

Mesure des odeurs par analyse sensorielle ou « olfactométrie »

Measurement of odours by sensory analysis or olfactometry

Anne-Marie GOURONNEC*

Résumé

L'olfactométrie ou la mesure des odeurs par analyse sensorielle permet de quantifier les odeurs. Les méthodes disponibles donnent accès à la mesure de trois grandeurs : la concentration d'odeur, l'intensité d'odeur et la gêne olfactive. Dans les deux premiers cas, la mesure fait appel à un jury d'experts présélectionnés et dans le troisième cas, la méthode fait appel à un jury de population locale. Il est ainsi possible, non seulement de caractériser les sources d'odeur et de les comparer entre elles, mais aussi de caractériser l'environnement d'une source d'odeur.

Abstract

Olfactometry or measurement of odours by sensory analysis is used to quantify odours. The available methods are used to measure three variables : odour concentration, odour intensity and odour annoyance. The first two variables are measured by a panel of pre-selected experts and the third relies on a local population panel. Measurement of these three variables can characterise the different odour sources of a site and compare them ; it can also characterise the environment of the source of odour.

Introduction

Pour un être humain, l'odeur est le fruit de l'interaction de molécules chimiques avec son système olfactif (muqueuse olfactive et centres nerveux), les molécules chimiques ayant été transportées dans l'air depuis leur point d'émission.

Les milieux naturels ou les procédés utilisés sur les sites industriels peuvent entraîner l'émission dans l'atmosphère de rejets gazeux odorants de nature plus ou moins complexe.

Dans certains cas, les odeurs émises peuvent générer des nuisances au niveau des populations riveraines. L'industriel responsable des émissions odorantes peut ainsi être amené soit spontanément, soit sous la pression de ses riverains et/ou de l'administration (voir Tableau 1, p. 584), à contrôler ces

émissions, voire à désodoriser ces rejets avant leur émission dans l'atmosphère.

Tant le contrôle des émissions d'odeur que la désodorisation nécessite d'analyser les effluents gazeux. Deux approches sont alors possibles : l'analyse olfactométrique et/ou l'analyse physico-chimique. La première relève de l'analyse sensorielle, tandis que la seconde fait appel à des méthodes d'analyses plus classiques.

L'analyse physico-chimique permet d'identifier la composition du mélange odorant, qualitativement et quantitativement ; ceci est indispensable lorsque l'on veut désodoriser un effluent par exemple, car, dans ce cas, il faut tout d'abord savoir quelles sont les molécules à éliminer.

L'analyse olfactométrique permet d'appréhender l'odeur de façon globale puisqu'elle prend en compte les molécules chimiques à l'origine de l'odeur ainsi que le système physiologique sans lequel il n'y aurait pas perception de cette odeur. Ce type d'analyse rend en particulier compte de la grande sensibilité des systèmes olfactifs humains, lesquels perçoivent

* Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire – CEA-Saclay, bât 389, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France.
Tél. : 01 69 08 60 73 – Fax : 01 60 19 30 61 –
E-mail : anne-marie.gouronnec@ipsn.fr

Tableau 1.
Principaux textes législatifs relatifs aux odeurs en France*.
Principal regulation papers related to odours in France.

ANTIQUITÉ : odeurs = problèmes de voisinage

1810	Décret du 14 octobre 1810 visant à réduire ces nuisances
1917	Loi 1917-12-19 du 19 décembre 1917 relative aux établissements dangereux, insalubres ou incommodes
1961	Loi 61-842 du 2 août 1961 relative à la pollution atmosphérique et aux odeurs
1976	Loi 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)
1977	Décret 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi 76-663
1993	Arrêté du 1 ^{er} mars 1993 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des ICPE soumises à autorisation (arrêté intégré)
1996	Loi 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie
1998	Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des ICPE soumises à autorisation (arrêté intégré) et sa circulaire d'application du 17 décembre 1998

ET AUSSI :

1980	Loi 80-513 du 7 juillet 1980 relative à la création de l'AQA (Agence de qualité de l'air)
1990	Loi 90-1130 du 19 décembre 1990 relative à la création de l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)

→ fixe les moyens techniques et financiers de la lutte contre la pollution de l'air, donc contre les odeurs

* En gras, textes en vigueur en janvier 2000.

souvent des signaux chimiques correspondant à des concentrations moléculaires si faibles que les analyseurs chimiques courants ne les détectent pas. L'analyse olfactométrique permet également d'intégrer les propriétés de la muqueuse olfactive pour les mélanges de molécules odorantes ; en effet, lorsque la muqueuse est soumise à un mélange de molécules, il peut y avoir inhibition ou exacerbation des signaux d'odeur que l'on aurait obtenus à partir des molécules prises isolément.

