

# La pollution olfactive en environnement urbain : cas particulier des odeurs des restaurants

## Olfactory pollution in urban environment : special case of odors in restaurants

Camille Scotto<sup>1</sup>, Xavier Fernandez<sup>1</sup>

### Résumé

Il n'est plus à démontrer que les odeurs indésirables sont perçues comme une véritable agression par la population. Elles sont devenues le deuxième motif de plainte après le bruit. La pollution olfactive concerne en grande majorité les industriels qui rejettent dans l'atmosphère des émanations malodorantes, mais elle implique également la pollution en milieu urbain. À ce jour, il existe différents moyens pour identifier des composés odorants dans l'atmosphère. Il s'agit de la première étape qui permet de cibler les molécules responsables des nuisances olfactives, pour ensuite développer et améliorer les processus de neutralisation des odeurs. Cet article va définir les méthodes de caractérisation et de neutralisation des odeurs qui existent de nos jours en se focalisant sur le cas particulier des nuisances olfactives émises par les restaurants.

### Mots-clés

nuisance olfactive, composés odorants, identification, neutralisation des odeurs

### Abstract

It is not necessary to demonstrate that population feels unwanted odors as an attack. It is become the second complain after noise. Mostly olfactory pollution concerns industries that reject ill-smelling emanations but it concerns pollution in urban environment as well. Nowadays many methods exist to identify smelling compounds in the atmosphere. This is the first step to targett molecules responsible for olfactory problem and then develop and upgrade neutralization process of odors. This article will define characterization and neutralization methods that already exist and focuses on the special case of olfactory problem emitted by restaurants.

### Keywords

olfactory problem, ill-smelling compounds, identification, odors neutralization

---

(1) Université Nice Sophia Antipolis, ICN, UMR 7272, Parc Valrose, 06108 Nice Cedex 2, France. xavier.fernandez@unice.fr

## Introduction

La perception des odeurs a beaucoup évolué avec notre mode de vie. Au Moyen Âge, les mauvaises odeurs étaient acceptées et faisaient partie du quotidien (Leguay, 1999). Le contexte est bien différent de nos jours : les mauvaises odeurs sont perçues comme une véritable agression. De plus, certains composés malodorants présentent un véritable risque pour la santé (Gingras, 2003). La pollution olfactive est devenue le second motif de plainte après le bruit. Les principaux secteurs d'activité concernés par ce problème de santé publique ont été identifiés par le CITEPA (Centre Interprofessionnel Techniques d'Études de la Pollution Atmosphérique) et sont représentés par les domaines de la métallurgie, l'agroalimentaire, la chimie, les constructeurs automobiles, le bâtiment (ADEME, 2013).

Prévenir la diffusion d'émanations malodorantes est donc devenu une priorité pour les professionnels. À l'heure actuelle, beaucoup d'efforts ont été faits sur les émissions d'origine industrielle grâce à la mise en place de normes et à la réglementation qui fut discutée entre les entreprises et l'État français (Roussel, 2014). Dans le cas particulier des odeurs issues de la restauration, les autorités préfectorales et municipales sont compétentes pour lutter contre les nuisances olfactives, et un certain nombre d'arrêtés préfectoraux obligent les exploitants d'établissement à prendre les mesures nécessaires afin de ne pas générer de nuisance olfactive pour le voisinage. Tous les acteurs de la restauration sont donc concernés et demandent le développement de systèmes capables de neutraliser les odeurs émises par les cuisines de leurs établissements.

Afin de pouvoir lutter efficacement contre ces nuisances, il est important d'identifier leurs sources. C'est pourquoi pouvoir caractériser les composés odorants qui nous entourent est essentiel. L'analyse des odeurs se déroule en trois étapes : le prélèvement d'un échantillon représentatif (extraction), l'analyse et le traitement des données. C'est une mission qui peut s'avérer difficile, cela s'explique par la dualité qui existe entre la concentration et le seuil de perception d'un composé.

Le seuil de perception (ou olfactif) d'un composé correspond à la plus petite concentration pour laquelle 50 % d'un panel de personnes est capable de percevoir l'odeur (Benoit, 1982). Elle est exprimée le plus souvent en ppm (partie par million) ou en ppb (partie par milliard). Le seuil de perception est une valeur propre à chaque composé volatil. Il n'est donc pas rare de devoir identifier des composés caractérisés par des odeurs puissantes mais présents en faible concentration dans l'atmosphère, et inversement.

À ce jour, il existe différents moyens pour identifier des composés odorants dans l'atmosphère. Ce travail est la première étape qui permet de cibler les molécules responsables des nuisances olfactives pour ensuite développer et améliorer les processus de neutralisation des odeurs.

Cet article va définir les méthodes de caractérisation et de neutralisation des odeurs qui existent de nos jours, en se focalisant sur le cas particulier des nuisances olfactives émises par les restaurants.

## 1. La pollution olfactive : chimie des odorants

### 1.1. Classes des composés odorants

Les composés odorants sont principalement des composés organiques, c'est-à-dire qu'ils possèdent au moins un atome de carbone lié à un atome d'hydrogène (ADEME, 2013), exception faite pour l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène, qui sont tous deux des composés inorganiques (ils ne possèdent pas d'atomes de carbone). De plus, pour qu'un composé soit odorant, il est nécessaire qu'il soit volatil. La directive européenne IED (*Industrial Emission Directive*) a arrêté la définition d'un Composé Organique Volatil (COV), en se basant sur ces caractéristiques physico-chimiques, et le définit ainsi : « *Composé organique ayant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus, à une température de 293,25 K (20 °C) ou ayant une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières* » (ADEME, 2013). La volatilité d'une molécule n'est pas le seul critère à prendre en compte pour qu'elle soit odorante ; en effet, un caractère lipophile élevé, une certaine solubilité dans l'eau, une polarité faible et un poids moléculaire moyen sont autant de critères importants que présentent les composés organiques volatils (Meierhenrich, 2005).

Toutes ces caractéristiques sont nécessaires pour déclencher chez l'homme le mécanisme de l'olfaction, car l'odeur est une perception. C'est un signal électrique envoyé au cerveau par le bulbe olfactif, après stimulation de ce dernier, par les molécules volatiles odorantes. Les différentes étapes provoquant la sensation d'odeur peuvent se décrire comme suit :

- l'air inspiré pénètre par le nez, entraînant les molécules odorantes qui atteignent la cavité nasale ;
- ces dernières sont captées par les neurones qui créent un message et le transmettent au bulbe olfactif ;
- le bulbe olfactif répartit ensuite les informations aux différentes zones du cerveau qui mesure et analyse les données (Fanlo, 2006) (figure 1).

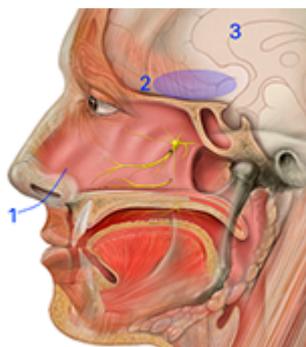


Figure 1. Système olfactif.

1. Air inspiré ; 2. Bulbe olfactif ; 3. Cerveau.

Olfactory system

**1. Breathed air ; 2. Olfactory bulb ; 3. Brain.**

Les composés volatils capables de déclencher une réponse olfactive appartiennent à des familles chimiques différentes. Une très grande variabilité est retrouvée au niveau des classes de composés et des structures (saturées, insaturées, linéaires, cycliques...).

Les principales familles de COV odorants sont les amines, les composés soufrés, les aldéhydes, les cétones, les acides carboxyliques, les aromatiques, les alcools et les hydrocarbures. Ces composés peuvent être responsables d'odeurs agréables ou désagréables. Ceux qui véhiculent des mauvaises odeurs causent de réelles nuisances pour la population. Le tableau 1 présente différentes classes de composés malodorants (illustrés par des exemples) qui handicapent lourdement le développement de certaines activités économiques.

Comme le montre le tableau 1, certains composés ont un seuil de perception très bas, inférieur au ppb. C'est le cas de la pyridine, qui a un seuil de perception de 0,009 ppb, ce qui signifie que ce composé est perçu comme si on mettait moins d'une demi-cuillère à café (inférieur à 2,5 mL) dans une piscine olympique. Ces composés, à de très faibles concentrations, provoquent des nuisances olfactives importantes. Elles sont qualifiées de molécules d'impact olfactif.

Cette pollution olfactive soulève également des questions de santé pour l'homme, car une mauvaise odeur est souvent associée à un danger pour la santé. Pour mesurer ce risque, le seuil de toxicité est utilisé comme indicateur de la dangerosité d'un composé. Il détermine la plus petite valeur pour laquelle une substance chimique provoque des effets nocifs sur un organisme vivant. C'est la valeur pour laquelle le composé chimique est qualifié de toxique.

