

Environnement et santé publique

FONDEMENTS ET PRATIQUES

3^E PARTIE : MILIEUX, EXPOSITIONS ET RISQUES

Rédacteurs: Michel Gérin, Pierre Gosselin, Sylvaine Cordier, Claude Viau,
Philippe Quéuel et Éric Dewailly

Éditeurs : Edisem et Tec & Doc

Chapitre 19 : Odeurs

VERSION PRÉLIMINAIRE

Auteur responsable:

Benoit Gingras, md, MSc
Direction de la santé publique Chaudière-Appalaches
Montmagny (Québec)

Co-auteurs :

Christophe Guy, ing., Ph.D., professeur & directeur
Département de génie chimique, École Polytechnique de Montréal

Thierry Pagé, ing. M.Sc.A.,
Président, Odotech inc.

Juin 2002

Environnement et santé publique

Chapitre 18 : Odeurs

Plan du chapitre

Introduction

(incluant le processus de l'olfaction)

Les principales sources d'odeurs environnementales

Les sources d'origine urbaine

Les sources d'origine industrielle

Les sources d'origine agricole

Les sources de l'air intérieur

Les sources d'origine naturelle

Les populations touchées

Les caractéristiques de l'exposition

La perception des odeurs

Météorologie

L'analyse de l'impact-odeur

Les effets des odeurs environnementales sur la santé

Les concepts de nuisance et de santé en matière d'odeur

Physiopathologie des symptômes reliés aux odeurs

Relation entre la perception des odeurs et la toxicité aiguë

Les mécanismes des symptômes reliés aux odeurs environnementales

Les effets physiologiques reliés aux odeurs

Les effets psychologiques reliés aux odeurs

La nuisance olfactive et les réglementations

Les principes à la base des réglementations

Quelques exemples de réglementation

Les approches d'atténuation des odeurs

Les approches de prévention

Les approches de traitement

Conclusion

1. INTRODUCTION

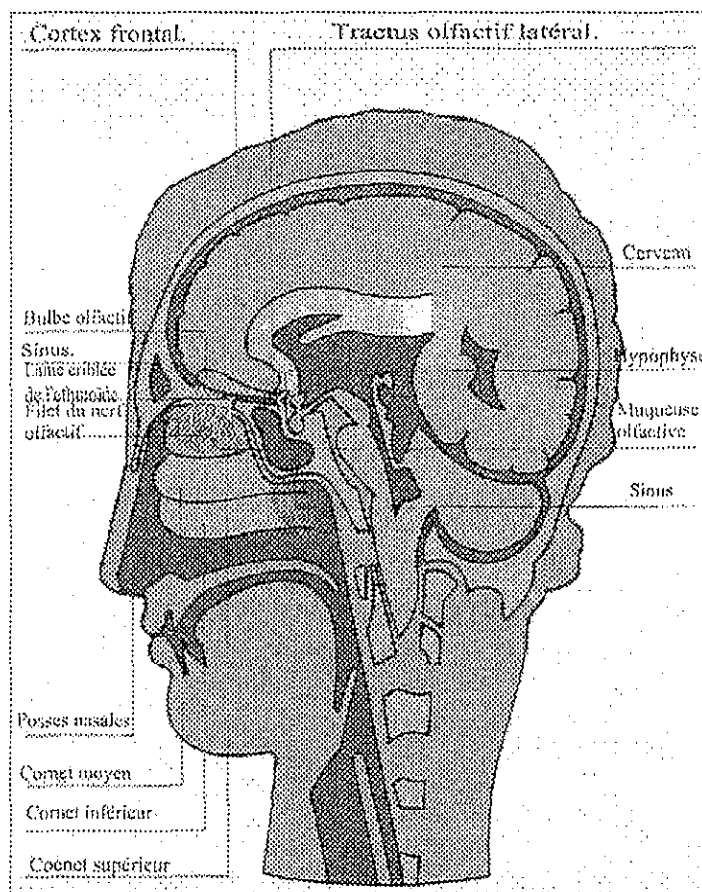
L'odorat joue un rôle important dans notre sentiment de confort et de bien-être. L'industrialisation et le développement des services municipaux, combinés au phénomène de l'étalement urbain et au manque de planification dans l'aménagement des territoires, ont fait naître toutes sortes de situations où des citoyens sont exposés à des odeurs incommodantes. 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 identifierons les principales sources d'odeurs environnementales et les populations qui y sont 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.

Le 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 1). Les influx électriques ainsi générés sont transmis via le nerf olfactif (1^{er} nerf crânien qui traverse le crâne par la plaque cribreuse) au système olfactif central situé dans le système limbique ⁽¹⁾. Une branche du 5^e nerf crânien, le trijumeau, transporte pour sa part la sensation éventuelle d'irritation à partir de la muqueuse nasale, du naso-pharynx et de l'oro-

pharynx, à la fois en ce qui concerne la sensation du goûter et de l'odorat. Le nerf trijumeau contribue aussi à évaluer la magnitude de l'odeur même pour les composés sans effet irritant ⁽²⁾.

Figure 1 : Schématisation des voies de l'olfaction



Source : Laboratoire de Neurosciences et Olfaction, Université de Lyon, France ⁽³⁾

2. PRINCIPALES SOURCES D'ODEURS ENVIRONNEMENTALES

Une grande variété d'activités urbaines, industrielles et agricoles sont la source d'émissions d'odeurs dans l'air environnant et sont susceptibles d'atteindre et d'affecter des personnes.

Certains milieux naturels où 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 natures variées.

Une source d'odeur est généralement composée de multiples produits odorants dont certains ont aussi un caractère irritant et qui agissent simultanément sur la muqueuse olfactive. Les différents produits composant l'odeur ont plutôt tendance à se combiner de façon infra-additive (ou hypoadditive) peu importe la nature des composés impliqués ou leur degré de similitude ⁽⁴⁾. L'effet irritant aurait cependant tendance à agir de façon additive, surtout lorsque leur concentration est plus élevée ⁽⁵⁾.