On voit donc que les deux types d'analyses sont complémentaires puisque l'une permet de connaître ce dont est composé le mélange étudié, alors que l'autre permet de répondre à la question : « y a-t-il émission d'odeur et, si oui, combien ? ».

L'objectif du présent article est de présenter de façon générale les différents stades d'une étude olfactométrique, en précisant les différentes grandeurs couramment mesurées ainsi que les méthodes employées. Les différents types d'applications courantes de cette métrologie basée sur l'analyse sensorielle sont également présentés.

« L'appareil » de mesure

Les propriétés de l'olfaction humaine sont si complexes qu'aucun capteur ne peut rigoureusement les reproduire actuellement ; c'est pourquoi le seul « appareil » de mesure opérationnel pour détecter les odeurs issues de procédés industriels (gaz complexes, humides, poussiéreux, etc.) reste le **nez humain** (Figure 1, ci-contre).

A priori, ceci pose des problèmes pratiques. En particulier, la réponse olfactive résultant de l'interaction d'un nombre donné de molécules odorantes avec la muqueuse varie d'un individu à l'autre ou, pour un individu donné, en fonction de son état physiologique et des conditions de flairage. Cependant, la mesure des odeurs par analyse sensorielle, fondée sur des bases scientifiques sérieuses, permet de rendre compte des différences interindividuelles naturelles parce qu'elle fait appel à un **jury** de nez plutôt qu'à un individu isolé. En olfactométrie, un résultat de mesure est donc nécessairement constitué de deux informations : une valeur moyenne et un écart-type, reflet

Physiologie de l'olfaction

L'odorat est un sens chimique dont la fonction essentielle est l'analyse des molécules. La sensation olfactive est une sensation complexe caractérisée simultanément par trois modalités : hédoniste, qualitative et intensive. La première permet de classer l'odeur dans la catégorie agréable ou désagréable puis la seconde conduit à identifier l'odeur et à la reconnaître avec un plus ou moins grand degré de certitude, enfin la dernière achève de définir la sensation en lui assignant une grandeur. Ces modalités vont être analysées par les différents centres de projection olfactive.

Presque toutes les molécules organiques ou minérales dont le poids moléculaire est compris entre 30 et 300 constituent des *stimuli olfactifs*. Ces molécules odorantes parviennent à la *muqueuse olfactive* qui tapisse le plafond des fosses nasales et occupe chez l'homme une surface de 2 à 4 cm², soit par voie antérieure lors de l'inspiration ou du flairage, soit en diffusant à partir de la bouche.

Au contact de la muqueuse olfactive, le stimulus devient une information codée contenant tous les éléments indispensables pour renseigner les centres olfactifs sur la nature (codage qualitatif) et l'intensité (codage quantitatif) de celui-ci.

L'information est riche mais complexe et la fonction essentielle des centres intermédiaires est de réduire cette image olfactive et de l'alléger sans pour autant lui ôter sa signification. Le *bulbe olfactif* fait subir à l'image qu'il a reçue un traitement permettant d'en accentuer les contrastes et d'en assurer la stabilité. Le message sensoriel est ensuite véhiculé jusqu'aux *centres olfactifs supérieurs*, non sans avoir subi à nouveau un traitement dans des centres olfactifs primaires. Il atteint alors le *système limbique* où il est mémorisé, l'*hypothalamus* où il est intégré à d'autres systèmes sensoriels pour participer au contrôle des grandes fonctions de régulation, puis le *thalamus* et le *néocortex* où il est consciemment perçu comme une odeur.