Le seuil de toxicité et le seuil de perception ne sont pas liés. À l'exception de quelques COV, la perception d'une odeur se déclenche à des concentrations très faibles, de l'ordre de 1 ppb, alors que les effets toxiques des composés sont ressentis à partir de 50 ppm (Jarrige, 2007).

## 1.2. Génération des composés odorants

Les composés odorants sont le plus souvent le résultat de processus de transformation de substances non volatiles. Les principales réactions qui conduisent à ces composés sont des réactions de dégradation (dégradation thermique ou fermentation de la matière organique), d'oxydation et d'hydrolyse. Toutes ces réactions génèrent un grand nombre de composés volatils différents. De plus, ces processus, répertoriés dans le tableau 2, peuvent permettre d'effectuer un premier classement des émissions odorantes selon le secteur d'activité.

Ce classement permet de mettre en avant les sources potentielles de pollution mais ne permet pas d'identifier les familles de composés responsables des mauvaises odeurs. C'est pourquoi un autre classement (tableau 3) peut être établi en fonction des familles chimiques des composés volatils.

## 2. Contexte réglementaire

Les odeurs issues des activités humaines furent pendant longtemps synonyme de développement économique et d'amélioration des conditions de vie pour la population. Cependant, avec l'expansion des zones urbaines, de plus en plus d'associations de riverains s'organisent pour dénoncer les nuisances olfactives qu'elles entraînent (Rognon, 2014). La première loi mettant en avant la notion d'odeurs et de nuisances olfactives apparaît en 1810 avec le décret impérial (Konz, 2008). La réglementation ne cesse d'évoluer depuis ; il a fallu attendre 1961 pour obtenir une loi relative à la lutte contre les pollutions olfactives. Elle donne au législateur le pouvoir de réglementer la nuisance provoquée par les odeurs et au juge le pouvoir de sanction. En 1974, une définition d'une émission polluante est donnée, et une plus précise sur la pollution atmosphérique sera éditée avec la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (loi LAURE) du 30 décembre 1996. Même s'il n'existe à ce jour aucune valeur seuil qui détermine le caractère acceptable d'une odeur, la loi prend en compte la notion de nuisance tolérable ou intolérable (Konz A., 2008). La réglementation classe également les installations susceptibles d'émettre des odeurs nommées ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement). Selon le degré de dangerosité de

Tableau 1. Caractéristiques de quelques composés responsables de nuisances olfactives.

*Characteristics of some compounds responsible for olfactory pollution.*

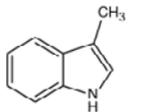
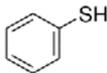
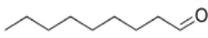
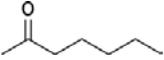
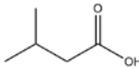
Famille/Nom	Structure	Description olfactive	Seuil de perception (ppb)
<b>Composés azotés</b>			
Scatole		fécale	0,14
Cadavérine	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	viande avariée	0,18
Pyridine		poisson	0,009
<b>Composés soufrés</b>			
Sulfure d'hydrogène	$\text{H}-\text{S}-\text{H}$	œuf en décomposition	0,5
Ethanéthiol		chou fermenté	0,01
Thiophénol		putride	0,3
<b>Aldéhydes</b>			
Butyraldéhyde	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHO}$	rance	0,67
Diacétyl		beurre	5
Nonanal		suiffeux	1
<b>Cétones</b>			
1-Octèn-3-one	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$	champignon	0,005
Heptan-2-one		fromage	6,8
2,3-Butadione	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$	beurre	4,37
<b>Acides carboxyliques</b>			
Acide isovalérique		fromage	0,04
Acide propionique	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	rance	27,8
Acide acétique		vinaigre	1019

Tableau 1. (suite) Caractéristiques de quelques composés responsables de nuisances olfactives.

*Characteristics of some compounds responsible for olfactory pollution.*

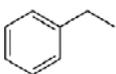
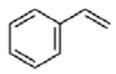
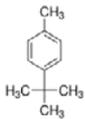
Famille/Nom	Structure	Description olfactive	Seuil de perception (ppb)
<b>Aromatiques</b>			
Ethylbenzène		aigre	2300
Styrène		caoutchou	0,2
4- <i>tert</i> -Butyltoluène		essence	30
<b>Hydrocarbures</b>			
Hexane		carburant	78,6
Dicyclopentadiène		âcre	0,03

Tableau 2. Processus de génération de composés malodorants.

*Production process of ill-smelling compounds.*

Processus	Secteur d'activité	Principaux COV formés
Dégradation thermique de composés organiques	Industries énergétiques (pétrochimie, fonderies...) agroalimentaire, restauration	Hydrocarbures (saturés et insaturés) ; Aromatiques
Dégradation anaérobie de matière d'origine animale	Équarrissage, industries de dégraissage	Composés azotés, soufrés et aldéhydes
Épandages dans les champs agricoles	Agriculture	Composés azotés, soufrés, aldéhydes et cétones

Tableau 3. Familles de composés malodorants et leur formation.

*Ill-malodorous compounds and their generation.*

Famille chimique	Origine	Formation des malodorants	Références
Composés azotés	Acides aminés issus de la matière organique	Lisier ou stockage des déjections animales	Guinguand, 2010
Composés soufrés	Protéines contenant des acides aminés soufrés (exemple : la cystéine)	Dégradation bactérienne ou thermique de la matière organique	Herbet, 1975 Jo, 2013 Varlet, 2010
Aldéhydes et Cétones	Acides gras insaturés et saturés	Dégradation thermique type friture dans les restaurants	Sghaier, 2015
Acides carboxyliques	Acides gras insaturés, glucides simples et complexes	Dégradation bactérienne	Bories, 2006
Hydrocarbures et aromatiques	Solvants et déchets organiques issus des industries manufacturières	Pyrolyse incomplète et raffinage du pétrole	ADEME, 2013 Mu, 2013 Geldenhuys, 2015

ces installations, elles sont soumises à autorisation ou non et sont réglementées par des arrêtés sectoriels.

La législation ne limite pas les nuisances olfactives uniquement aux lois sur la qualité de l'air et aux installations potentiellement dangereuses. Celles sur les déchets et sur l'eau comprennent des volets dédiés à la restriction d'émissions odorantes. La loi du 15 juillet 1975 n'autorise que le stockage de déchets ultimes et impose la valorisation et la réduction des déchets. En ce qui concerne l'eau, l'arrêté du 22 juin 2007 demande que les bassins de rétention prévoient des accès pour le nettoyage, et que l'implantation des stations d'épuration soit faite de manière à minimiser les émanations d'odeurs vers le voisinage (Konz, 2008).

En milieu urbain, il n'existe aucune réglementation en matière d'odeur. Seuls des protocoles de réduction de COV toxiques, comme le protocole de Genève de 1991, ont été mis en place (ADEME, 2013). Le secteur de la restauration n'est donc soumis à aucune restriction en matière d'émission odorante car il fait partie des installations non classées. Ces dernières sont considérées comme non-source de danger et sont soumises au règlement sanitaire départemental appliqué par les mairies. Les plaintes des riverains visant les odeurs de restaurants sont examinées au cas par cas par la justice. Cependant, elles se sont multipliées ces dernières années, cela peut s'expliquer par la modification de nos habitudes et la multiplication des fast-foods et restaurants ouverts toute la journée.

### 3. La caractérisation des odeurs : un exercice difficile

Une odeur est un mélange complexe de molécules odorantes. Du fait de la faible concentration de ces substances présentes dans l'atmosphère, il n'est pas toujours simple de les caractériser, ce qui se révèle être un véritable challenge pour les analystes. C'est un travail d'identification qui se divise en trois grandes étapes : l'échantillonnage ou le prélèvement, l'analyse et la caractérisation des composés.

Avant d'initier la caractérisation chimique d'une odeur, une évaluation olfactive dynamique va pouvoir donner une première appréciation. Elle consiste à faire sentir à des évaluateurs l'odeur ciblée. Pour cela, le prélèvement d'un volume d'air est effectué et amené aux experts pour l'évaluation olfactive. Cette technique permet de quantifier la nuisance par dilution avec des volumes d'air neutre, et de donner les notes qui caractérisent l'odeur mais ne donne aucune information sur les composés incriminés.

### 3.1. Le prélèvement

#### 3.1.1 Généralités

L'échantillonnage des composés volatils qui constituent une odeur est souvent l'étape la plus délicate dans le travail d'analyse. C'est également l'étape la plus difficile à réaliser, car l'air est une matrice complexe à échantillonner. En effet, l'air se compose à 78 % d'azote, à 21 % de dioxygène et les 1 % restants représentent tous les autres gaz présents dans l'atmosphère dont font partie les molécules odorantes (figure 2).