Le tableau 1 décrit des sources d'odeurs environnementales parmi les plus fréquentes selon les domaines d'origine

Tableau 1 : Principales sources d'odeurs environnementales

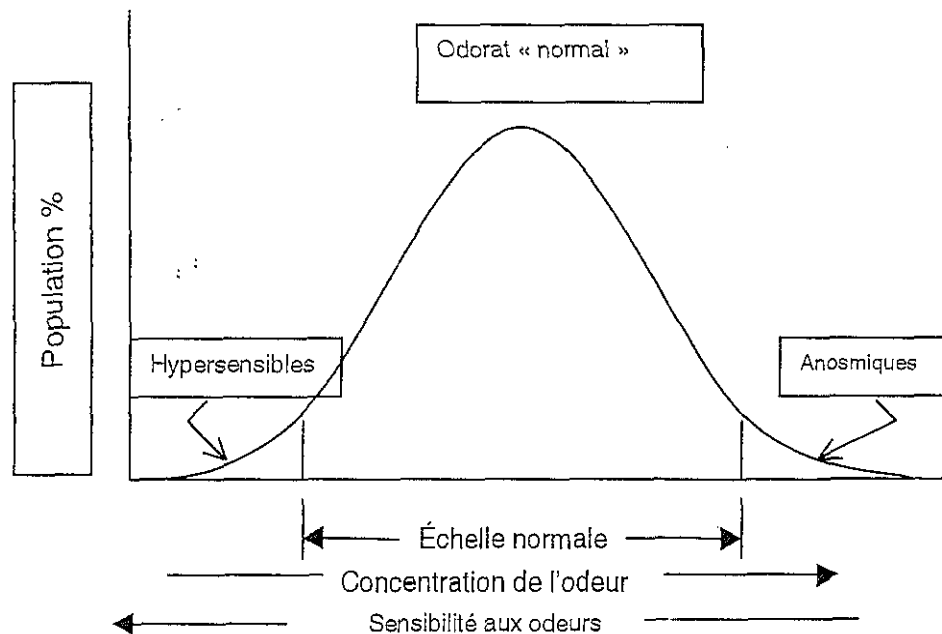
DOMAINE	TYPES D'ACTIVITÉS	TYPES DE CONTAMINANT RESPONSABLE DES ODEURS
MUNICIPAL	<ul style="list-style-type: none"> ÉPURATION DES EAUX USÉES 	Composés soufrés (H ₂ S, mercaptans, etc) Composés azotés (NH ₃ , amines, etc) Autres (acides gras volatiles, aldéhydes, etc.)
	<ul style="list-style-type: none"> LIEUX D'ENFOUISSEMENT SANITAIRE 	Composés soufrés (diméthyl-disulfure, H ₂ S, etc.)
INDUSTRIEL	<ul style="list-style-type: none"> PÂTES ET PAPIERS (Procédé Kraft; procédé acide au sulfite) 	Composés soufrés (H ₂ S, SO ₂ , diméthyl disulfure, , méthyl mercaptan) Térébenthine
	<ul style="list-style-type: none"> RAFFINERIES DE PÉTROLE 	SO ₂ , autres composés soufrés, COV variés
	<ul style="list-style-type: none"> FONDERIES 	Solvants organiques volatils divers (SOV)
	<ul style="list-style-type: none"> INDUSTRIE ALIMENTAIRE : boulangerie, aliments frits, café, distillerie, fumoir, équarrissage 	Variables
	<ul style="list-style-type: none"> TRAITEMENT DES SURFACES MÉTALLIQUES 	Acides sulfuriques, acides nitriques, etc.
	<ul style="list-style-type: none"> ATELIERS DE PEINTURE 	Méthyl-éthyl cétone, acétone, toluène, xylène
	<ul style="list-style-type: none"> PLASTIQUES (moulage, fibres de verre, extrusion) 	Styrène, SOV divers
	<ul style="list-style-type: none"> SITE DE DÉCHETS DANGEREUX 	Variables
AGRICOLE	<ul style="list-style-type: none"> BÂTIMENTS D'ÉLEVAGE STRUCTURES D'ENTREPOSAGE DES FUMIERS (et autres fertilisants organiques) ÉPANDAGE DE FUMIER 	NH ₃ , H ₂ S et autres composés sulfurés, amines, acides gras volatils, indols, scatols, phénols etc.
	<ul style="list-style-type: none"> ÉPANDAGE DE PESTICIDES 	Variables selon produit, solvants divers
AIR INTÉRIEUR	<ul style="list-style-type: none"> OCCUPANTS 	Effluves biologiques
	<ul style="list-style-type: none"> TABAC 	~ 5 000 produits chimiques
	<ul style="list-style-type: none"> MATÉRIAUX 	Formaldéhyde, divers autres COV
	<ul style="list-style-type: none"> VENTILATION 	Distribution de substances générant des odeurs.

3. POPULATIONS TOUCHÉES

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

Une odeur émise est perçue par les personnes exposées selon des caractéristiques quantitatives (intensité), qualitatives (reconnaissance de l'odeur) et son caractère hédonique (appréciation). 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⁽⁶⁾. La pente de la distribution variera d'un composé à l'autre. Cependant, des personnes pourraient être hypersensibles à une odeur et insensibles à une autre.

Figure 2 : Distribution de la sensibilité olfactive dans la population



(D'après : AIHA, 1993)⁽⁷⁾

Certains facteurs personnels de nature physiologique sont à même d'influencer la sensibilité olfactive chez l'humain ⁽⁸⁾. Citons par exemple l'âge (perte d'acuité), le sexe (femmes plus sensibles dans la plupart des études), le tabagisme (perte de sensibilité), des allergies et divers états de santé. D'autres facteurs externes comme l'exposition professionnelle à des gaz, vapeurs ou particules irritants contribuent aussi à altérer quantitativement et qualitativement la perception des odeurs. , En plus de ces caractéristiques interindividuelles, l'expérimentation a 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. De plus, un phénomène d'adaptation ⁽⁹⁾ qui se manifeste par une baisse, dans le temps, de l'intensité de l'odeur perçue en réponse à une exposition prolongée et, inversement, un phénomène de sensibilisation ⁽¹⁰⁾ qui se présente comme l'accentuation de la détection des odeurs chez un individu exposé à répétition, par exemple, à une odeur industrielle, viennent agir et influencer la sensibilité olfactive des individus.