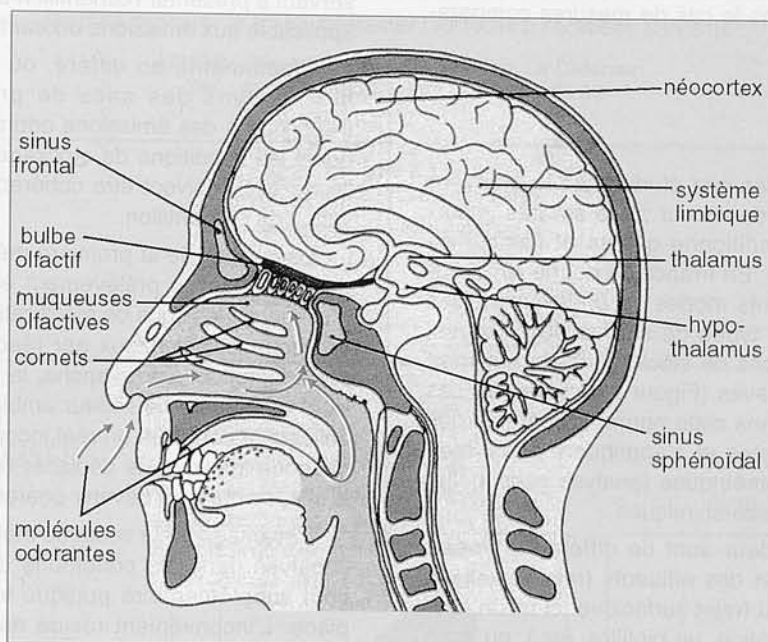


Figure 1.

L'outil de mesure : le système olfactif (Perrin ML, Thal MF, 1991 [1]). Reproduit avec l'aimable autorisation de Clefs CEA.

The measurement system : the olfactory sense organs (Perrin ML, Thal MF, 1991 [1]).

Reproduced, with permission, from Clefs CEA.

des différences de perception interindividuelles pour le mélange gazeux étudié. Les éléments précédents expliquent que l'olfactométrie (ou mesure des odeurs par analyse sensorielle) puisse être utilisée à bon escient dans l'industrie.

Pour faire partie d'un jury, les individus doivent faire l'objet d'une sélection dont le but est de vérifier que leur perception olfactive est représentative de la population standard. Il s'agit donc de dépister et d'extraire du jury les individus soit faisant preuve d'anosmie, soit hypersensibles à certaines substances chimiques. En effet, ces individus, peu nombreux dans la population globale (quelques pourcent), contribueraient à fausser notablement les

résultats s'ils font partie d'un échantillon de population réduit à moins de 10 personnes et supposé représentatif de la population. La sélection, décrite dans les normes françaises AFNOR NF X 43-101 [2] et NF X 43-103 [3], est constituée à l'aide de deux types de tests :

- le premier consiste à classer correctement par ordre d'intensité des solutions de butan-1-ol ou de pyridine dans l'eau, les concentrations de ces solutions étant distribuées régulièrement dans une gamme de 1 à 1000 ;
- les sujets sont ensuite qualifiés en fonction de leur seuil individuel de détection pour cinq produits purs

(butan-1-ol, hexan-2-one, pyridine, acide propionique, tétrahydrothiophène). Pour chacun de ces produits, le seuil de chaque sujet doit se situer dans la fourchette 0,1 à 10 fois le seuil moyen donné en référence. On vérifie régulièrement cette qualification.

Dans le cadre de l'analyse d'un échantillon gazeux, on retient autant que possible, pour un jury donné, des sujets ayant montré des seuils de détection dispersés de façon homogène. **Il n'y a, en particulier, aucun intérêt à sélectionner les sujets les plus sensibles.** La représentativité de l'échantillon de population constitué par le jury dépend directement de son effectif : la mesure est d'autant plus reproductible et fiable que le nombre de sujets composant le jury est élevé. Un compromis doit donc être recherché entre le coût et la validité des résultats obtenus ; il est recommandé d'avoir recours à au moins 16 sujets lorsque l'on désire une bonne précision sur la valeur de la mesure, 6 à 8 sujets dans la plupart des cas, 4 sujets dans le cas de mesures comparatives.

Le prélèvement

Le prélèvement des gaz étudiés est la première phase du mesurage de l'odeur : elle est très importante puisqu'elle conditionne qualité et fiabilité du résultat de la mesure. En France, la norme NF X 43-104 [4] décrit différents modes de prélèvement des gaz en fonction des types de source et d'analyse, ainsi que les conditions de stockage et de transport des échantillons prélevés (Figure 2a, ci-contre). Les méthodes décrites dans cette norme concernent des atmosphères odorantes et s'appliquent aussi bien aux analyses olfactométriques (analyse sensorielle) qu'aux analyses physico-chimiques.