Du fait de la faible concentration des composés d'intérêt, leur volatilité, leur hétérogénéité chimique, les possibles interactions (formation d'adduits) ainsi que la stabilité des échantillons réalisés (Jokubowska, 2009), le prélèvement est délicat. Les contraintes sont nombreuses, il faut en effet :

- avoir un échantillon représentatif ;
- éviter les adduits ;
- utiliser une méthode de prélèvement la plus simple possible pour éviter les erreurs de mesure (Dettmer, 2002), si possible automatisable et à moindre coût.

Il existe différentes méthodes pour échantillonner un gaz. La technique la plus simple consiste à faire un prélèvement direct d'une quantité d'air au moyen d'une seringue à gaz (Tranchant, 1996) (figure 3).

Le volume d'échantillonnage proposé par les seringues à gaz se restreint à quelques millilitres ; pour prélever une quantité d'air plus importante (de l'ordre du litre), l'étape d'échantillonnage peut se faire avec des sacs inertes ; les plus utilisés sont les sacs Tedlar (Desauziers, 2009) (figure 4). Le prélèvement se fait au moyen d'une pompe pour remplir le sac.

Dans ces deux cas, l'échantillon est un volume d'air. Il est constitué de tous les composés qui sont présents dans l'air, principalement d'azote et d'oxygène, et ne cible pas une catégorie de molécules. Les molécules cibles peuvent alors être présentes en trop petites quantités pour être identifiées. Pour analyser uniquement les molécules odorantes qui composent une odeur présente dans l'atmosphère, un échantillonnage ciblé peut être effectué. Pour cela, on utilise des pièges constitués de polymères qui, par adsorption, vont retenir les COV présents dans l'air (sauf pour l'azote, l'oxygène et l'eau). C'est une étape de préconcentration des analytes par le piégeage. L'adsorption est un phénomène de surface qui permet à des composés gazeux ou liquides de se fixer sur une surface solide (adsorbant) par des interactions plus ou moins fortes. Ce phénomène est réversible et la désorption peut se faire de deux différentes façons :

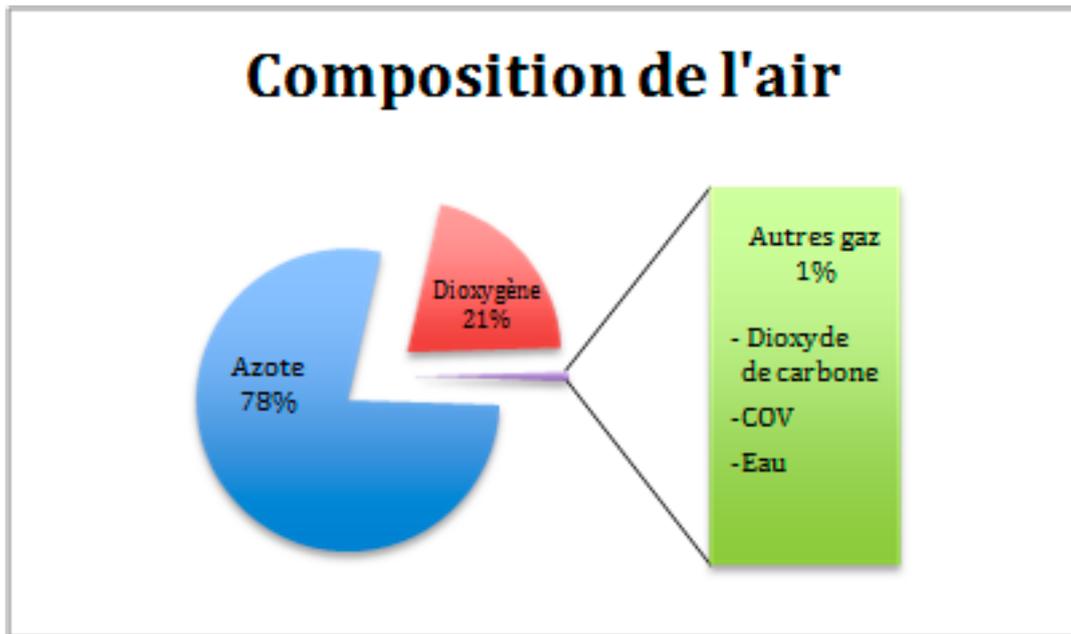


Figure 2. Graphique de la composition de l'air.  
*Graph of air composition.*



Figure 3. Seringue à gaz.  
*Gas syringe.*

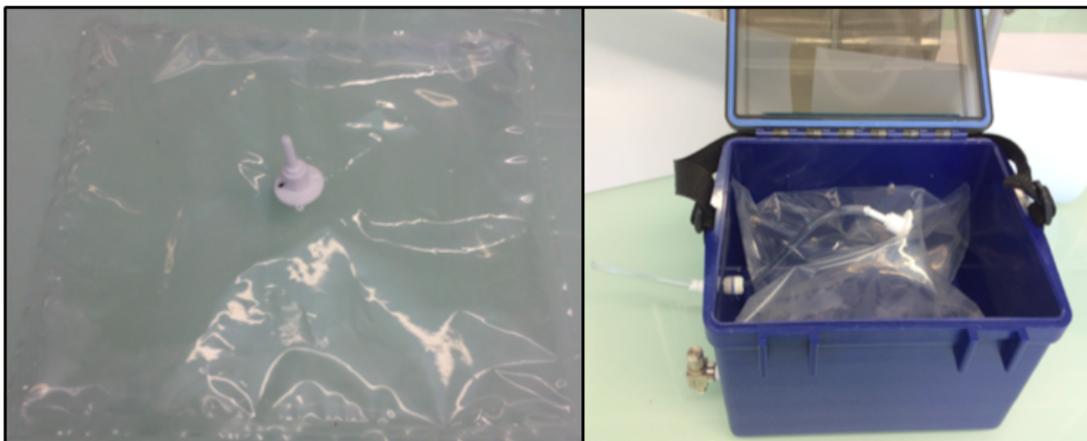


Figure 4. Sac Tedlar.  
*Tedlar bag.*

soit par solvant (le solvant est percolé à travers le piège et casse les interactions entre les analytes et la phase), soit thermiquement (c'est la chaleur assistée par un gaz inerte sous pression qui permet de rompre les interactions).

Les adsorbants utilisés pour le prélèvement de COV sont nombreux. Il est donc important de choisir le mieux adapté pour les composés visés. Dans le cas d'une désorption thermique, il faut également prendre en compte la capacité du matériau à désorber les composés dans une gamme de température qui ne les dégradera pas. Un des autres critères à prendre en compte est le caractère hydrophobe du matériau. En effet, un adsorbant hydrophobe laissera passer l'eau mais pourra également éluer les composés les plus polaires (Desauziers, 2009).

Les adsorbants communément utilisés pour la pré-concentration des COV peuvent être classés selon 4 grandes familles :

- les charbons actifs, qui ont un pouvoir d'adsorption très important pour la majorité des COV. Peu conseillé pour une désorption thermique car l'élution n'est que partielle, ce qui rend une analyse quantitative peu fiable. En revanche, la désorption au solvant possède une grande capacité d'élution et est généralement recommandée.
- Les noirs de carbone graphités sont des matériaux très poreux mais qui présentent une efficacité inférieure à celle des charbons actifs due à leur structure en feuillets mais présentent une faible affinité avec l'eau.
- Les tamis moléculaires de carbone diffèrent par leur porosité. Elle est intermédiaire à celle des charbons actifs et des noirs de carbone graphités et présente un caractère hydrophobe élevé.
- Les polymères organiques poreux sont le plus souvent utilisés, en particulier le polymère Tenax TA à base d'oxyde de 2,6-diphénylparaphénylène. C'est un adsorbant qui a la capacité de retenir un grand nombre de COV mais ne convient pas aux molécules les plus légères comme les autres polymères organiques. Il présente également un fort caractère hydrophobe.

L'échantillonnage des COV présents dans l'atmosphère peut alors se faire selon deux grandes méthodes : passive ou active (tableau 4).

### 3.1.2. Les méthodes passives

Une méthode de prélèvement peut être qualifiée de passive quand un flux non forcé d'analytes s'établit entre l'échantillon et le support d'échantillonnage sur lequel vont être adsorbées ou absorbées les molécules présentes dans l'air. Les techniques d'échan-

tionnement reposant sur ce principe sont appelées échantillonneur diffusif ou capteur passif. Les supports permettant l'extraction des composés peuvent être des polymères, des membranes filtrantes ou des mousses.

