien et vague. En laboratoire, une telle stimulation de la muqueuse nasale chez l'animal peut provoquer une augmentation de la sécrétion d'adrénaline. Ce type d'effet chez l'humain serait-il à même de contribuer à faire naître des sentiments d'anxiété et de colère?
Effet de type phéromonal	Si le phénomène entre humains a été démontré, un tel effet en lien avec d'autres types d'odeurs environnementales reste à démontrer.

(Doty, 1981; Silver, 1987; Shusterman, 1992; Manley, 1993; Laing et coll., 1994; Schiffman et coll., 1995; Bell et coll., 1996)

ment influencée par la complexité de l'environnement qui caractérise une exposition donnée à un ou plusieurs produits, incluant le contexte social et les caractéristiques psychologiques de l'individu (Dalton, 1996; Dalton et coll., 1997a, b). Les croyances ou les attentes en matière de sécurité en liaison avec une odeur peuvent influencer de façon importante sa perception (Dalton et coll., 1997). Généralement, les études démontrent une corrélation positive (modérée) entre la concentration des odeurs émises par divers types d'usine et le degré de nuisance tel qu'exprimé par les personnes exposées (Winneke et Katska, 1987; Cavalini, 1994; Verschut et coll., 1994). Cependant, on a démontré que le degré de nuisance ne prédit pas nécessairement l'importance des symptômes. En effet, diverses études réalisées par ces auteurs ont conclu que les concentrations d'odeurs n'étaient pas corrélées à l'importance des symptômes ou malaises ressentis par les citoyens exposés. De nombreux facteurs personnels, dont le niveau d'appréhension et l'âge (les plus jeunes manifestant plus de symptômes) semblent en effet influencer l'expression des problèmes de santé attribués aux odeurs.

Les symptômes d'irritation des yeux et des muqueuses des voies respiratoires supérieures sont sans doute les plus fréquemment rapportés dans les problèmes liés à la qualité de l'air intérieur et extérieur (Cain, 1987; Cain et Cometto-Muniz, 1995; Schiffman, 1998). Les substances odorantes stimulent les muqueuses qui transportent le message le long du nerf trijumeau principalement, de même que les nerfs vague et glossopharyngien (Alarie, 1966). Ces malaises sont souvent rapportés dans les problèmes associés au « syndrome des édifices clos » et par les personnes souffrant de polysensibilité aux agents chimiques (Kjaergaard et coll., 1992; Koren et coll., 1992). Ces manifestations sont particulièrement influencées par les facteurs cognitifs propres aux individus exposés (Dalton et coll., 1997b).

Dans plusieurs études, on a trouvé une corrélation significative entre les symptômes rapportés et l'exposition aux odeurs environnementales, même si les concentrations des contaminants étaient bien inférieures aux niveaux considérés comme toxiques. Les symptômes les plus rapportés relèvent de systèmes variés: cardio-vasculaire (Baldwin et Bell, 1998),

pulmonaire (Shusterman, 1992; Deloraine et coll., 1995; Thu et coll., 1997; Baldwin et Bell, 1998), nerveux (Cain et Cometto-Muniz, 1995; Thu et coll. 1997), digestif (Miner, 1980; Thu et coll., 1997). Des modifications décelables à l'électroencéphalographie (EEG) et au niveau du rythme cardiaque ont pu être objectivées (Lorig et coll., 1991; Manley, 1993). D'autres symptômes généraux tels que la fatigue, des céphalées, le manque d'appétit, ont également été signalés (Miner, 1980; Cavalini, 1994; Thu et coll., 1997; Schiffman, 1998). Par ailleurs, la plupart des enquêtes effectuées auprès des populations vivant dans le voisinage de dépôts de déchets dangereux et qui alléguaient être victimes de cancers, de troubles de la reproduction ou de surmortalité n'ont pas démontré que ces atteintes étaient plus fréquentes que dans les populations non exposées (Shusterman, 1992). Les odeurs plaisantes et déplaisantes peuvent se manifester de façon différente à l'EEG. On peut même noter des effets pour certains produits alors que leur niveau est en dessous de leur seuil olfactif (Lorig et coll., 1991). Selon Kilbum (1989), le système nerveux de l'humain est la partie de l'organisme la plus sensible aux contaminants de l'environnement. Chez l'animal, des effets aigus et chroniques ont été maintes fois démontrés sur le comportement et l'activité électrique cérébrale dus à l'exposition à de faibles concentrations de substances chimiques comme certains pesticides, l'acétone et divers agents pharmacologiques (Bell et coll., 1993; Bell, 1994).