Les sources d'odeur sont de différents types : cheminée d'extraction des effluents (rejet canalisé), surface d'un matériau (rejet surfacique tel qu'un bassin de station d'épuration, un biofiltre, etc.), ou enfin bâtiment avec toutes ses ouvertures lorsque les rejets ne sont pas canalisés (voir Figures 2b, ci-contre et 2c, p. 588) :

- dans le cas de rejets canalisés ou provenant de l'ensemble d'un bâtiment, la sonde de prélèvement est introduite dans la phase gazeuse à prélever, c'est-à-dire dans la cheminée d'extraction des gaz ou directement dans l'ambiance à étudier ;
- dans le cas de sources surfaciques traversées par un débit d'air, une hotte mobile est posée sur la surface émettrice afin de se soustraire à l'influence du vent ; la sonde de prélèvement est introduite dans la hotte et le gaz prélevé est celui émis par la surface, sans aucune dilution aléatoire par le vent ;
- dans le cas de sources surfaciques non aérées, l'émission d'odeur est due au balayage de la surface du matériau par le vent qui se charge en molécules odorantes ; la norme précitée prévoit donc l'utilisation d'un « caisson de simulation » dans lequel un volume défini de la matière odorante est introduit afin d'être

balayé par de l'air sec et inodore, à une vitesse fixée, de l'ordre de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$; l'analyse olfactométrique porte sur l'air odorant sortant du caisson de simulation ; il est également possible d'adapter cette méthode de balayage au cas réel en posant de nouveau une hotte mobile sur la surface étudiée et en lui appliquant un balayage avec de l'air inodore ; l'analyse olfactométrique porte alors sur l'air de balayage chargé en molécules odorantes issues de la surface couverte par la hotte.

Quel que soit le type de source, il est préconisé de filtrer le gaz s'il est fortement chargé en particules et d'éviter toute condensation lorsque les gaz prélevés sont très chauds.

Dans la norme précitée, deux types d'olfactométries sont présentés :

- l'olfactométrie en ligne, où le gaz est amené directement du point de prélèvement vers l'olfactomètre servant à présenter l'échantillon aux experts ; elle est applicable aux émissions odorantes constantes ;
- l'olfactométrie en différé, où le gaz prélevé est stocké dans des sacs de prélèvement ; cela s'applique à des émissions odorantes constantes ou non ; les conditions de stockage et de transport de l'échantillon doivent être cohérentes avec la conservation de l'échantillon.

L'avantage de la première méthode est l'absence de délai entre le prélèvement et l'analyse, ce délai augmentant le risque de modification de la composition de l'échantillon gazeux par réactions chimiques ou par adsorption. En revanche, la nécessité d'isoler le local de mesure de l'odeur ambiante du site est très délicate et constitue un réel inconvénient. De plus, la méthode implique de déplacer l'équipe d'experts sur le site, ce qui peut devenir onéreux.

L'avantage de la seconde méthode est de réaliser l'analyse dans les conditions de laboratoire, sans coût supplémentaire puisque les experts sont sur place. L'inconvénient réside dans le délai entre le prélèvement et l'analyse, limité toutefois à 30 heures au maximum.

Les différents types de mesures

L'analyse olfactométrique donne accès à différentes grandeurs : la **concentration d'odeur** et l'**intensité d'odeur** [5-7]. On peut également citer une troisième grandeur, la **gêne olfactive**, dont on verra qu'elle a comme particularité d'être mesurée, non pas par un jury d'experts, mais par des individus non préalablement sélectionnés [8]. Les caractéristiques de chacune de ces grandeurs sont synthétisées dans le tableau 2, p. 588.

Concentration d'odeur

Définition

La concentration d'odeur de tout mélange gazeux odorant est définie par rapport à sa « concentration

- **Références :**

NF X 43-104 [4]

- **Titre :**

Qualité de l'air
Atmosphères odorantes
Méthodes de prélèvement

- **Date :**

Juillet 1995

- **Objet :**

Description des techniques de prélèvement des atmosphères odorantes. Phase importante de la mesure : conditionne qualité et fiabilité du résultat de la mesure.

- **Domaine d'application :**

Mesure de dilutions au seuil de perception (concentration d'odeur ; NF X 43-101) [2] et mesure d'intensités d'odeur (NF X 43-103) [3] d'atmosphères gazeuses odorantes.