Parmi les plus utilisés, on retrouve les systèmes de diffusion radiale (type Radiello®), constitués d'un corps de diffusion et d'un adsorbant pour piéger les COV (Melymuk, 2014) (figure 5). Ce système permet d'adsorber les composés sur de longues périodes de temps en extérieur ou à l'intérieur, l'extraction peut alors durer de quelques dizaines de minutes à plusieurs semaines.

D'autres procédés consistent à miniaturiser le système de prélèvement, c'est le cas de la micro-extraction sur phase solide (SPME). Elle est le plus souvent utilisée pour les analytes présents à l'état de traces et nécessite des temps d'extraction courts. La SPME se base sur l'extraction par adsorption ou absorption des

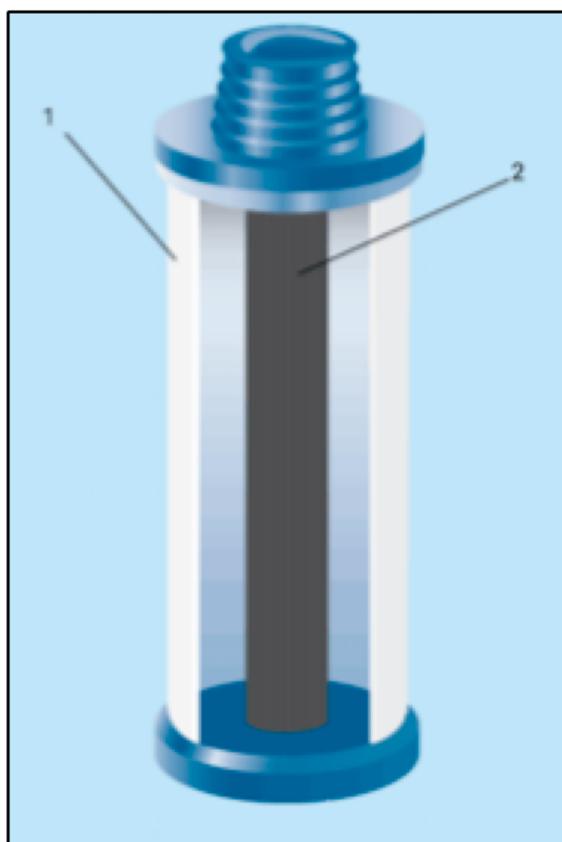


Figure 5. Schéma d'un piège Radiello®1.  
Corps diffusif ; 2. Adsorbant.  
*Diagram of Radiello® trap1.*  
*Diffusive body ; 2. Adsorbant.*

composés sur une fibre revêtue d'un polymère. Elle ne permet pas l'extraction totale des analytes mais établit un équilibre entre la concentration des composés dans la matrice et la quantité de polymère présente sur la fibre (Burgot, 2003). C'est une méthode de concentration efficace pour les composés odorants extraits à l'aide de sacs inertes type Tedlar® (figure 6).

Le prélèvement passif présente de multiples avantages, il ne nécessite pas l'utilisation d'une pompe, ni d'électricité. L'analyse d'autres matrices complexes comme les fumées ou les atmosphères chargées de particules est possible sans risque d'interaction avec ces dernières.

La désorption des composés volatils après un prélèvement passif peut se faire thermiquement ou à l'aide d'un solvant ou d'un mélange de solvant. Le plus souvent, la désorption au solvant est préconisée car l'extraction passive permet de retenir des composés volatils polaires (Marc, 2015), exception faite pour la SPME qui établit un équilibre entre la concentration des composés dans la matrice et la quantité de polymère présente sur la fibre, retenant ainsi les composés les plus volatils. Une désorption thermique est alors recommandée.

### 3.1.3. Les méthodes actives

Le prélèvement actif avec préconcentration des COV est le plus répandu. Il permet de prélever les composés présents dans l'air ainsi que les particules

à l'aide d'une pompe et d'un piège adsorbant adapté. Il offre la possibilité de contrôler le débit et le volume de l'air échantillonné, ce qui rend cette méthode plus précise (Melymuk, 2014). Le contrôle de débit permet de faire des échantillons de capacités différentes en fonction de la concentration d'analytes dans l'atmosphère et d'avoir des limites de détection plus basses que pour un prélèvement passif. Cette technique est communément nommée extraction par espace de tête dynamique (*Dynamic Head Space* : DHS). Ces prélèvements peuvent être faits directement sur le site à échantillonner, à condition :

- qu'il n'y ait aucun risque de condensation (atmosphère trop humide) ;
- que la température du gaz ne dépasse pas 40 °C car l'adsorption est un phénomène exothermique, c'est-à-dire que la réaction dégage de la chaleur ;
- que la concentration en COV ne soit pas trop élevée pour ne pas risquer la saturation des pièges utilisés.

Si les conditions ne sont pas toutes réunies, il est préférable de faire la préconcentration sur tube au laboratoire en diluant l'air prélevé par un air sec.

Le dispositif de prélèvement, présenté en figure 7, se compose généralement d'un tube en verre ou inox relié à une pompe, qui peut être soit manuelle soit électrique. Les tubes d'une dizaine de centimètres et d'un diamètre de 0,5 contiennent l'adsorbant. Les pièges peuvent être achetés préparés ou peuvent être

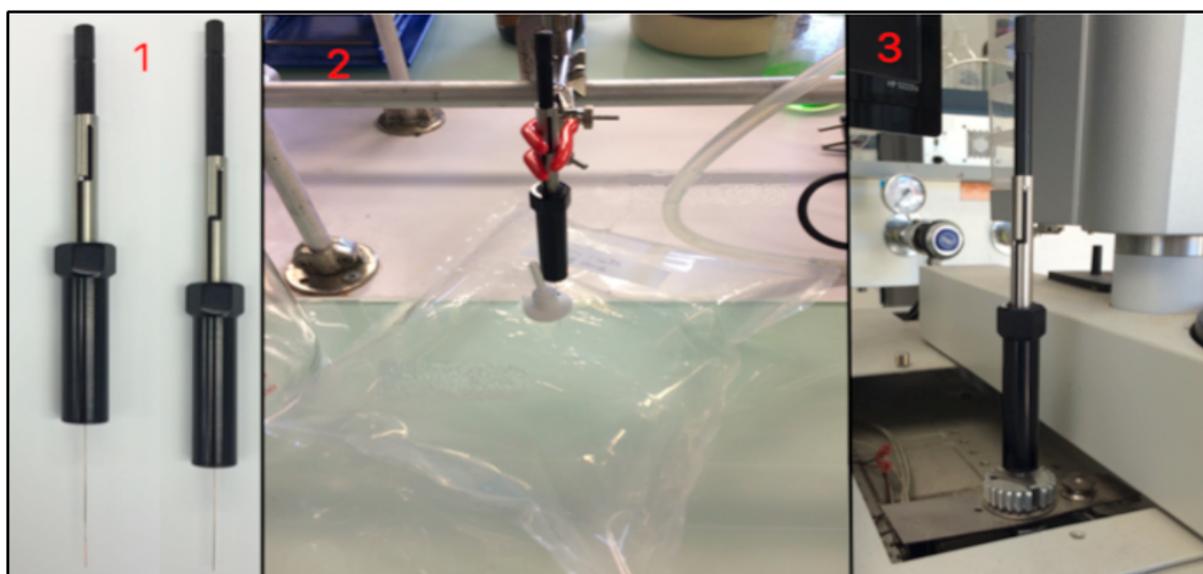


Figure 6. Extraction par SPME  
1. Fibre SPME ; 2. Extraction dans sac ; 3. Analyse.

#### **SPME extraction**

**1. SPME fiber ; 2. Bag extraction ; 3. Analysis.**



Figure 7. Extraction DHS  
1. Piège ; 2. Piège et pompe ; 3. Prélèvement.

**DHS extraction**

**1. Trap ; 2. Trap and pump ; 3. Sample.**

faits au laboratoire. Cependant, une meilleure reproductibilité est observée pour un lot de tubes commercialisés que pour ceux fabriqués en laboratoire.

La désorption des échantillons peut être faite soit thermiquement soit par désorption au solvant, mais le plus souvent la thermodésorption est privilégiée pour ce type de prélèvement.

Comme pour les méthodes passives, les méthodes actives tendent à miniaturiser leur principe, et de nouvelles techniques telles que les *Needle Trap Device* apparaissent. Ce processus permet une extraction des COV à travers une aiguille. Il existe plusieurs types d'extraction basée sur ce système, les plus couramment utilisés pour les méthodes actives sont la SPDE (*Solide Phase Dynamic Extraction* : Extraction dynamique sur phase solide), qui présente une aiguille creuse tapissée d'un adsorbant et l'INDEX (*Inside Needle Dynamic Extraction* : Extraction dans l'aiguille) qui est une aiguille remplie d'une phase adsorbante.