4. CARACTERISTIQUES DE L'EXPOSITION AUX ODEURS

4.1 PERCEPTION DES ODEURS

Comme nous l'avons vu, notre perception des odeurs résulte du traitement par notre cerveau de stimuli localisés au niveau de 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:

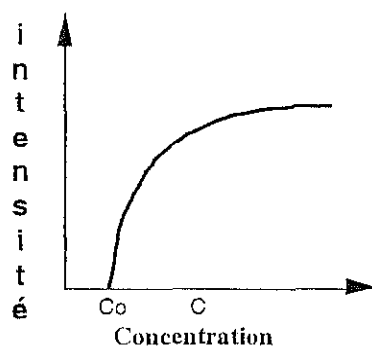
- La qualité de l'odeur: la reconnaissance de l'odeur et dans certains cas pour des individus très entraînés la reconnaissance des principaux composés ou des principales odeurs "primaires" qui la constitue,
- L'appréciation de l'odeur ou son caractère hédonique: l'identification du caractère plaisant 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 il y a une adaptation et une baisse progressive de la sensation ressentie. Pour chaque composé odorant, il existe un seuil en dessous 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 2) :

Figure 2. Relation intensité/concentration de l'odeur

$$I = m (c - c_0)^n$$

où: c: concentration du composé odorant,
 c_0 : seuil de perception olfactive du composé,
 m: constante relative aux unités employées
 n: exposant variant de 0.07 à 0.7,
 I: intensité-odeur.



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 préférentiellement utilisée car elle est objective et quantitative. Elle est basée sur le seuil de perception olfactive d'un mélange gazeux. Ce seuil est défini comme étant la concentration de ce mélange gazeux dans de l'air inodore à laquelle la moitié des membres d'un jury chargé de la flairer perçoit 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 u.o./m³ (unité-odeur par mètre cube). Le nombre de dilutions nécessaires pour obtenir, à partir du mélange de gaz initial, le seuil de perception indique la concentration-odeur en u.o./m³. 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 u.o./m³. 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 avec de l'air pur (et ce contrairement à l'intensité-odeur). Elle rend compte aussi des interactions possibles entre les divers composés d'un mélange odorant (effets additifs, synergiques, antagonistes, etc.) ce que ne peuvent pas faire les concentrations chimiques. Elle n'est par contre pas reliée à l'intensité réelle de la perception olfactive: nous ne pouvons pas faire la différence entre 1000 et 10000 u.o./m³!

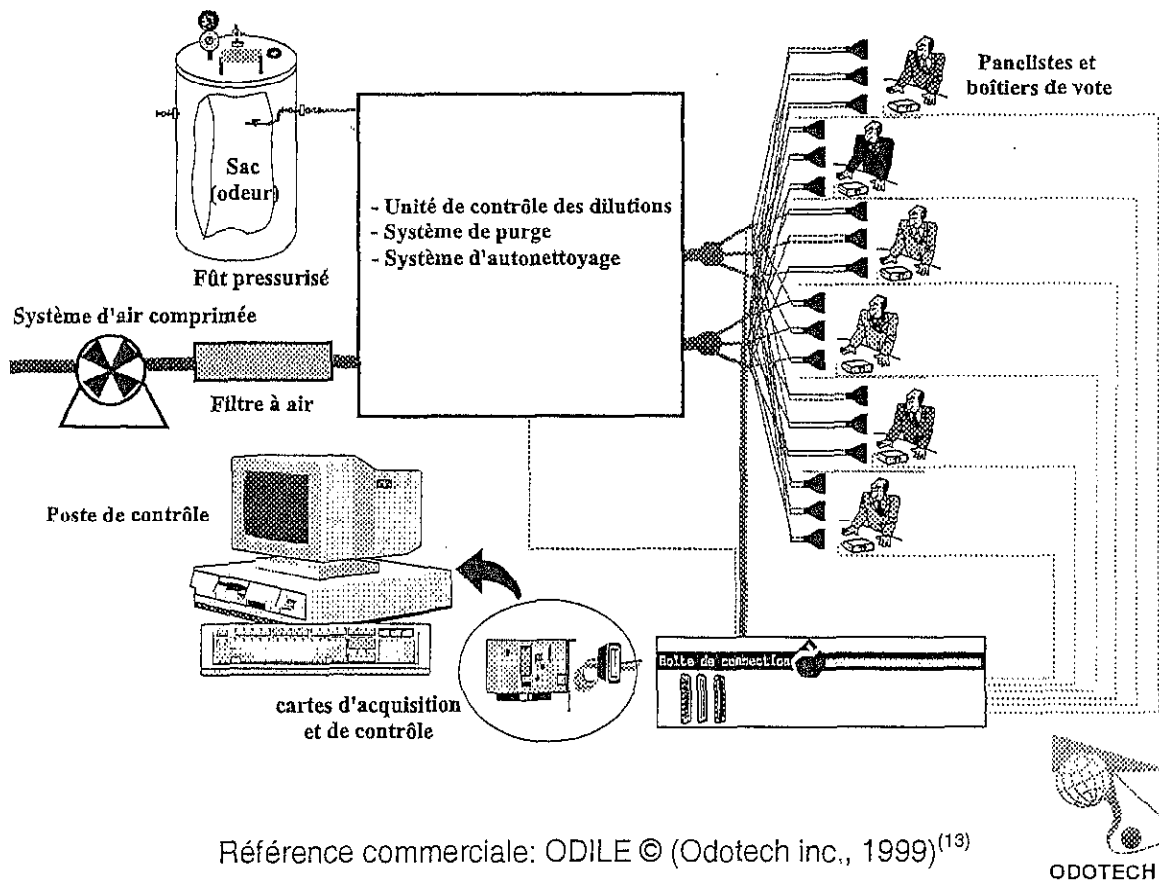
La valeur du seuil de perception olfactive dépend du composé ou du mélange gazeux considéré⁽¹¹⁾. Il peut varier de 0.1 ppb (parties par milliard en volume) pour le mercaptan allylique (odeur désagréable d'ail) ou le thiocrésol (odeur rance de mouffette) à quelques dizaines de ppm (parties par million en volume) comme pour l'ammoniac (17 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

Du fait de l'impossibilité de relier, dans le cas d'odeurs environnementales, la concentration ou l'intensité d'odeur aux concentrations chimiques, l'analyse chimique ne permet pas de quantifier une nuisance olfactive. Néanmoins, elle peut être très utile, en complément de l'analyse

olfactométrique, pour déterminer quels constituants sont responsables de la nuisance. Dans certains 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⁽¹²⁾.