Pour se procurer le texte, contacter l'AFNOR à l'adresse suivante :

AFNOR – Tour Europe – 92049 Paris La Défense
Tél. : 01 42 91 55 34 – Fax : 01 42 91 56 56

Figure 2 a.
Prélèvements : norme française.
Sampling : French standard.

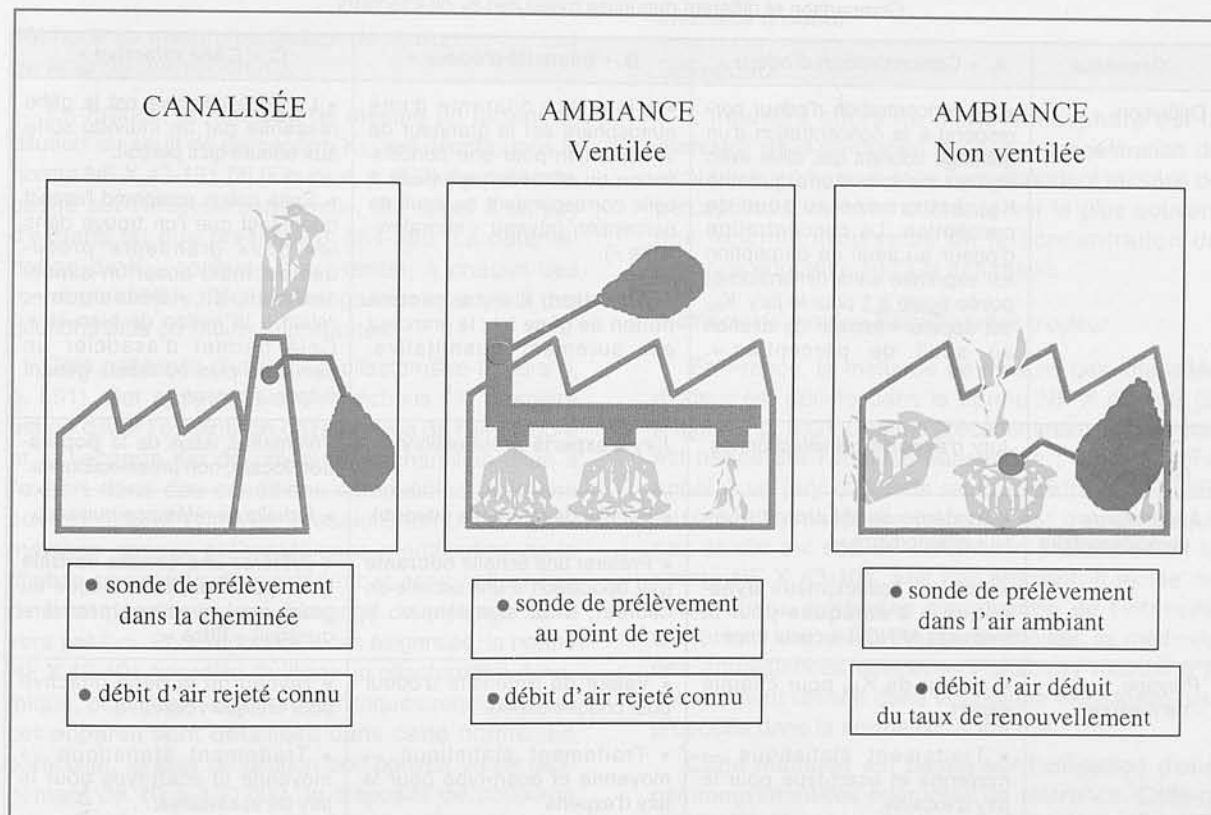


Figure 2 b.
Prélèvements : sources canalisées ou diffuses.
Sampling : channelled or diffuse sources.