Comme pour l'extraction DHS, les débits de gaz et le temps d'extraction sont contrôlés et peuvent être adaptés selon la concentration en analytes dans l'atmosphère.

### 3.2. L'analyse

Une odeur est un mélange complexe de molécules volatiles présentes en faible concentration dans l'atmosphère. Pour pouvoir les identifier, il est important de choisir la technique d'analyse qui permettra de les séparer au mieux et qui soit suffisamment sensible pour les détecter. La technique toute indiquée pour cela est la chromatographie en phase gazeuse (*Gas Chromatography*, GC) ; c'est une technique séparative de choix pour les mélanges complexes de compo-

sés volatils. Elle est très utilisée pour son pouvoir de séparation, son automatisation, son coût raisonnable, sa grande robustesse (capacité à rendre des résultats exacts en présence de faibles changements de conditions expérimentales) (Fernandez, 2012).

La GC est une technique chromatographique (séparation des constituants par affinité entre une phase stationnaire et une phase mobile). La séparation en GC se fait sur une colonne contenant une phase stationnaire et une phase mobile gazeuse (Trachant, 1996). Cette colonne, située dans un four, suit un gradient de température programmé pour l'analyse. Cette technique ne peut donc s'appliquer que pour des composés thermostables (gamme de température généralement comprise entre 40 et 250 °C).

Pour une analyse qualitative, le temps de rétention (temps total de migration d'un composé à travers la colonne), grandeur caractéristique à chaque constituant, peut être utilisé. Il dépend néanmoins de nombreuses conditions opératoires (appareillage, méthode analytique...) qui rendent son utilisation délicate pour l'étude de mélanges complexes. Dans ce cas, l'utilisation d'indices de rétention qui s'affranchissent de ces paramètres est privilégiée, et des bases de données dédiées à l'analyse des composés odorants sont utilisées.

En adaptant en sortie de colonne un spectromètre de masse comme détecteur, on obtient le spectre de fragmentation de chacun des composés. L'étude de ces spectres de masse obtenus permet l'identification des composés par comparaison des banques de données.

Cette méthode est ainsi devenue irremplaçable dans un grand nombre d'études (figure 8).

Tableau 4. Avantages et inconvénients des différentes techniques de prélèvement de l'air.  
*Advantages and inconveniences of some air extraction technics.*

	Méthode de prélèvement	Principe	Avantages	Inconvénients	Références
<b>Extraction passive</b>	Filtre sur membrane	-Extraction par espace de tête -Adsorption de COV sur phase adsorbante	- Analyse de matrice complexe (fumées, particules)	- Désorption au solvant - Efficacité réduite	Melymuk, 2014
	Mousse	Adsorption de COV sur mousse en polyuréthane	- Extraction faite en extérieur ou intérieur de COV ou particules	- Temps de manipulation long - Désorption au solvant - Quantification impossible	Melymuk, 2014
	Système de diffusion radiale (type Radielo®)	-Extraction par espace de tête -Adsorption de COV sur phase adsorbante	- Temps manipulation court ; - Extraction faite en extérieur	- Extraction longue - Désorption au solvant	Melymuk, 2014
	SPME	-Extraction par espace de tête -Adsorption de COV sur phase adsorbante	- Temps d'extraction court ; - Simplicité de manipulation	- Prix des fibres - Quantification difficile - Fragilité du système	Burgot, 2003
<b>Extraction active</b>	Extraction par espace de tête dynamique (DHS)	- Concentration de COV sur phase adsorbante à l'aide d'une pompe	- Temps d'extraction court - Volume et débit d'air contrôlés	- Coût de l'équipement - Difficilement reproductible si concentration faible	Marc, 2015
	SPDE ( <i>Solid Phase Dynamic Extraction</i> )	- Pré-concentration de COV sur phase adsorbante	- Temps d'extraction court	- Coût de l'équipement - Difficilement reproductible si concentration faible	Lord, 2010
	INDEX ( <i>Inside Needle Dynamic Extraction</i> )	- Pré-concentration de COV sur phase adsorbante	- Temps d'extraction	- Coût de l'équipement - Difficilement reproductible si concentration faible	Lord, 2010

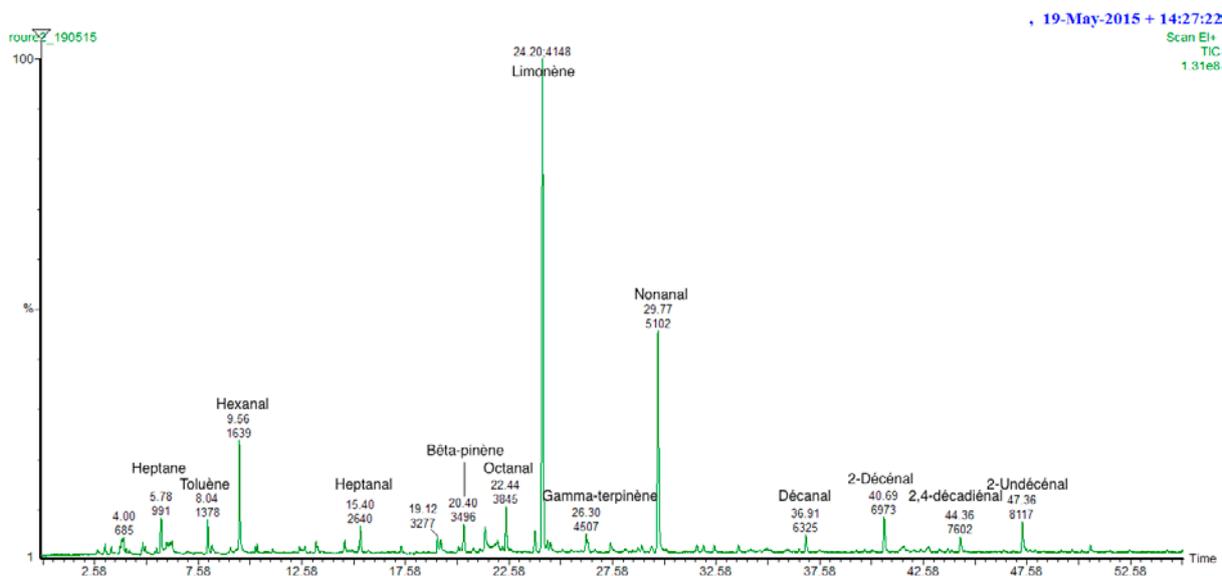


Figure 8. Chromatogramme d'une analyse d'odeur de snack.

*Chromatogram of snack odor.*

Il existe différents types de détecteurs qui permettent de recueillir des informations spécifiques sur les composés élués par la GC, mais ces détecteurs physiques ne donnent aucune information sur l'impact olfactif des constituants d'un mélange. Le couplage GC/Olfactométrie (GC/O) utilise un système de détection sensorielle (le nez pour l'homme) en tant que détecteur analytique, parallèlement à un détecteur physique, et permet ainsi de cibler les composés d'intérêt. En effet, les composés volatils présents dans l'atmosphère ne sont pas tous odorants.

Certains ne présentent aucun caractère odorant, et ils ne rentrent donc pas dans la composition de l'odeur ciblée. La GC/O permet d'identifier les composés odorants responsables des odeurs (figure 9). Cependant, la chromatographie séparant tous les constituants du mélange avant évaluation, elle ne permet pas d'identifier les odeurs dues à l'association de deux ou plusieurs composés.

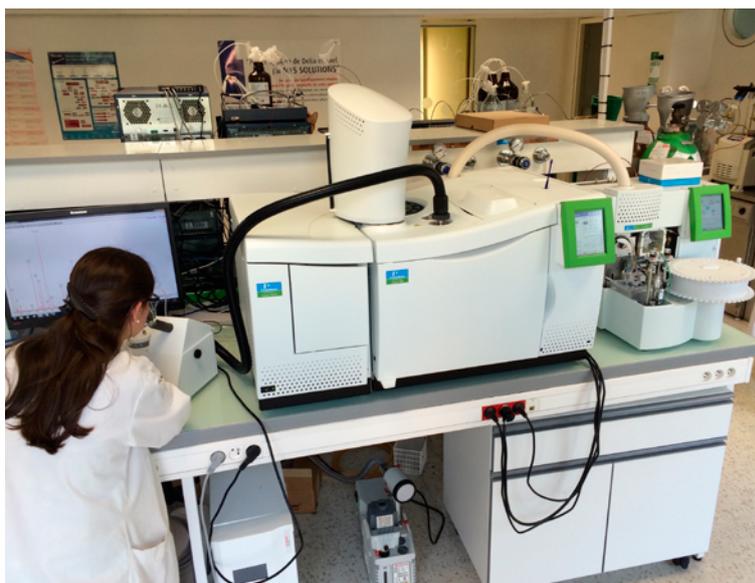


Figure 9. Analyse par GC/O.