Olfactomètre à dilution dynamique



Référence commerciale: ODILE © (Odotech inc., 1999)⁽¹³⁾

L'analyse olfactométrique en tant que telle repose sur la détermination de la concentration-odeur à l'aide d'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 ASTM # E544-75 (1993) et # E679-91, de la norme européenne CEN # TC264/WG2N222 et de la norme australo-néozélandaise EV/07/03 DR99306. La figure ci-dessus présente un schéma de fonctionnement typique d'un olfactomètre à dilution dynamique. Un système de dilution automatique, complètement informatisé, permet de présenter, dans un cornet de flairage, aux 6 membres du jury diverses dilutions de l'échantillon gazeux à analyser. L'analyse de leurs réponses (odeur perçue ou non; si oui, de quel cornet) selon une méthode statistique appropriée (probit, meilleur estimé, etc.), 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 répétabilité indépendantes du jury utilisé. 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 identifier 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 permet une mesure sur le terrain. Par contre, elle ne permet pas de faire des mesures à la cheminée et elle comporte les 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^(14,15). Il 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 terme d'informations quantitatives qui rendent comptent de l'envergure d'une nuisance olfactive et des objectifs d'atténuation ou de mitigation à atteindre⁽¹⁶⁾. 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 autour de 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 être capables de 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 mal compte de la dispersion des odeurs⁽¹⁷⁾.

L'estimation de l'exposition aux odeurs à l'aide de l'évaluation de la dispersion atmosphérique permet ainsi 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. LES EFFETS DES ODEURS ENVIRONNEMENTALES SUR LA SANTE

On a souvent tendance à aborder les notions de nuisance¹ et d'atteintes au confort sur le plan environnemental relié à divers types d'activités humaines comme des inconvénients sinon négligeables du moins mineurs et inhérents au développement économique nécessaire d'une localité. Dans certains cas, on estime que les plaintes en lien avec 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 en agissant sur le plan physiologique que psychologique. ^(8,19,20)

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 en ce qui a trait à son contrôle. 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 ⁽²¹⁾. 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

¹ Sentiment de déplaisir associé à un « agent » ou à une condition considérée comme affectant négativement un individu ou un groupe ⁽¹⁸⁾.

(22). Maintenant, l'Organisation mondiale de la Santé a donné une définition plus précise encore de la santé. En effet, selon l'OMS, C'est la mesure dans laquelle 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⁽²³⁾.

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 RELIÉS AUX ODEURS

On constate souvent que les effets apparents provoqués par les odeurs environnementales sur la santé de personnes habitant en bordure par exemple de sites de traitement des eaux usées ou d'enfouissement de 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 ont permis de mieux comprendre les mécanismes par lesquels les odeurs peuvent affecter la santé.

Une revue de la littérature réalisée par Shusterman⁽⁸⁾ 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 caractériser objectivement. Néanmoins, plusieurs études rapportées par cet auteur tendent à démontrer une forte corrélation entre les symptômes rapportés par les personnes exposées et 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

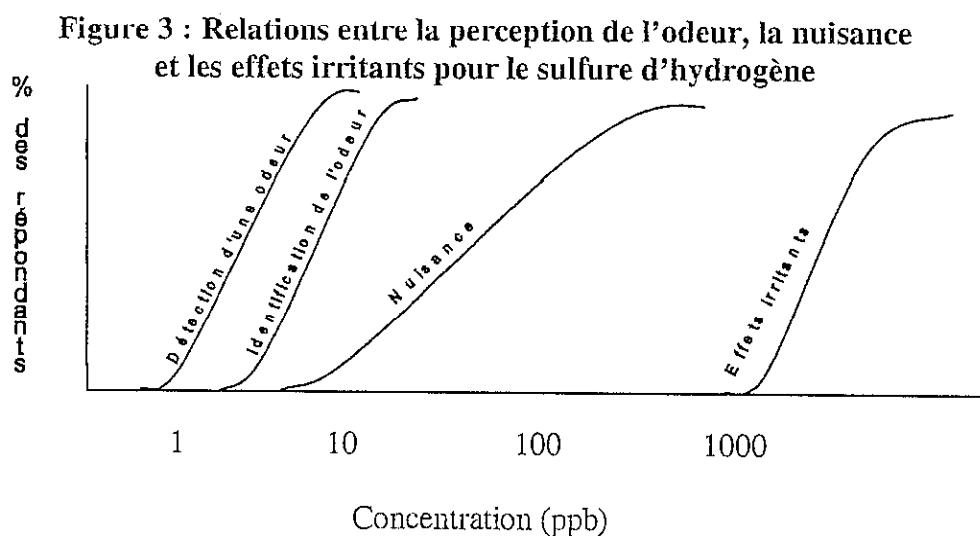
contaminants responsables de ces odeurs étaient bien inférieures aux niveaux considérés comme toxiques. Shusterman conclut que, en matière de problèmes de santé reliés aux odeurs, les mécanismes physiopathologiques ne s'expliquent pas par l'approche toxicologique classique mais doivent être abordés comme des effets non toxicologiques de ces contaminants sur la santé.

5.3 RELATION ENTRE LA PERCEPTION DES ODEURS ET LA TOXICITÉ AIGUË

Malgré des variations interpersonnelles, il est possible d'établir pour les différentes substances odorantes une échelle psychophysique² 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⁽²⁴⁾. 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 8 heures) sur son seuil olfactif constitue le facteur de sécurité olfactive (FSO) pour cette substance⁽²⁵⁾. Lorsque le FSO d'un contaminant est faible (<10), les symptômes reliés aux odeurs sont aussi les symptômes reliés 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 reliés à leur simple odeur même si les concentrations en cause ne constituent pas une exposition toxique proprement dite⁽⁸⁾.

² La psychophysique est la science qui étudie les caractéristiques stimulus-réponse des stimuli sensoriels.

Par exemple, certains gaz comme le sulfure d'hydrogène et divers mercaptans qui, notamment, sont des produits souvent impliqués lors 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 se produisant à des niveaux qui dépassent de peu leur seuil olfactif, donc à des concentrations considérées comme non toxiques⁽²⁶⁾. À titre d'exemple, la figure 3 représente la relation entre les concentrations dans l'air et la proportion de personnes affectées à diverses intensités pour le sulfure d'hydrogène.