Les odeurs peuvent aussi agir directement sur le système immunitaire et entraîner un effet d'immunosuppression (parfois d'immunostimulation) (Calabrese et coll., 1987). Par ailleurs, le système immunitaire pourrait être perturbé par l'exposition aux odeurs par l'intermédiaire de l'état de stress, l'altération de l'humeur ou les réactions dépressives qui pourraient en résulter, ce qui pourrait prédisposer les personnes concernées à d'autres problèmes de santé, par exemple l'incidence et la durée de maladies infectieuses, certains cancers ou des maladies auto-immunes (Stone et coll., 1987; O'Leary, 1990; Weisse, 1992; Lorig, 1992).

Dans l'ensemble, les études portant sur les effets de nature physiologique en liaison avec les odeurs sont relativement peu nombreuses et présentent plusieurs difficultés méthodo-

logiques, principalement à cause du caractère largement subjectif des symptômes rapportés et à leurs grandes variations d'un individu à l'autre. De plus, la difficulté de mesurer les niveaux environnementaux souvent fluctuants des odeurs ne permet pas d'établir avec satisfaction les corrélations avec les diverses manifestations physiologiques.

### 5.6 Effets psychologiques liés aux odeurs

L'exposition à des odeurs environnementales désagréables, tant extérieures qu'intérieures, engendrées par divers types d'activités, peut aussi avoir des effets variés de nature psychologique sur les personnes exposées. Ces effets se manifestent par des atteintes de l'humeur, de l'anxiété, diverses réactions émotives, des troubles du sommeil, et l'altération de plusieurs types de performances intellectuelles dont les capacités d'apprentissage (Winneke et Katska, 1977; Rotton, 1983; Camilleri et coll., 1986; Ehrlichman et Bastone, 1992; Shusterman, 1992; Laing et coll., 1994; Deloraine et coll., 1995; Schiffman et coll., 1995). Le stress engendré par une exposition fréquente à des odeurs désagréables peut par la suite entraîner d'autres types de problèmes de santé, par exemple une augmentation de la tension artérielle, une diminution de la motilité gastrique ou une augmentation de la tension musculaire du cuir chevelu chez des personnes souffrant de céphalées à type de tension (Boxer et coll., 1984; Selmi et Manaster, 1989; Rugh et coll., 1990). Par déduction, on pourrait aussi relier l'exposition aux odeurs environnementales aux problèmes de santé généralement reconnus comme consécutifs à un état de stress chronique tels que la maladie coronarienne, l'ulcère peptique et l'hypertension artérielle chronique (Shusterman, 1992).

Notons enfin que des phénomènes psychologiques de masse ont été décrits à la suite d'exposition à des odeurs environnementales inattendues (CDC, 1983; Hall et Johnson, 1989; Jones et coll., 2000). Ce phénomène se manifeste par la propagation rapide dans une population, de symptômes subjectifs que l'on attribue à l'exposition à une substance toxique dans l'environnement, mais sans que l'on puisse mettre en évi-

dence, de façon objective, une quelconque cause environnementale. Ce type d'effet est plus susceptible de se produire dans des populations fermées, en milieu de travail ou dans une école, par exemple, que dans une communauté.

## 6. NUISANCE OLFACTIVE ET RÉGLEMENTATIONS

Un certain nombre d'activités industrielles ou commerciales sont responsables de nuisances olfactives subies par les riverains. Ces nuisances sont de moins en moins acceptées par le public qui les considère comme les manifestations de problèmes plus graves de pollution ou d'impact sur la santé. Pour ces raisons, les pouvoirs publics, surtout au niveau local ou régional, ont imposé des réglementations de plus en plus sévères qui obligent généralement les responsables des nuisances à gérer et diminuer leurs émissions d'odeurs.