*GC/O analysis.*

#### 4. Élimination et traitement des odeurs

Les entreprises se préoccupant de leur image face au public veulent entretenir des bons rapports de voisinage. C'est pourquoi de nombreuses techniques se sont multipliées pour limiter les nuisances olfactives. Les deux stratégies possibles en matière de traitement et d'élimination des odeurs sont l'action à la source de production des odeurs et sur les émanations de ces dernières.

Agir à l'origine des odeurs est l'option la plus souvent choisie. En effet, depuis l'article L.541-24 du code de l'environnement (Konz, 2008), les industriels sont incités à valoriser leurs déchets au lieu de les stocker, évitant ainsi la génération de composés malodorants. Le principe de valorisation des déchets consiste à trier et collecter les déchets pour une éventuelle réinsertion de ceux-ci dans une nouvelle chaîne industrielle (Cartier, 1984). Les modes de valorisation sont multiples et présentés dans le tableau 5.

D'autres méthodes agissent directement sur les flux gazeux qui constituent une odeur. Pour choisir le procédé le plus adapté au type d'effluent à traiter, de nombreux paramètres rentrent en compte (le débit de gaz, la concentration des composés et leur nature chimique, la surface disponible pour une installation de traitement d'odeurs) (Soupramanien, 2013). De multiples technologies se sont développées pour traiter les émanations de gaz odorants, et les avantages et inconvénients qu'elles proposent sont présentés dans le tableau 6.

La technique la plus simple utilisée actuellement est l'adsorption des composés odorants sur une surface poreuse. Ce processus est identique au procédé utilisé dans le prélèvement des molécules odorantes développé dans le paragraphe 3.1. Dans le cas des traitements des odeurs, l'adsorbant le plus utilisé est le charbon actif. C'est un matériau carboné poreux qui présente la faculté d'adsorber la plupart des composés odorants. Son installation est simple, elle se constitue d'un container garni de l'adsorbant traversé par le flux gazeux de manière ascendante, représenté figure 10.

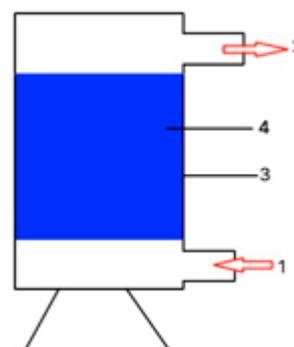


Figure 10. Principe d'un adsorbant pour le traitement de gaz odorant

1. Entrée de gaz ; 2. Sortie de gaz ; 3. Cuve ;  
4. Adsorbant.

**Adsorption principle for smelling gas treatment**  
**1. Gas entry ; 2. Gas way out ;**  
**3. Tank ; 4. Adsorbent.**

Tableau 5. Classement des différents modes de valorisation des déchets (Cartier, 1984).

**Order of some different ways of waste valorization (Cartier, 1984).**

Mode de valorisation	Procédés	Avantages	Inconvénients
Recyclage physico-chimique	- Réutilisation d'un objet ; - Compostage	- Réutilise des matériaux - Recycle les matières organiques	- Ne s'applique pas aux industries pharmaceutiques et agroalimentaires - Peut produire des odeurs
Récupération chimique	- Pyrolyse - Hydrolyse	- Production de monomères pour nouvelles formations de polymères	- Production de COV toxiques
Valorisation énergétique	- Incinération et récupération énergétique immédiate - Fabrication de combustible - Pyrolyse en absence de gaz réactif	- Énergie utilisée notamment pour la production de vapeur d'eau - Recyclage complet de déchets - Production d'huiles combustibles	- Peut entraîner la production de gaz toxiques et de COV à effets nocifs

Le principe de lavage de gaz peut se faire également par absorption. Il permet le transfert de matière (ici les malodorants) d'une phase gazeuse dans une phase liquide. Pour que ce procédé soit le plus efficace possible, les réactions privilégiées entre les deux phases sont des réactions instantanées de type oxydation (la phase liquide contient alors un oxydant) ou une variation de pH avec une solution tampon. Il est également nécessaire d'avoir la plus grande surface de contact entre les molécules odorantes et le liquide, et une quantité de liquide absorbant supérieure à la quantité de composés gazeux pour éviter la saturation du liquide (Le Cloirec, 2003). Plusieurs installations ont été développées pour les lavages par absorption. La figure 11 présente l'une d'entre elles : la colonne à pulvérisation.

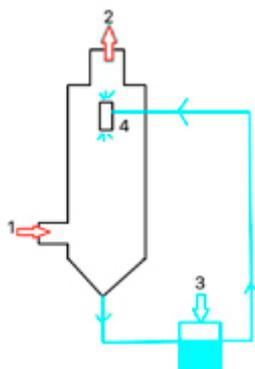


Figure 11. Schéma d'une colonne à pulvérisation  
 1. Entrée de gaz ; 2. Sortie de gaz ;  
 3. Solution lavante ; 4. Pulvérisation.  
**Diagram of spraying column**  
**1. Gas entry ; 2. Gas way out ;**  
**3. Washing solution ; 4. Spraying.**

Les bioprocédés dans le traitement des odeurs connaissent un intérêt grandissant depuis leurs mises au point en 1979 (Le Cloirec, 2003). Le principe de biodégradation s'appuie sur l'oxydation par des microorganismes (bactéries, champignons...) de la matière organique (substrat) présente dans l'air. Ces réactions ne peuvent avoir lieu que dans un milieu aqueux où se trouvent les micro-organismes. Dans le cas du traitement de l'air, le substrat de la phase gazeuse doit être mis en contact avec la phase aqueuse. Un phénomène de diffusion se met alors en place et permet le transfert de la matière organique en phase aqueuse (Pré, 2004). Les industries les plus intéressées par ce processus sont les industries de l'agroalimentaire, les industries vinicoles (Bories, 2006) et les élevages d'animaux (Guinguand, 2006). L'installation de cette technologie peut se faire de trois manières différentes et est inspirée de systèmes déjà existants (Le Cloirec, 2003) (figure 12) :

- Biofiltre : la matière organique est traversée par un flux d'eau percolant, similaire aux installations du traitement par adsorption (figure 10) ;
- Lits bactériens : la matière organique est fixée et un flux d'eau ruisselle sur un support de type billes d'argiles. Un lavage du filtre est obligatoire, similaire aux installations du traitement par adsorption (figure 10) ;
- Biolaveurs : similaires au principe des colonnes à pulvérisation (vu figure 11), avec un bassin de boue permettant la dégradation de la matière organique.

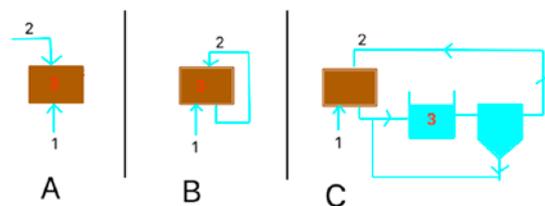


Figure 12. Schéma des différents bioprocédés  
 1. Matière organique ; 2. Eau ;  
 3. Matière organique ; A. Biofiltre ;  
 B. Lits bactériens ; C. Biolaveur.  
**Diagram of bioprocess**  
**1. Organic mater ; 2. Water ;**  
**3. Organic matter ; A. Biofilter ;**  
**B. Bacterial beds ; C. Biowashing.**

Un autre procédé nécessitant une installation importante est la dégradation thermique des émanations de gaz. La neutralisation des odeurs se fait grâce à une oxydation totale de tous les composés présents dans l'atmosphère. Dans une chambre de combustion, l'air odorant est oxydé par le passage d'une flamme alimentée par un gaz naturel (méthane, propane ou butane). La température dans la chambre est comprise entre 350 °C et 800 °C, il est alors intéressant de récupérer cette chaleur pour la recycler. En sortie de chambre, un échangeur de chaleur est alors placé dans ce but. La figure 13 présente ce procédé.