(D'après Shustermann, 1992)

5.4 MÉCANISMES DES SYMPTÔMES RELIÉS AUX ODEURS ENVIRONNEMENTALES

Les mécanismes pouvant expliquer les problèmes de santé dont se plaignent des citoyens exposés à un ou des composés odorants à des concentrations de toute évidence sous-irritantes ou sous-toxiques ne sont pas de nature toxicologique mais sont plutôt des mécanismes reliés aux odeurs proprement dites. Ces mécanismes sont de plusieurs natures. Nous présentons très succinctement les principaux mécanismes rapportés dans la littérature scientifique sur le sujet.

<p>TABEAU 2 : PRINCIPAUX MÉCANISMES DES SYMPTÔMES RELIÉS AUX ODEURS ENVIRONNEMENTALES</p>	
<p>AVERSION INNÉE AUX ODEURS</p>	<p>Les facteurs individuels influencent grandement les réactions aux odeurs perçues. Cependant, plusieurs substances odorantes sont considérées par la plupart des gens comme plaisantes ou déplaisantes et provoquent des réactions réflexes.</p>
<p>EFFET DE TYPE PIÉROMONAL</p>	<p>Si le phénomène entre humains a été démontré, un tel effet en lien avec d'autres types d'odeurs environnementales reste à démontrer.</p>
<p>EXACERBATION DE CONDITIONS MÉDICALES PRÉEXISTANTES</p>	<p>Les principales conditions médicales impliquées dans ce mécanisme sont l'asthme, la bronchite, la grossesse, certains troubles psychosomatiques et des dysfonctions olfactives.</p>
<p>INTOLÉRANCE ACQUISE AUX ODEURS</p>	<p>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.</p>
<p>SOMATISATION DUE AU STRESS ENVIRONNEMENTAL</p>	<p>Il s'agit ici d'un état de stress relié 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.</p>
<p>NATURE INTERMITTENTE DU STIMULUS</p>	<p>La réaction relève du sentiment d'absence de contrôle sur un stimulus transitoire récidivant et non désiré.</p>
<p>RÉPONSE DU SYSTÈME IMMUNITAIRE AUX ODEURS DÉPLAISANTES</p>	<p>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). Des auteurs ont aussi démontré que l'altération de l'humeur pouvait avoir une influence négative sur le système immunitaire.</p>
<p>EFFET PHYSIQUE DIRECT</p>	<p>Les molécules de certaines substances odorantes comme par exemple l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène et le chlore agissent directement sur la muqueuse nasale et respiratoire et acheminent les influx nerveux via les nerfs crâniens trijumeau, glossopharyngien et vague. Une telle stimulation de la muqueuse nasale de façon expérimentale 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?</p>

Sources pour le tableau 2 : (8,27,28,29,30,31,32).

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"^(33,34).

5.5 EFFETS PHYSIOLOGIQUES RELIÉS 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^(35,36). Plusieurs recherches ont démontré que la réponse à un stimulus odorant est fortement influencée par la complexité de l'environnement qui caractérise une exposition donnée à un ou plusieurs produits, ceci incluant le contexte social et les caractéristiques psychologiques de l'individu^(35,36,37). Les croyances ou les attentes en matière de sécurité en lien avec une odeur peuvent influencer de façon importante sa perception⁽³⁶⁾. Généralement, les études démontrent une corrélation positive (modérée mais non forte) entre la concentration des odeurs émises par divers types d'usine et le degré de nuisance tel qu'exprimé par les personnes exposées^(38,39,40). 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 exprimés 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^(41,42,43). Les substances odorantes stimulent les muqueuses qui transportent le message via le nerf trijumeau principalement de même que les nerfs vague et glossopharyngien⁽⁴⁴⁾. Ces malaises sont souvent rapportés dans les problèmes liés au « syndrome des édifices clos » et par les personnes souffrant de polysensibilité aux agents chimiques^(45,46). Ces manifestations sont particulièrement influencées par les facteurs cognitifs propres aux individus exposés⁽³⁵⁾.

Dans plusieurs études, on a identifié 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 comme cardio-vasculaire⁽⁴⁷⁾, pulmonaire^(8,47,48,49), nerveux^(42,49), digestif^(49,50). Des modifications identifiables à l'électroencéphalographie et au niveau du rythme cardiaque ont pu être objectivées^(51,52). D'autres symptômes généraux tels que la fatigue, des céphalées, le manque d'appétit etc. ont également été signalés par des auteurs^(38,43,49,50). Par ailleurs, la plupart des enquêtes effectuées auprès des populations vivant dans le voisinage de sites de déchets dangereux et qui alléguaient être victimes d'excès de cancers, de troubles de la reproduction ou de mortalité n'ont pas démontré que ces atteintes étaient plus fréquentes que dans les populations non exposées⁽⁸⁾. 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 sous leur seuil olfactif⁽⁵¹⁾. Selon Kilburn⁽⁵³⁾, 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 sur le comportement et l'activité électrique cérébrale dus à l'exposition à de faibles concentrations de substances chimiques comme par exemple certains pesticides, l'acétone et divers agents pharmacologiques ont été maintes fois démontrés (54,55).

Les odeurs peuvent aussi agir directement sur le système immunitaire et entraîner un effet d'immunosuppression (parfois d'immunostimulation)⁽⁵⁶⁾. 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^(57,58,59,60).

Dans l'ensemble, les études, relativement peu nombreuses portant sur les effets de nature physiologique en lien avec les odeurs présentent de nombreuses difficultés méthodologiques, 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 à 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 RELIÉS AUX ODEURS

L'exposition à des odeurs environnementales désagréables tant extérieures qu'intérieures, provenant de 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^(8,19,20,28,29,48,61,62). 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 l'augmentation de la tension musculaire du cuir chevelu chez des personnes souffrant de céphalée de tension^(21,63,64). 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 comme la maladie coronarienne, l'ulcère peptique et l'hypertension artérielle chronique⁽⁸⁾.

Notons enfin que des phénomènes psychologiques de masse ont été décrits à la suite d'exposition à des odeurs environnementales inattendues^(65,66,67). Ce phénomène se manifeste par la propagation rapide dans une population de symptômes subjectifs que l'on attribue à l'exposition environnementale à une substance toxique mais sans que l'on puisse mettre en évidence de façon objective une quelconque cause environnementale. Ce type d'effet est plus susceptible de se produire dans des populations fermées, comme par exemple en milieu de travail ou dans une école, que dans une communauté.