### 6.1 Principes à la base des réglementations

La plupart des réglementations actuelles ou en préparation exigent que la concentration odeur à l'extérieur des limites de la propriété visée soit inférieure à 1 u.o./m<sup>3</sup>. Comme nous l'avons dit précédemment, cela correspond à la situation où la moitié de la population ne perçoit pas l'odeur et l'autre moitié la sent. Les méthodes d'analyse olfactométrique actuelles ne permettent pas de mesurer une concentration d'odeur inférieure à 2 ou 3 u.o./m<sup>3</sup>. Il est donc impossible de mesurer une concentration dans l'air ambiant à moins que celle-ci ne soit très élevée. Pour cette raison, les réglementations exigent la mesure du débit odeur (en u.o./s) aux sources (par exemple, à la cheminée) et l'utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique pour estimer la concentration odeur dans l'air ambiant autour du site étudié. Le débit odeur est calculé sur la base de la mesure du débit volumique total et de la concentration odeur mesurée à l'aide d'un olfactomètre à dilution dynamique. L'approche d'étude d'impact odeur présentée dans un paragraphe précédent est particulièrement adaptée à la vérification de la conformité d'un site ou de l'estimation de critères de réduction nécessaires pour respecter les valeurs réglementaires.

## 6.2 Quelques exemples de réglementation

Parmi les réglementations qui exigent une valeur maximale de 1 u.o./m<sup>3</sup>, soulignons le règlement 90 de la Communauté urbaine de Montréal et quelques règlements municipaux ou d'États aux États-Unis. Cette valeur limite, qui doit être respectée en tout temps, pose des problèmes particuliers aux industries qui ne la dépassent que quelques fois dans l'année, à l'occasion de conditions météorologiques rares ou de situations de fonctionnement irrégulières. Pour cette raison, certains pays européens préfèrent réglementer le nombre d'heures par an (pourcentage) durant lesquelles la valeur limite est dépassée (Allemagne) ou les valeurs limites qui peuvent être dépassées pendant un pourcentage fixé d'heures dans l'année (percentiles) (Pays-Bas).

Sous d'autres juridictions, seule l'existence de plaintes entraîne, après constatation officielle, l'émission d'un avis d'infraction et l'exigence de diminuer la nuisance. Parfois, on demande de respecter une distance précise entre les sources et les habitations ou les voies publiques. Ceci se rencontre par exemple dans le secteur agricole (porcheries).

## 7. APPROCHES D'ATTÉNUATION DES ODEURS

Diverses approches de traitement des odeurs sont employées avec succès pour diminuer ou éliminer les nuisances olfactives. On peut distinguer les approches de prévention et les approches des traitements avant ou à l'émission.

### 7.1 Approches de prévention

Comme tout problème de pollution, il est préférable de concevoir et d'opérer les procédés industriels de façon à ne pas émettre d'odeurs. Les approches récentes de prévention de la pollution (P2) et d'analyse du cycle de vie (ACV), que l'on retrouve notamment dans la série de normes ISO 14 000\*, sont particulièrement adaptées pour diminuer la pollution et la nuisance olfactive à la source. Toutefois, ces approches sont encore relativement difficiles à

mettre en oeuvre. D'une part, en raison du manque d'expertise dans la communauté technique pour l'utilisation d'approches dont certaines sont encore au stade de la recherche et du développement et, d'autre part, à cause de la difficulté de quantifier leurs impacts. L'implantation lente mais progressive des normes ISO 14 000 et des systèmes de gestion environnementale dans les prochaines années semble cependant garante de l'intérêt des approches de prévention.

### 7.2 Approches de traitement

Deux types d'approche sont envisageables pour le traitement des émissions d'odeurs, toutes deux basées sur la collecte et le traitement des effluents gazeux avant leur dispersion dans l'atmosphère qui se fait généralement par une cheminée. Mentionnons que la cheminée est en elle-même un système d'abattement de l'impact olfactif puisque, lorsque bien conçue, elle disperse les émissions de telle sorte qu'elles ne retombent pas au sol et se diluent dans l'atmosphère. Les approches de traitement sont soit récupératrices soit destructrices. Elles sont détaillées dans un certain nombre de manuels de référence dont celui de Martin et Laffort (1991) et celui de Rafson (1998).

Les approches récupératrices sont utilisées lorsque les concentrations en produits odorants sont suffisamment élevées, de telle sorte qu'il y a un intérêt à les récupérer, soit pour fins de recyclage, soit pour fins de commercialisation. C'est notamment le cas dans les industries qui utilisent des solvants ou d'autres produits organiques. Les approches récupératrices utilisées sont listées ci-dessous.