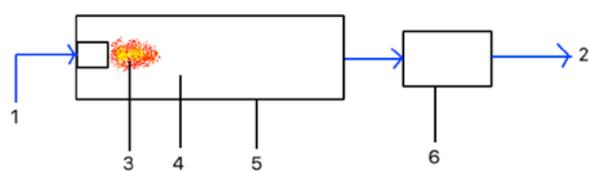


Figure 13. Schéma de la dégradation thermique  
 1. Gaz naturel ; 2. Air épuré ; 3. Flamme ;  
 4. Gaz odorant ; 5. Chambre de combustion ;  
 6. Échangeur de chaleur.  
**Diagram of thermal degradation**  
**1. Natural gas ; 2. Treated air ; 3. Flame ;**  
**4. Smelling gas ; 5. Combustion**  
**room ; 6. Heat exchanger.**

La dépollution de l'air peut également se faire par réaction d'oxydation des composés organiques volatils de manière catalytique. Cette technique consiste à mettre en contact l'air ambiant avec des oxydes qui permettront la dégradation des COV. Dans le cas des odeurs et de l'air, les oxydes les plus utilisés sont des oxydes nobles (platine et palladium) ainsi que des oxydes mixtes appelés pérovskites. Bien que cette technologie se soit largement étendue dans le domaine de l'automobile, elle ne s'est pas encore généralisée dans le traitement de l'air (Duprez, 2013).

Depuis quelques années, des études se sont consacrées à l'utilisation de plasma froid, ou de décharge, pour la destruction des COV et composés odorants. Le plasma froid est un gaz partiellement ionisé produit par une décharge électrique entre deux électrodes. Le volume de gaz, la tension appliquée aux électrodes et leurs géométries sont des critères variables, la nature du gaz et sa pression le sont aussi. (Parissi, 2004).

Le traitement d'odeurs peut se faire également par l'ajout d'une solution présentant une odeur qualifiée de plaisante sur un effluent gazeux à l'odeur désagréable. Cette technique est le masquage d'odeurs. Elle a pour but de changer qualitativement la perception d'une odeur en la rendant acceptable voire agréable (Couvert, 2009). Les masquants sont donc

des composés odorants vaporisés près des sources malodorantes. Les dispositifs sont généralement des systèmes de diffusion de solutions faciles de mise en œuvre sur des installations déjà existantes.

## 5. Exemple des restaurants

La France compte plus de 200 000 restaurants, essentiellement regroupés dans les zones urbaines. Ce secteur ne cesse de se développer dû à la demande grandissante de la population. La restauration rapide est celle qui s'accroît le plus. En effet, entre 2009 et 2012, sa progression a été de 15 %, alors que celle des restaurants traditionnels n'a été que de 3 %<sup>1</sup>. L'implantation de ces établissements n'étant pas limitée, ces derniers s'installent non seulement dans les rues des villes mais également dans les centres commerciaux et les aéroports. La proximité avec d'autres commerces dans ces lieux clos ainsi que les odeurs émanant des cuisines provoquent une gêne certaine, et les plaintes associées sont nombreuses. C'est pourquoi les restaurateurs cherchent à s'équiper de systèmes qui traitent les odeurs générées par leur activité, mais les paramètres à prendre en compte pour un traitement efficace sont nombreux. En effet, la particularité de ces odeurs est leur grande complexité ; toutes les grandes familles de composés odorants peuvent être retrouvées. Elles présentent éga-

Tableau 6. Classement des différents modes de traitement des odeurs (Le Cloirec, 2003).  
*Order of some different ways of odors treatment (Le Cloirec, 2003).*

Technologie	Avantages	Inconvénients
Adsorption sur charbon actif	- Simplicité de mise en œuvre - Variation de flux possible	- Changement régulier des filtres à charbon actif (coût élevé) - Sensible à l'humidité
Lavage des gaz	- Simplicité de mise en œuvre - Variation de flux possible	- Entretien et consommation onéreux - Rejet de pollution dans l'atmosphère
Bioprocédés	- Faible coût d'installation - Efficace pour de faibles concentrations et débits importants	-Maintenance importante
Dégradation thermique	-Simplicité de mise en œuvre - Performante et récupération de chaleur	- Installation coûteuse - Ne convient pas à toutes les familles de molécules
Dégradation par oxydation	- Adaptées pour toutes familles chimiques et mélanges complexes	- Installation et entretien coûteux
Plasma froid	- Faible coût énergétique - Efficace pour toute famille de molécules	- Installation coûteuse
Masquage	- Faible coût d'installation - Adaptable à différents débits	- Ne détruit pas les malodorants

lement une grande variabilité selon le type de restauration dont elles sont issues. Le tableau 7 présente les grandes classes de restaurants ainsi que les principaux composés qu'ils engendrent. De plus, de la vapeur d'eau est émise lors des cuissons des aliments, ce qui est une véritable contrainte lors de l'étape de prélèvement. Les stratégies les plus fréquemment utilisées pour pallier à ces problématiques sont l'extraction par DHS, qui permet de faire des échantillons directement sur site, quand le taux d'humidité le permet, ou bien le prélèvement d'un volume d'air dans des sacs inertes pour dilution de l'odeur dans un air propre et sec au laboratoire. Cette technique permet de baisser le taux d'humidité à une valeur acceptable et d'effectuer la préconcentration des composés volatils sur un adsorbant.

Dans le cas du développement de traitements d'odeurs de la restauration, la complexité et l'hétérogénéité d'une odeur, la vapeur d'eau émise et les débits d'air irréguliers sont toutes les exigences à prendre en compte. En effet, les restaurants émettent leurs effluents de manière irrégulière durant la journée, des pics d'activité sont concentrés sur 3 à 4 heures pour le déjeuner et reprennent de façon plus intense le soir. Il faut alors avoir un système ajustable en fonction du débit d'air à traiter. Une des technologies les plus simples et les plus efficaces pour lutter contre ces composés est l'oxydation catalytique. Elle permet une destruction totale des molécules responsables des odeurs par réaction d'oxydation. Cependant, ce système est utilisé dans le cas où le mélange de composés est simple et connu, car l'oxydation catalytique crée des sous-produits de réaction. Dans le cas des émanations de cuissons d'aliments, le mélange est complexe, ce qui conduit à une diversité de sous-produits très importante, impliquant ainsi la possibilité à ces sous-produits de réagir entre eux. Il est alors impossible de prédire tous les composés formés et d'en évaluer leur toxicité. Le tableau 8 présente d'autres stratégies de traitement déjà appliquées aux effluents des cuisines. C'est face à toutes ces problématiques que des solutions doivent être trouvées pour ce cas particulier du traitement des odeurs issues des restaurants. Actuellement, des études sont menées sur le traitement et l'élimination ciblés des odeurs. Le tableau 9 récapitule les différentes étapes dans l'élaboration de traitements d'odeurs issues de la restauration.

## Conclusion

Il n'est plus à démontrer que les odeurs indésirables sont perçues comme une pollution par la population qui y est confrontée. Les odeurs sont même devenues le deuxième motif de plainte après la pollution sonore. Qu'elles soient d'origine industrielle ou urbaine, les mauvaises odeurs posent un véritable problème à ceux qui les génèrent. Il est important pour ces sociétés de garder de bons rapports avec le voisinage et de conserver une bonne image de marque. Les odeurs sont systématiquement à l'origine d'inquiétude de la population. La législation qui s'articule autour des odeurs se focalise essentiellement sur le contrôle de la formation des COV et sur la surveillance des émanations faites. Cette surveillance passe par l'analyse de la qualité de l'air, les techniques se sont multipliées au cours des années pour améliorer les performances d'analyses. Du côté des installations concernées par cette réglementation, de plus en plus de technologies sont mises au point pour le traitement des COV. Des processus qui s'adaptent à de nombreuses installations.

En ce qui concerne les restaurants, dans le cadre de la pollution urbaine, la réglementation n'est pas explicite et agit au cas par cas. Peu d'études sont encore menées au sujet des COV qui composent les odeurs issues de la restauration, et peu de procédés existent pour pallier au problème que les restaurateurs rencontrent avec leur voisinage. C'est pourquoi une attention particulière doit être portée sur ces nuisances et sur le développement de nouveaux traitements pour les éliminer.

Les auteurs tiennent à remercier la région PACA pour le financement de CS dans le cadre du projet APRF GARANT'AIR (labélisé par le pôle de compétitivité PASS). Merci également à Alain Lange pour nos discussions et échanges techniques sur le sujet.