6. NUISANCE OLFACTIVE ET REGLEMENTATIONS

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./m³. Cela correspond à la situation où 50% de la population ne sent pas l'odeur et où donc 50% de la population la sent. Les méthodes d'analyse olfactométrique actuelles reconnues ne permettent pas de mesurer une concentration d'odeur inférieure à 2 ou 3 u.o./m³; il est donc impossible de mesurer une concentration dans l'air ambiant à moins que celle-ci 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 atteindre les valeurs réglementaires.

6.2 QUELQUES EXEMPLES DE RÉGLEMENTATION

Parmi les réglementations qui exigent une valeur maximale de 1 u.o./m³, 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 situations 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; c'est le cas de la loi sur la qualité de l'environnement du Québec avant le règlement de 2001 sur la qualité de l'atmosphère. 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'ATTENUATION 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 à la source et les approches des traitement avant ou lors de l'émission.

7.1 APPROCHES DE PRÉVENTION

Comme dans tout problème de pollution il est préférable de concevoir et d'opérer les procédés industriels de façon à ne pas émettre des 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 14000 et qui sont basées sur le choix des matières premières et des procédés motivé par une conception et une opération qui intègre des critères environnementaux de diminution de la pollution ou de développement durable, sont particulièrement adaptées pour diminuer la pollution et la nuisance olfactive à la source. Elles sont encore relativement difficiles à mettre en œuvre du fait du manque d'expertise dans la communauté technique pour l'utilisation d'approches dont certaines sont encore au stade de la R&D et de la difficulté de quantifier leurs

impacts. L'implantation lente mais progressive des normes ISO 14000 et des systèmes de gestion environnementales dans les prochaines années semble cependant garante de leur intérêt.

7.2 APPROCHES DE TRAITEMENT

Deux types d'approche sont envisageables pour le traitement des émissions d'odeurs. Toutes deux sont basées sur la collecte et le traitement des effluents gazeux avant leur dispersion à 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 niveau du 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)⁽⁶⁸⁾ et celui de Rafson (1998)⁽⁶⁹⁾.

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 :

- Le lavage ou l'absorption des odeurs dans une tour où, généralement, un liquide (souvent de l'eau) s'écoule 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 (souvent du charbon actif) qui ainsi se sature progressivement par le courant gazeux à traiter et qui doit donc, à un moment donné, être remplacée ou régénérée.

- La séparation par membrane où des membranes en matériaux généralement organiques permettent la perméation sélective des composés que l'on désire retirer du courant gazeux.
- La condensation ou la cryo-condensation qui permet la récupération sous forme liquide de composés organiques odorants.

Ces unités de traitement sont généralement installées en 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 vues ci-dessus sont souvent utilisées en amont d'une technique destructrice afin de concentrer les composés à éliminer pour 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, 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 souvent réalisée : on parle alors d'incinérateurs régénératifs ou récupératifs dans le cas de systèmes plus performants utilisant des matériaux d'emmagasiner 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 des métaux nobles – platine ou palladium – ou des oxydes métalliques). Bien que plus chère en coût 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'azotes qui sont fréquemment observés dans les incinérateurs à flamme.
- Le traitement biologique est très attractif car il est d'un coût bas pour des performances intéressantes. Plusieurs principes sont employés, 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 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, auquel on a rajouté des agents structurants, des nutriments et au besoin des microorganismes. Ces derniers, indigènes dans le biofiltre ouensemencés 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, 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 furannes lors de l'incinération. Quelques réalisations récentes en biofiltration des chlorobenzènes apparaissent cependant très prometteuses⁽⁷⁰⁾.

Finalement, des produits masquant ou neutralisant les odeurs sont souvent utilisés dans le cas de sites d'enfouissement, de boues d'usines d'opération 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 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 dans des cas d'urgence. Les performances des neutralisants sont très variables : adaptés à certains produits, ils sont totalement inefficaces dans d'autres cas. 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 malodorante 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 donc que les symptômes reliés à l'exposition à des odeurs environnementales de l'air intérieur ou extérieur sont le résultat d'interrelations complexes entre des facteurs biologiques, psychologiques et sociaux.

L'interprétation d'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 génération de composés odorants, dans bien des cas, seul un traitement avant émission à l'atmosphère sera envisagé pour des raisons de simplicité. De nombreuses technologies sont disponibles commercialement qui montrent des performances très intéressantes mais souvent dans des domaines d'applications restreints. Ainsi, selon les caractéristiques de l'effluent (nature, composition, débit), selon les coûts et selon les performances désirées, une approche sera choisie plutôt qu'une autre. Alors que le traitement biologique apparaît le plus intéressant, il est le moins utilisé devant les tours de lavage, les filtres à charbon actifs ou les incinérateurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. TRUEX, R.C. ET M.B. CARPENTER, 1964. *Human Neuroanatomy*. The William & Wilkins Co., Baltimore 501 p.
2. CAIN, W.S., 1974. *Contribution of the trigeminal nerve to perceived odor magnitude*. Ann NY Acad Sci; 237 : 28-34.
3. Holley A. Le système olfactif, *Médecine/sciences* 1994; 10: 1077- Laboratoire de Neurosciences et Olfaction, Université de Lyon, France. <http://olfac.univ-lyon1.fr/olfac/>
4. BERGLUND, B., U. BERGLUND, T. LINDVALL ET COLL., 1973. *A quantitative principle of perceived intensity summation in odor mixtures*. J Exp Psychol; 100 : 29-38.
5. COMETTEO-MUNIZ J.E., M.R. GARCIA-MEDINA ET A.M. CALVINO, 1989. *Perception of pungent odorants alone and in binary mixtures*. Chem Senses; 14 : 163-73.
6. AMOORE, J.E. & E. HAUTALA, 1983. *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 : 272-290.
7. AIHA, 1993. *Odors Threshold for Chemicals with Established Occupational Health Standards*. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, VA.
8. SHUSTERMAN, D., 1992. *Critical Review : The Health Significance of Environmental Odor Pollution*. Arch. Environ. Health, 47 (1) : 76-87.
9. CAIN, W.S., 1974. *Perception of odor intensity and the time course of olfactory adaptation*. ASHRAE Transactions; 80 : 53-75.
10. CAIN, W.S., 1980. *The case against threshold measurement of environmental odors*. J Air Pollut Control Assoc; 30 : 1295-96
11. I.H.A., "Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards", Industrial Hygiene Association, Fairfax, Va. (1989)
12. Hudon G., C. Guy & J. Hermia, "Modeling Intensity Interactions in Odor Mixtures", *Advances in Environmental Research*, 3, 412-423 (2000a)
13. Odotech inc., "Odile: Olfactomètres à dilution dynamique", www.odotech.com (1999)
14. Kress-Rodgers E., "Handbook of Biosensors and Electronic Noses", CRC Press, Boca-Raton, Fl. (1996)
15. Hudon G., C. Guy & J. Hermia, "Measurement of Odor Intensity by an Electronic Nose", *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, 174-185 (2000b)
16. Guy C. & T. Pagé, "Methodology for Odor Impact Evaluation", *Water Science & Technology*, sous presse (2001)