- Le lavage ou l'absorption des odeurs dans une tour où s'écoule généralement un liquide (souvent de l'eau) à contre-courant du courant gazeux à traiter, permettant ainsi un transfert des composés odorants vers la phase liquide.
- L'adsorption des odeurs sur une phase solide (principalement du charbon actif) qui se sature progressivement par le courant gazeux à traiter; ceci implique que la phase solide doit être remplacée ou régénérée.

\* Elles sont basées sur le choix des matières premières et des procédés qui est motivé par une conception et une opération qui intègre des critères environnementaux de diminution de la pollution ou de développement durable.

- La séparation par membranes, constituées de matériaux généralement organiques, permet la perméation sélective des composés que l'on désire retirer du courant gazeux.
- La condensation ou la cryocondensation permet la récupération sous forme liquide de composés organiques odorants.

Les unités de traitement sont généralement installées à la sortie du procédé qui émet des composés odorants ou avant la cheminée. Le choix de l'une ou de l'autre dépend de nombreux facteurs dont le type et la concentration des composés odorants, le débit du courant à traiter, les pertes de charge admissibles, les coûts d'investissement et d'opération, ainsi que les coûts de vente ou d'évitement des composés récupérés.

Les techniques destructrices visent à éliminer les composés odorants, généralement par oxydation. Certaines des techniques récupératrices présentées ci-dessus sont utilisées en amont d'une technique destructrice afin de concentrer les composés à éliminer et d'augmenter l'efficacité de l'opération. La destruction se fait principalement par oxydation thermique ou traitement biologique.

- *L'oxydation thermique* dans un incinérateur permet de détruire les composés organiques volatils responsables des odeurs par combustion et se fait souvent à l'aide d'un combustible d'appoint, dans une chambre munie d'un brûleur. Afin de minimiser la consommation de combustible d'appoint, une récupération de chaleur sur les fumées de sortie de la chambre est régulièrement réalisée: on parle alors d'incinérateurs récupératifs ou régénératifs dans le cas de systèmes plus performants utilisant des matériaux d'emménagement et de transfert de chaleur entre les fumées de combustion et l'effluent à traiter. Soulignons que la torchère est un système de combustion moins performant qu'un incinérateur qu'il ne convient pas de recommander pour des fonctionnements en continu.
- *L'oxydation catalytique* est basée sur une oxydation, non pas dans une flamme comme pour l'oxydation thermique, mais à la surface d'un catalyseur (dont la phase active est constituée de métaux nobles - platine ou palladium - ou d'oxydes métalliques). Bien que

plus chère en termes d'investissement, cette technique permet de diminuer grandement la quantité de combustible d'appoint, car l'oxydation a lieu à des températures beaucoup plus basses (quelques centaines de degrés au lieu de 1000 °C pour l'incinération avec flamme). La combustion catalytique a de plus l'avantage de limiter la production d'autres polluants atmosphériques comme les oxydes d'azote qui sont fréquemment observés dans les incinérateurs à flamme.

- *Le traitement biologique* est très attrayant, car il est moins coûteux et permet des performances intéressantes. Plusieurs principes sont utilisés, allant des biolaveurs aux biofiltres. Dans ce dernier cas, lors du passage d'un courant gazeux à travers un lit de biomasse, les contaminants se dissolvent dans le film liquide entourant les particules de la biomasse et les microorganismes présents les dégradent, soit par respiration aérobie soit pour produire d'autres microorganismes. Les biofiltres sont généralement à base de tourbe ou de compost, qui fournit la matière organique de support aux microorganismes et auquel on a rajouté des agents structurants, des nutriments et, au besoin, des microorganismes. Ces derniers, indigènes dans le biofiltre ou ensemencés de sources externes, dégradent les composés organiques présents dans le courant gazeux qu'ils métabolisent et minéralisent jusqu'aux produits d'oxydation finaux tels que le gaz carbonique. Le besoin de maintenir des niveaux d'humidité, de pH et de nutriments adéquats à la vie des microorganismes rend parfois l'opération du biofiltre difficile. Les variations fréquentes dans la charge à traiter, les délais d'acclimatation des microorganismes font que, pour certaines applications, la performance moyenne ne sera pas suffisamment élevée pour satisfaire aux exigences de traitement désirées.