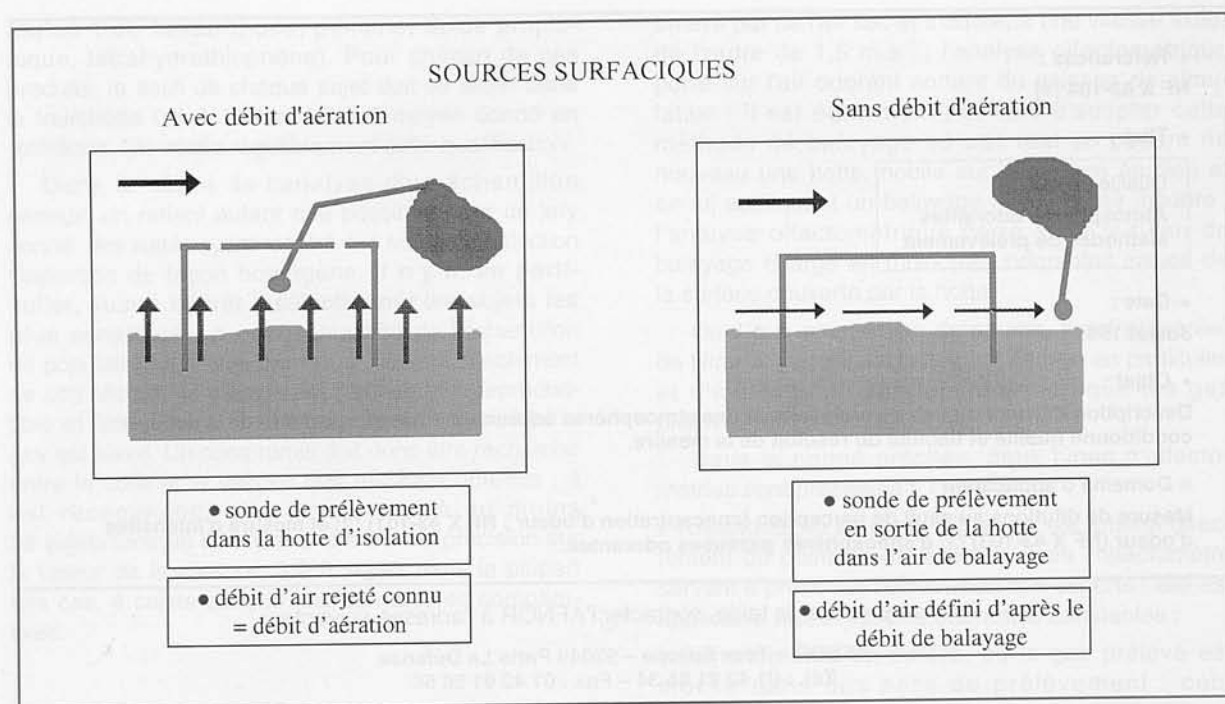


Figure 2 c.
Prélèvements : sources surfaciques.
Sampling : sources as surfaces.

Tableau 2.
Comparaison des différentes grandeurs mesurées en olfactométrie.
Comparison of different quantities measured by olfactometry.

Grandeur	A. « Concentration d'odeur »	B. « Intensité d'odeur »	C. « Gène olfactive »
Définition	• La concentration d'odeur correspond à la concentration d'un mélange odorant qui, dilué avec de l'air inodore d'une quantité K_{50}, est ramené au seuil de perception. La concentration d'odeur au seuil de perception est exprimée sans dimension et posée égale à 1 pour le jury. K_{50} est appelé « facteur de dilution au seuil de perception ».	• L'intensité odorante d'une atmosphère est la grandeur de la sensation pour une concentration du stimulus supérieure à celle correspondant au seuil de perception (niveau « supraliminaire »). • Attention, il n'y a aucune notion de gène ici ; la grandeur est purement quantitative.	• La gène olfactive est la gène ressentie par un individu suite aux odeurs qu'il perçoit. • Cette notion comprend l'aspect quantitatif que l'on trouve dans les deux grandeurs précédentes, mais aussi un aspect nouveau, dit « hédonique », relatif à la notion de bien-être. Cela permet d'associer un caractère plus ou moins gênant à l'odeur perçue.
« Outil de mesure »	Jury d'experts présélectionnés.	Jury d'experts présélectionnés.	Volontaires issus de la population locale , non présélectionnés.
Appareillage complémentaire	• Système de dilution du gaz (= « olfactomètre »). • Préférer l'olfactomètre dynamique à 3 masques pour la méthode AFNOR à choix forcé.	• Échelle de référence <i>intensité</i>. • Préférer une échelle odorante (par opposition à une échelle de couleur, bruit, numérique...).	• Échelle de référence <i>nuisance</i>. • Préférer une échelle verbale (par opposition à numérique ou graphique) avec une première question « filtre ».
Principe de mesure	• Valeur de K_{50} pour chaque expert. • Traitement statistique → moyenne et écart-type pour le jury d'experts.	• Valeur de l'intensité d'odeur pour chaque expert. • Traitement statistique → moyenne et écart-type pour le jury d'experts.	• Niveau de la gène olfactive pour chaque volontaire. • Traitement statistique → moyenne et écart-type pour le jury de volontaires.
Norme française	AFNOR NF X 43-101 (+ NF X 43-104 pour le prélèvement de l'échantillon).	AFNOR NF X 43-103 (+ NF X 43-104 si prélèvement d'échantillon).	Pas de norme française.