17. Pagé T. & C. Guy, "Odor Dispersion Modeling", 90th Annual Meeting, Air & Waste Management Association, Toronto, #97-TA35.05 (1997)
18. LINDVALL, T., ET T.P. RADFORD., 1973. *Measurements of annoyance due to exposure to environmental factors*. Environ Res; 6 : 1-36.
19. ROTTON, J., 1983. *Affective and Cognitive Consequences of Malodorous Pollution*. Basic Appl. Soc. Psychol. 4 : 171-191.
20. WINNEKE, G. & J. KASTKA, 1977. *Odor Pollution and Odor Annoyance Reactions in Industrial Areas of the Rhine-Ruhr Region. Olfaction and Taste VI*. Paris; Oxford : IRI, Press, p. 471-479.
21. SELMI, D. & K. MANASTER, 1989. *State Environmental Law*. NY, Clark Boardman Co.
22. HOGART, J. 1977. *Vocabulaire de la santé publique*. Organisation mondiale de la santé, Bureau régional de l'Europe, Copenhague, p. 208.
23. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, 1986. *L'Organisation mondiale de la santé : Promotion de la santé : Concepts et principes en action - Un cadre de politique*. Bureau régional de l'Europe.
24. CAIN, W.S., H.R. MOSKOWITZ, 1974. *Psychophysical Scaling of Odor*. In : TURK, A., J.W. JOHNSTON & D.G. MOULTON, Eds. *Human Responses to Environmental Odors*. N.Y., Academic Press, p.1-32.
25. AMOORE, J.E. & E. HAUTALA, 1983. *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 : 272-290.
26. FLESH, R.D. & A. TURK, 1975. *Social and Economic Effects of Odors*. In CHEREMISINOFF, P.N. & R.A. YOUNG Eds. *Industrial Odor Technology Assessment*. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Publishers, p. 57-74.
27. MANLEY, C.H., 1993. *Psychophysiological Effects of Odor*. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 33 (1) : 57-62.
28. SCHIFFMAN, S.S., E.A. SATTELY MILLER, M.S. SUGGS, B.G. GRAHAM, 1995. *The Effect of Environmental Odors: Emanating from Commercial Swine Operations on the Mood of Nearby Residents*. Brain Research Bulletin, 37 (4) : 369-375.
29. LAING, D.G., A. EDDY, D.J. BEST, 1994. *Perceptual Characteristics of Binary, Ternary, and Quaternary Odor Mixtures Consisting of Unpleasant Constituents*. Physiol. Behav. 56 (1) : 81-93.
30. BELL, I.R., C.S. MILLER, G.E. SCHWARZ, J.M. PETERSON & D. AMEND, 1996. *Neuropsychiatric and Somatic Characteristics of Young Adults with and without Self-Reported Chemical Odor Intolerance and Chemical Sensitivity*. Archives of Environmental Health, 51 (1) : 9-21.
31. DOTY, R.L., 1981. *Olfactory communication in humans*. Chem Senses; 6 : 351-76.

32. SILVER, W.L, 1987 . The common chemical sense. In : Finger T.E., Silver W.L., Eds. *Neurobiology of taste and smell*. New-York : John Wiley & Sons;; pp 65-87.
33. ROSENSTOCK, L. & M.R. CULLEN, 1994. *Low-Level Environmental Exposures*. In *Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine*. Philadelphie : W.B. Saunders Company, p. 667-672.
34. KIPEN H.M., W. Hallman, K. Kelly-McNeil et al., 1995. *Measuring chemical sensitivity prevalence : a questionnaire for population studies*. *Am J Public Health*; 85 : 574-77.
35. DALTON, P., C.J. WYSOCKI, M.J. BRODY, H.J. LAWLEY, 1997. *The influence of cognitive bias on the perceived odor, irritation and health symptoms from chemical exposure*. *Int Arch Occup Environ Health*; 69 : 407-417.
36. DALTON, P., C.J. WYSOCKI, M.J. BRODY, H.J. LAWLEY, 1997. *Perceived odor, irritation, and health symptoms following short-term exposure to acetone*. *American journal of industrial medicine* 31 :558-569.
37. DALTON, P.,1996. *Odor perception and belief about risk*. *Chem Senses* 21 :447-458.
38. CAVALINI,P.M., 1994. *Industrial odorants : the relationship between modeled exposure concentrations and annoyance*. *Archives of Environmental Health*. September/October, vol. 49 (no. 5) : 344-51.
39. WINNEKE, G., KASTKA, J, 1987. Comparison of odour-annoyance data from different industrial sources : problem and implications. In : Koelega H.S., Ed. *Environmental annoyance : characterization, measurement and control*. Amsterdam : Elsevier,; 11-28.
40. VERSCHUT, C., MIEDEMA H.M.E., BLAAUWBROEK, J., PUNTER, P.H., MAIWALD, K.D, 1991. Koppeling stankconcentratie en stankbeleving. Publicatier-eks Lucht 98. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer : Leiden, (en hollandais). Cité dans CAVALINI,P.M., 1994. *Industrial odorants : the relationship between modeled exposure concentrations and annoyance*. *Archives of Environmental Health*. September/October, vol. 49 (no. 5).
41. CAIN W.S.,1987. *Indoor air as a source of annoyance*. In Koelega H.S. (ed) *Environmental annoyance : characterisation, measurement and control*. Elsevier, Amsterdam.
42. CAIN, W.S. ET J.E. COMETTO-MUNIZ, 1995. *Irritation and odor as indicators of indoor pollution*. *Occupational medicine : State of the Art Reviews*, vol. 10, no. 1, 133-145.
43. SCHIFFMAN, S.S, 1998. *Livestock Odors : Implications for human health and well-being*. *Journal of Animal Sciences*,. Vol. 76 : 1343-55
44. ALARIE, Y., 1966. *Irritating properties of airborne materials to the upper respiratory tract*. *Arch Environ Health*; 13 : 433-449.
45. KJAERGAARD,S., O.F. PEDERSEN ET L. MOLHAVE, 1992. *Sensitivity of the eyes to airborne irritant stimuli : influence of individual characteristics*. *Arch Environ Health*; 47 : 45-50