Le traitement thermique ou biologique s'applique avec quelques précautions pour les produits soufrés (corrosion, empoisonnement des catalyseurs, changement de pH), mais est plus difficile à mettre en œuvre pour les produits halogénés. La présence de chlore peut ainsi conduire à la formation de dioxines et de furannes lors de l'incinération. Quelques réalisations récentes en biofiltration des chlorobenzènes

apparaissent cependant très prometteuses (Roberge et coll., 2001).

Finalement, des produits masquant ou neutralisant les odeurs sont souvent utilisés dans le cas de sites d'enfouissement, de boues d'usines d'épuration des eaux, etc. Alors que les masquants ne font que cacher l'odeur en rajoutant une autre odeur dont la combinaison montre des effets antagonistes, les neutralisants, eux, sont sensés éliminer les odeurs par des réactions chimiques ou biologiques. Les masquants ne devraient pas être utilisés en traitement de routine d'émissions odorantes, mais seulement en cas d'urgence. Les performances des neutralisants sont très variables, car ils ne sont adaptés qu'à certains produits. Leur mode de fonctionnement est très variable: ils détruisent par oxydation les molécules odorantes lorsqu'ils sont répandus sous forme de brouillards sur la source émettrice; ils tuent la flore microbienne responsable de la biodégradation anaérobie mal-odorante ou ils remplacent la flore indigène par une flore différente qui réoriente les réactions de décomposition vers des réactions moins odorantes. Même si les neutralisants ne permettent pas de régler un problème d'odeur, sauf dans des cas particuliers, ils peuvent faire partie de la panoplie d'approches qu'il est souvent nécessaire de combiner afin de régler de façon satisfaisante un problème d'odeurs.

## 8. CONCLUSION

Les études humaines et animales suggèrent que les symptômes associés à l'exposition à des odeurs environnementales sont le résultat d'interrelations complexes entre des facteurs biologiques, psychologiques et sociaux.

Une plainte reliée aux odeurs environnementales est souvent difficile à interpréter, du fait que la nature des problèmes rapportés est surtout subjective. Même si l'approche toxicologique classique ne permet pas d'expliquer de façon objective les symptômes ressentis, plusieurs mécanismes physiopathologiques permettent cependant de mieux comprendre les manifestations qu'entraîne l'exposition à des odeurs désagréables.

La plupart des réglementations de par le monde exigent qu'une nuisance olfactive soit éliminée. Si les meilleures approches sont des approches de prévention qui évitent la production de composés odorants, dans bien des cas, seul un traitement avant émission dans l'atmosphère sera envisagé pour des raisons de simplicité. De nombreuses technologies commerciales offrent des performances très intéressantes, mais souvent dans des domaines d'applications restreints. Ainsi, une approche sera préférée à une autre en fonction des caractéristiques de l'effluent (nature, composition, débit), des coûts et des performances désirées. Bien que le traitement biologique apparaisse le plus intéressant, il est le moins utilisé comparativement aux tours de lavage, aux filtres à charbon actif ou aux incinérateurs.