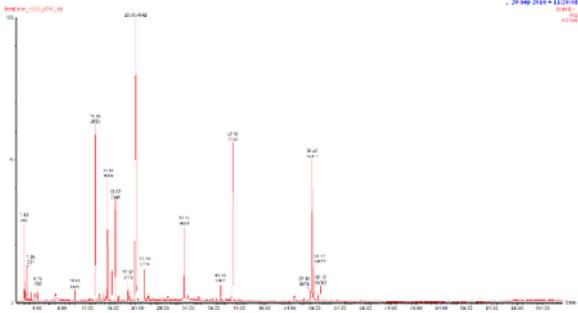
Tableau 7. Les différents types de restaurants et leurs malodorants.  
*Different types of restaurants and their ill-smelling compounds.*

Restaurant	Odeur	Composés
Fast-food type burger	- Viande grillée - Friture	- Réaction de Maillard : dégradation des acides aminés formant des composés azotés - Dégradation d'acides gras formant des aldéhydes
Asiatique et Wok	- Viande cuisinée et poisson - Friture	- Réaction de Maillard : dégradation des acides aminés formant des composés azotés et soufrés Dégradation d'acides gras formant des aldéhydes
Fruits de mer	- Poisson	- Composés azotés et soufrés
Cuisine traditionnelle française	- Viande et poisson cuisinés - Légumes cuits	- Réaction de Maillard : dégradation des acides aminés formant des composés azotés
Oriental	- Friture - Épices	- Dégradation d'acide gras formant des aldéhydes - Composés aromatiques caractéristiques

Tableau 8. Techniques de traitement des odeurs de restaurants.  
*Treatment technics of restaurant odors.*

Stratégie de traitement	Avantages	Inconvénients
Masquage par solution parfumante	- Facilement adaptable à des systèmes d'aspiration déjà existants - Faible coût d'installation	- Ne détruit pas les composés responsables des odeurs - Rejet de composés dans l'atmosphère, difficile de contrôler la toxicité
Adsorption sur charbon actif	- Adaptable à des systèmes d'aspiration déjà existants - Capacité à traiter des débits importants mais perte d'efficacité dans le temps	- Maintenance et changement des cartouches de charbon actif fréquent - Provoque des pertes d'efficacité au niveau de la ventilation - Coût des consommables élevé
Lavage des gaz	- Traitement des composés malodorants mais également des graisses et des fumées - Capacité à traiter des débits importants	- Installation à prévoir à la construction du système d'aspiration - Installation et maintenance importantes et onéreuses

Tableau 9. Contraintes et solutions dans l'élaboration des traitements d'odeurs.  
*Constraints and solutions about development of odors treatment.*

Contraintes	Étapes	Solutions
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vapeur d'eau émise lors des cuissons</li> <li>- Composition complexe et hétérogène des odeurs</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Le prélèvement:</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraction par DHS (prélèvement sur site)</li> <li>- Prélèvement dans sac inerte (extraction faite au laboratoire)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composition complexe des odeurs</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>L'analyse :</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Progrès sur la résolution des techniques séparatives (GC x GC) et des analyseurs (haute résolution : Temps de vol (ToF), MS-MS)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit d'air important et irrégulier</li> <li>- Humidité</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Le traitement d'odeurs :</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxydation catalytique efficace pour des débits importants mais limitée aux mélanges simples de composés</li> </ul>

### Références bibliographiques

- ADEME, 2013 : Les composés organiques volatils, Dunod, Paris. 268 p.
- Benoit O., Pannier G., 1982 : Les polluants atmosphériques et les odeurs - nature, mesures et méthodes d'élimination, *LPC*, 117, 58 p.
- Bories A., 2006 : Prévention et traitement des odeurs des effluents vinicoles, *Techniques de l'ingénieur*, G1960.
- Burgot G., Pellerin F., 2003 : Microextraction en phase solide (SPME), *Techniques de l'ingénieur*, P1430.
- Cartier H., Chrétien G., 1984 : Valorisation et élimination des déchets, *Techniques de l'ingénieur*, A3180.
- Couver A., 2009 : Masquants et neutralisants dans le traitement de l'air, *Techniques de l'ingénieur*, G1795.
- Dettmer K., Engewald W., 2002 : Adsorbent materials commonly used in air analysis for adsorptive enrichment and thermal desorption of volatile organic compounds, *Analytical and bioanalytical chemistry*, 373, 490-500.
- Desauziers V., 2009 : Analyses des COV en traces dans l'air, *Techniques de l'ingénieur*, G1634.
- Duprez D., 2013 : Procédés d'oxydation totale - Dépollution automobile et traitements de l'air et de l'eau, *Techniques de l'ingénieur*, J1216.
- Fanlo J.-L., Carre J., 2006 : Pollution olfactive, sources d'odeurs, cadre réglementaire, techniques de mesures et procédés de traitement, *Record*, 236 p.
- Fernandez X., Chemat F., 2012 : La chimie des huiles essentielles, Vuibert, Paris. 274 p.
- Geldenhuis G., Rohwer E.R., Naudé Y. *et al.*, 2015 : Monitoring of atmospheric gaseous and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in South African platinum mines utilising portable denuder sampling with analysis by thermal desorption-comprehensive gas chromatography-mass spectrometry, *Journal of chromatography A*, 1380, 17-28.
- Gingras B., Guy C., Lepagé T., 2003 : Environnement et santé publique – Fondements et pratiques, Edisem, Paris. 515 p.
- Guingand N., 1999 : Nuisances olfactives : de la porcherie à l'épandage, *Ingénieries - EAT*, 20, 69-74.
- Herbert R. A., Ellis J. R., Shewan J. M., 1975 : Isolation and identification of the volatile sulphides produced during chill-storage of north sea cod (*Gadus morhua*), *Journal of the science of food and agriculture*, 26, 1187-1194.
- Jakubowska N., Zygmunt B., Polkowska Z. *et al.*, 2009 : Sample preparation for gas chromatographic determination of halogenated volatile organic compounds in environmental and biological samples, *Journal of chromatography A*, 1216, 422-441.
- Jarrige J., Vervisch P., 2007 : Decomposition of Gaseous Sulfide Compounds in Air by Pulsed Corona Discharge, *Plasma Chemistry Plasma Processing*, 27, 241-255.
- Jo S-H., Kim K-H., Kim Y-H. *et al.*, 2013 : Study of odor from boiled eggs over time using gas chromatography, *Microchemical journal*, 110, 517-529.
- Konz A., Pourtier L., 2008 : Règlementation en matière d'odeurs, *Techniques de l'ingénieur*, G2910.
- Le Cloirec P., Fanlo J.-L., Gracian C., 2003 : Traitements des odeurs – Procédés curatifs, *Techniques de l'ingénieur*, G2971.
- Leguay J.-P., 1999 : La pollution au Moyen Âge, Jean-Paul Gisserot, Paris. 129 p.

Lord H. L., Zhan W., Pawliszyn J., 2010 : Fundamentals and applications of needle trap devices : a critical review, *Analytical Chemica Acta*, 677, 3-18.

Marc M., Tobiszewski M., Zabiegała B. *et al.*, 2015 : Current air quality analytics and monitoring : A review, *Analytica chimica acta*, 853, 116-126.

Meierhenrich U. J., Golebiowski J., Fernandez X. *et al.*, 2005 : De la molécule à l'odeur : Les bases moléculaires des premières étapes de l'olfaction, *L'actualité chimique*, 289, 29-40.

Melymuk L., Bohlin P., Sanka O. *et al.*, 2014 : Current challenges in air sampling of semivolatile organic contaminants : sampling artifacts and their influence on data comparability, *Environmental science and technology*, 48, 14077-14091.

Mu L., Peng L., He Q. *et al.*, 2013 : Emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from coking industries in China, *Particuology*, 11, 86-93.

Parissi L., Tuvache F., Adam A., 2004 : Brevet WO 2004110510 A1 déposé le 10 juin 2004, accepté le 23 décembre 2004.

Pré P., Andrès Y., Gérente C. *et al.*, 2004 : Bioprocédés en traitement de l'air – Mise en œuvre, *Techniques de l'ingénieur*, G1780.

Ramirez N., Cuadras A., Rovira E. *et al.*, 2010 : Comparative study of solvent extraction and thermal desorption methods for determining a wide range of volatile organic compounds in ambient air, *Talanta*, 82, 719-727.

Rognon C., Poutier L., 2014 : Les odeurs dans l'environnement, *Techniques de l'ingénieur*, G2900.

Roussel I., 2014 : La qualité de l'air et ses enjeux. [En ligne]. *Pollution atmosphérique*, 220. Disponible sur : <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.2518>

Sghaier L., 2015 : Développement de stratégies analytiques pour la détermination des composés odorants indésirables issus du chauffage de l'huile de colza en vue de sa stabilisation. Thèse : Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, 236 p.

Soupramanien A., 2013 : Traitement d'effluents gazeux malodorants issus du secteur industriel du traitement des déchets par voie biologique : étude du couplage lit percolateur/biofiltre. Thèse : université Nantes-Angers-Leman, 221 p.

Trachant J., 1996 : Chromatographie en phase gazeuse, *Techniques de l'ingénieur*, P1485.

Varlet V., Fernandez X., 2010 : Review. Sulfur-containing volatile compounds in seafood : occurrence, odorant properties and mechanisms of formation, *Food science and technology international*, 16, 463-503.