46. KOREN, H.S., D.E. GRAHAM ET R.B. DEVLIN, 1992. *Exposure of humans to a volatile organic mixture. III. Inflammatory response.* Arch Environ Health; 47 : 38-44.
47. BALDWIN C.M. ET I.R. BELL, 1998. *Increased cardiopulmonary disease risk in a community-based sample with chemical odor intolerance : implications for women's health and health-care utilization.* Archives of Environmental Health. September/October 1998, vol. 53 (no. 5).
48. DELORAINE A., D. ZMIROU, C. TILLIER, A. BOUCHARLAT AND H. BOUTI, 1995. *Case-control assessment of the short-term health effects of an industrial toxic waste landfill.* Environmental Research 68, 124-132.
49. THU K., K.J. DONHAM, R. ZIEGENHORN, S. REYNOLDS, P.S. THORNE, P. SUBRAMANIAN, P. WHITTEN ET J. STOOKESBERRY, 1997. *A control study of the physical and mental health of residents living near a large scale swine operation.* Journal of Agricultural Safety and Health; 3 (1) : 13-26
50. MINER, J.R., 1980. *Controlling Odors From Livestock Production Facilities : State-of-the art.* In : *Livestock Waste : A Renewable Ressource.* St-Joseph, MI, American Society of Agricultural Engineers, p. 297-301.
51. LORIG, T.S., E. HUFFMAN, A. DEMARTINO & J. DEMARCO, 1991. *The Effects of Low Concentration Odors on EEG Activity and Behavior.* J. Psychophysiol. 5 : 69-77.
52. MANLEY, C.H., 1993. *Psychophysiological Effects of Odor.* Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 33 (1) : 57-62.
53. KILBURN, K.H., 1989. *Is the human nervous system most sensitive to environmental toxins?* Arch. Environ. Health, 44 : 343-344.
54. BELL, I.R, G.E. SCHWARTZ, J.M. PETERSON & D. AMEND, 1993. *Self-Reported Illness from Chemical Odors in Young Adults Without Clinical Syndromes or Occupational Exposures.* Arch. Environ. Health, 48 (1) : 6-13.
55. BELL, I.R, 1994. *White paper : neuropsychiatric aspects of sensitivity to low-level chemicals : a neural sensitization model.* Toxicology and Industrial Health; 10 (4/5) : 277-312.
56. CALABRESE, J.R., M.A. KLING & P.W. GOLD PW. 1987. *Alteration in Immunocompetence During Stress, Bereavement, and Depression : Focus on Neuroendocrine Regulation.* Am. J. Psychiatry, 144 : 1123-1134.
57. O'LEARY, A., 1990. *Stress, Emotion, and Human Immune Function.* Psychol. Bull. 108 : 363-382.
58. STONE, A.A. & D.S. COX, H. VALDIMARSDOTTIR, L. JANDORF, J.M. NEALE, 1987. *Evidence that Secretory IgA Antibody is Associated with Daily Mood.* J. Person. Soc. Psychol. 52 : 988-993.
59. WEISSE, C.S., 1992. *Depression and Immunocompetence A Review of the Literature.* Psychol. Bull. 3 : 475-489.

60. LORIG, T.S., 1992. *Cognitive and Noncognitive Effects of Odour Exposure : Electrophysiological and Behavioral Evidence*. In : VAN TOLLER, S. & G.H. DODD Eds. *The Psychology and Biology of Perfume*. Elsevier Applied Science. p. 161-173.
61. EHRLICHMAN, H. & L. BASTOÏ E, 1992. *The Use of Odour in the Study of Emotion*. In VAN TOLLER S. & G.H. DODD, 1992, Eds. *Fragrance. The Psychology and Biology of Perfume*. London, Elsevier Applied Science, p. 143-159.
62. CAMILLERI, M., J-R. MALAGELADA, P.C. KAO & A.R. ZINMEISTER, 1986. *Gastric and Autonomic Response to Stress in Functional Dyspepsia*. *Dig Dis Sci*; 31 : 1169-77
63. RUGH, J.D, J.P. HATCH, P.J. MOORE, M. CYR-PROVOST, N.N. BOUTROS & C.S. PELLEGRINO, 1990. *The Effects of Psychological Stress on Electromyographic Activity and Negative Affect in Ambulatory Tension-Type Headache Patients*. *Headache*, 30 : 216-19.
64. BOXER P.A., M. Singal, R.W. Hartle (1984). *An epidemic of psychogenic illness in an electronics plant*. *J Occup Med* ; 32 : 287-94.
65. HALL E.M., J.V. Johnson, 1989. *A case study of stress and mass psychogenic illness in industrial workers*. *J Occup Med*; 31 : 243-50.
66. JONES, T.F., CRAIG, A.S., HOY, D., GUNTER, E.W., ASHLEY, D.L., BARR, D.B., BROCK, J.W., SCHAFFNER, W, 2000. *Mass psychogenic illness attributed to toxic exposure at a high school*. *The New England Journal of Medicine*; 342 : 96-100.
67. National Institute of Occupational Safety and Health, 1983. *Epidemic psychogenic illness in an industrial setting – Pennsylvania*. *MMWR*; 32 : 287-94.
68. Martin G. & P. Laffort, 1991, “Odeurs et désodorisation dans l’environnement”, Tec & Doc – Lavoisier, Paris
69. Rafson H.J, 1998., “Odor and VOC Control Handbook”, McGraw Hill, New-York
70. Roberge F., Gravel M.J., Deschênes L., Guy C., Samson R, 2001., *Biofiltration of Dichlorobenzenes*, 1st International Conference on Odour and VOCs, p.533-540, Sydney, Australia (25-28 mars 2001), accepté *Water Science & Technology*. .