## Bibliographie

- Alarie, Y. «Irritating properties of airborne materials to the upper respiratory tract», *Arch Environ Health*, 13, 1966, p. 433-449.
- American Industrial Hygiene Association (AIHA). *Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards*, Industrial Hygiene Association, Fairfax, Va, 1989.
- American Industrial Hygiene Association (AIHA). *Odors Threshold for Chemicals with Established Occupational Health Standards*, American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA, 1993.
- Amoore, J. E. et E. Hautala. «Odor as an Aid to Chemical Safety: Odor Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatilities for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Dilution-», *J Appl Toxicol*, 3, 1983, p. 272-290.
- Baldwin, C. M. et I. R. Bell. «Increased cardiopulmonary disease risk in a community-based sample with chemical odor intolerance: implications for women's health and health-care utilization», *Arch Environ Health*, 53, 5, 1998, p. 347-353.
- Bell, I. R., G. E. Schwartz, J. M. Peterson et D. Amend. «Self-Reported Illness from Chemical Odors in Young Adults Without Clinical Syndromes or Occupational Exposures», *Arch Environ Health*, 48, 1, 1993, p. 6-13.
- Bell, I. R., «White paper: neuropsychiatric aspects of sensitivity to low-level chemicals: a neural sensitization model», *Toxicol Ind Health*, 10, 4/5, 1994, p. 277-312.
- Bell, I. R., C. S. Miller, G. E. Schwartz, J. M. Peterson et D. Amend. «Neuropsychiatric and Somatic Characteristics of Young Adults with and without Self-Reported Chemical Odor Intolerance and Chemical Sensitivity», *Arch Environ Health*, 51, 1, 1996, p. 9-21.
- Berglund, B., U. Berglund, T. Lindvall et coll. «A quantitative principle of perceived intensity summation in odor mixtures», *J Exp Psychol*, 100, 1973, p. 29-38.
- Boxer, P. A., M. Singal et R. W. Hartle. «An epidemic of psychogenic illness in an electronics plant», *Occup Med*, 32, 1984, p. 287-294.
- Cain, W. S. «Contribution of the trigeminal nerve to perceived odor magnitude», *Ann NY Acad Sci*, 237, 1974a, p. 28-34.
- Cain, W. S. «Perception of odor intensity and the time course of olfactory adaptation», *ASHRAE Trans*, 80, 1974b, p. 53-75.
- Cain, W. S. et H. R. Moskowitz. «Psychophysical Scaling of Odor», dans A. Turk, J. W. Johnston et D. G. Moulton (rédacteurs) *Human Responses to Environmental Odors*, Academic Press, N.Y., 1974, p. 1-32.
- Cain, W. S. «The case against threshold measurement of environmental odors», *JAPCAJ Air Waste Ma*, 30, 1980, p. 1295-96
- Cain, W. S. «Indoor air as a source of annoyance», dans H. S. Koelega (rédacteur) *Environmental annoyance: characterisation, measurement and control*, Elsevier, Amsterdam, 1987.
- Cain, W. S. et J. E. Cometto-Muniz. «Irritation and odor as indicators of indoor pollution», *Occup Med*, 10, 1, 1995, p. 133-145.
- Calabrese, J. R., M. A. Kling et P. W. Gold. «Alteration in Immunocompetence during Stress, Bereavement, and Depression: Focus on Neuroendocrine Regulation», *Am J Psychiat*, 144, 1987, p. 1123-1134.
- Camilleri, M., J.-R. Malagelada, P. C. Kao et A. R. Zinmeister. «Gastric and autonomic response to stress in functional dyspepsia», *Dig Dis Sci*, 31, 1986, p. 1169-1177.
- Cavalini, P. M. «Industrial odorants: the relationship between modeled exposure concentrations and annoyance», *Arch Environ Health*, 49, 5, 1994, p. 344-351.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). «Epidemiologic notes and reports epidemic psychogenic illness in a industrial setting - Pennsylvania», *MMWR*, 32, 22, 1983, p. 287-294. [www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00000092.htm](http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/00000092.htm)
- Cometto-Muniz, J. E., M. R. Garcia-Medina et A. M. Calvino. «Perception of pungent odorants alone and in binary mixtures», *Chem Senses*, 14, 1989, p. 163-173.
- Dalton, P. «Odor perception and belief about risk», *Chem Senses*, 21, 1996, p. 447-458.
- Dalton, P., C. J. Wysocki, M. J. Brody et H. J. Lawley. «Perceived odor, irritation, and health symptoms following short-term exposure to acetone», *Am J Ind Med*, 31, 1997a, p. 558-569.

- Dalton, P., C. J. Wysocki, M. J. Brody et H. J. Lawley. «The influence of cognitive bias on the perceived odor, irritation and health symptoms from chemical exposure», *Int Arch Occup Environ Health*, 69, 1997b, p. 407-417.
- Deloraine, A., D. Zmirou, C. Tillier, A. Boucharlat et H. Bouti. «Case-control assessment of the short-term health effects of an industrial toxic waste landfill», *Environ Res*, 68, 1995, p. 124-132.
- Doty, R. L. «Olfactory communication in humans», *Chem Senses*, 6, 1981, p. 351-376.
- Ehrlichman, H. et L. Bastone. «The use of odour in the study of emotion», dans S. Van Toller et G. H. Dodd (rédacteurs) *Fragrance. The Psychology and Biology of Perfume*, Elsevier Applied Science, Londres, 1992, p. 143-159.
- Flesh, R. D. et A. Turk. «Social and Economic Effects of Odors», dans P. N. Cheremisinoff et R. A. Young (rédacteurs) *Industrial Odor Technology Assessment*, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI, 1975, p. 57-74.
- Guy, C. et T. Page. «Methodology for Odor Impact Evaluation», *Water Science & Technology*, sous presse, 2002.
- Hall, E. M. et J. V. Johnson. «A case study of stress and mass psychogenic illness in industrial workers», *J Occup Med*, 31, 1989, p. 243-250.
- Hogart, J. *Vocabulaire de la santé publique*, Organisation Mondiale de la Santé, Bureau régional de l'Europe, Copenhague, 1977, 208 p.
- Hudon, G., C. Guy et J. Hermia., «Modeling Intensity Interactions in Odor Mixtures», *Adv Environ Res*, 3, 2000a, p. 412-423.
- Hudon, G., C. Guy et J. Hermia. «Measurement of Odor Intensity by an Electronic Nose», *J Air Waste Manage*, 50, 2000b, p. 174-185.
- Jones, T E, A. S. Craig, D. Hoy, E. W. Gunter, D. L. Ashley, D. B. Barr, J. W. Brock et W. Schaffner. «Mass psychogenic illness attributed to toxic exposure at a high school», *New Engl J Med*, 342, 2000, p. 96-100.
- Kilburn, K. H. «Is the human nervous system most sensitive to environmental toxins?», *Arch Environ Health*, AA, 1989, p. 343-344.
- Kipen, H. M., W. Hallman, K. Kelly-McNeil et coll. «Measuring chemical sensitivity prevalence: a questionnaire for population studies», *Am J Public Health*, 85, 1995, p. 574-577.
- Kjaergaard, S., O. E. Pedersen et L. Molhave. «Sensitivity of the eyes to airborne irritant stimuli: influence of individual characteristics», *Arch Environ Health*, 47, 1992, p. 45-50.
- Koren, H. S., D. E. Graham et R. B. Devlin. «Exposure of humans to a volatile organic mixture. III. Inflammatory response», *Arch Environ Health*, 47, 1992, p. 38-44.
- Kress-Rodgers, E. *Handbook of Biosensors and Electronic Noses*, CRC Press, Boca-Raton, 1996.
- Laboratoire Neurosciences et Systèmes Sensoriels. *Le système olfactif* Université Claude-Bernard, Lyon. 1. [univ-lyon1.fr/documentation/olfaction/index-home.htm](http://univ-lyon1.fr/documentation/olfaction/index-home.htm)
- Laing, D. G., A. Eddy et D. J. Best. «Perceptual Characteristics of Binary, Tertiary, and Quaternary Odor Mixtures Consisting of Unpleasant Constituents», *Physiol Behav*, 56, 1, 1994, p. 81-93.
- Lindvall, T. et T. P. Radford. «Measurements of annoyance due to exposure to environmental factors», *Environ Res*, 6, 1973, p. 1-36.
- Lorig, T S., E. Huffman, A. Demartino et J. Demarco. «The Effects of Low Concentration Odors on EEG Activity and Behavior», *J Psychophysiol*, 5, 1991, p. 69-77.
- Lorig, T. S. «Cognitive and noncognitive effects of odour exposure: electrophysiological and behavioral evidence», dans S. Van Toller et G. H. Dodd (rédacteurs) *The Psychology and Biology of Perfume*, Elsevier Applied Science, Londres, 1992, p. 161-173.
- Manley, C. H. «Psychophysiological Effects of Odor», *Crit Rev Food Sci Nutr*, 33, 1, 1993, p. 57-62.
- Martin, G. et P. Laffort. *Odeurs et désodorisation dans l'environnement*, Tec & Doc — Lavoisier, Paris, 1991, 452 p.
- Miner, J. R. «Controlling Odors From Livestock Production Facilities: State-of-the art», dans *Livestock Waste: A Renewable Ressource*, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Livestock Wastes, ASAE (American Society of Agricultural Engineers), St. Joseph, MI, 1980, p. 297-301.
- Odotech inc. «Odile: Olfactomètres à dilution dynamique», 1999. [www.odotech.com](http://www.odotech.com)
- O'Leary, A. «Stress, emotion, and human immune function», *Psychol Bull*, 108, 1990, p. 363-382.

- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). *Promotion de la santé: Concepts et principes en action - Un cadre de politique*. Bureau régional de l'Europe, 1986.
- Page, T. et C. Guy. «Odor Dispersion Modeling», 90<sup>th</sup> Annual Meeting, Air & Waste Management Association, Toronto, #97-TA35.05, 1997.
- Rafson, H. J. *Odor and VOC Control Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1998, 800 p.
- Roberge, R, M. J. Gravel, L. Deschênes, C. Guy et R. Samson. «Biofiltration of dichlorobenzenes», *Water Sci Technol*, 44, 9, 2001, p. 287-293.
- Rosenstock, L. et M. R. Gullen. «Low-Level Environmental Exposures», dans *Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine*, W. B. Saunders Company, Philadelphie, 1994, p. 667-672.
- Rotton, J. «Affective and Cognitive Consequences of Malodorous Pollution», *Basic Appl Soc Psychol*, 4, 1983, p. 171-191.
- Rugh, J. D., J. P. Hatch, P. J. Moore, M. Cyr-Provost, N. N. Boutros et C. S. Pellegrino. «The effects of psychological stress on electromyographic activity and negative affect in ambulatory tension-type headache patients». *Headache*, 30, 1990, p. 216-219.
- Schiffman, S. S. «Livestock Odors: Implications for human health and well-being», *J Anim Sci*, 76, 1998, p. 1343-1355.
- Schiffman, S. S., E. A. Sattely Miller, M. S. Suggs et B. G. Graham. «The Effect of Environmental Odors Emanating from Commercial Swine Operations on the Mood of Nearby Residents», *Brain Res Bull*, 37, 4, 1995, p. 369-375.
- Selmi, D. et K. Manaster. *State Environmental Law*, Clark Boardman Co, N.Y., 1989.
- Shusterman, D. «Critical Review: The Health Significance of Environmental Odor Pollution», *Arch Environ Health*, 47, 1. 1992, p. 76-87.
- Silver, W. L. «The common chemical sense», dans T. E. Finger et W. L. Silver (rédacteurs) *Neurobiology of Taste and Smell*, John Wiley & Sons, New York, 1987, p. 65-87.
- Stone, A. A., D. S. Cox, H. Valdimarsdottir, L. Jandorf et J. M. Neale. «Evidence that secretory IgA antibody is associated with daily mood», *J Person Soc Psychol*, 52, 1987, p. 988-993.
- Thu, K., K.J. Donham, R. Ziegenhorn, S. Reynolds, P. S. Thorne, P. Subramanian, P. Whitten et J. Stookesberry. «A control study of the physical and mental health of residents living near a large scale swine operation», *J Ag Safety Health*, 3, 1, 1997, p. 13-26.
- Truex, R. C. et M. B. Carpenter. *Human Neuroanatomy*, The William & Wilkins Co., Baltimore, 1964, 502 p.
- Verschut, C-, H. M. E. Miedema, J. Blaauwbroek, P. H. Punter et K. D. Maiwald. «Koppeling stankconcentratie en stankbeleving», Publicatier-eks Lucht 98. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Leiden (en hollandais), cité par P. M. Cavalini «Industrial odorants: the relationship between modeled exposure concentrations and annoyance», *Arch Environ Health*, 49, 5, 1994, p. 344-351.
- Weisse, C. S. «Depression and immunocompetence. A review of the literature», *Psychol Bull*, 3, 1992, p. 475-489.
- Winneke, G. et J. Kastka. «Odor Pollution and Odor Annoyance Reactions in Industrial Areas of the Rhine-Ruhr Region», dans J. Le Magnen et P. MacLeod (rédacteurs) *Olfaction and Taste*, VI, IRI, Press, Paris, Oxford, 1977, p. 471-479.
- Winneke, G. et J. Kastka. «Comparison of odour-annoyance data from different industrial sources : problem and implications», dans H. S. Koelega (rédacteur) *Environmental Annoyance: Characterization. Measurement and Control*, Elsevier, Amsterdam, 1987, p. 11-28.