d'odeur au seuil de perception ». Par convention, cette dernière est la concentration de molécules odorantes dans l'air telle que la probabilité de perception d'un jury d'observateurs est de 50 %. Si le produit est pur, la concentration d'odeur au seuil de perception est égale à une concentration moléculaire. Si le mélange est complexe, la concentration d'odeur au seuil de perception est posée égale à 1 ; en France (voir Article 29 de l'arrêté du 2 février 1998, relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation ; arrêté dit « intégré »), la concentration d'odeur est donnée sans dimension, alors qu'en Europe elle est exprimée en « unité d'odeur par m^3 » (l'unité d'odeur, symbolisée par « $uo.m^{-3}$ » est la quantité de produit qui, diluée dans $1 m^3$ d'air, conduit au seuil de perception du mélange ainsi constitué).

Pour ramener la concentration d'odeur du mélange odorant étudié à sa concentration au seuil de perception, il faut le diluer avec de l'air pur, donc inodore, d'une quantité appelée « facteur de dilution au seuil de perception » et notée K_{50} (Figure 3, p. 590). La concentration d'odeur du mélange est donc K_{50} fois plus élevée que sa concentration au seuil de perception. Cette dernière étant par définition égale à $1 uo.m^{-3}$, la concentration d'odeur du mélange odorant (C_{odeur}) est finalement donnée directement par la valeur de K_{50} qu'il faut donc mesurer.

Méthode de mesure du facteur de dilution au seuil de perception K_{50}

En France, la méthode de mesure du facteur de dilution au seuil de perception K_{50} est décrite dans la norme NF X 43-101 [2] (Figure 4, p. 590). La méthode, basée sur l'analyse sensorielle, fait appel à un jury d'experts tel que présenté p. 584-586. La détermination de K_{50} consiste à présenter, à chacun des membres du jury, l'échantillon gazeux ayant subi des dilutions plus ou moins importantes.

Cela nécessite d'utiliser un olfactomètre (Figure 5, p. 591). Cet appareil a deux fonctions : la première est de diluer l'échantillon gazeux avec de l'air inodore et la seconde est de présenter l'échantillon dilué à l'expert dans des conditions compatibles avec son confort olfactif (vitesse, pression, température du mélange gazeux présenté) sans modification de la dilution par entrée d'air extérieur et sans polluer l'air du local de mesure par relargage du mélange dilué vers celui-ci. Pour répondre à ces exigences, la norme NF X 43-101 conseille d'utiliser un olfactomètre dynamique, plus fiable. Les caractéristiques requises pour cet appareil sont détaillées dans cette norme. En particulier, le taux de dilution doit pouvoir varier rapidement de 10 à 100 000, le dispositif de couplage olfactomètre-sujet doit permettre un flairage et éviter les entrées d'air, l'appareil doit être réalisé en matériaux peu adsorbants et un dispositif à trois canaux est particulièrement recommandé en raison de la procé-

dure dite « à choix forcé » décrite ci-dessous. Le débit de sortie conseillé est de l'ordre de $2 m^3.h^{-1}$.

La norme NF X 43-101 définit précisément le protocole de présentation des dilutions aux experts. Ainsi, pour un expert donné, l'estimation de K_{50} se fait par présentation aléatoire d'une série préétablie de dilutions distribuées en progression géométrique de raison $\sqrt{2}$. Elles sont calculées à partir d'une dilution voisine du seuil de perception de façon à obtenir une dilution pour laquelle le sujet sente plutôt bien l'odeur, une dilution pour laquelle il ne sente quasiment plus l'odeur et une dilution intermédiaire. Ces dilutions sont délivrées dans l'un des trois canaux de l'olfactomètre, les deux autres canaux étant alimentés uniquement en air inodore. Le sujet doit indiquer, après flairage, s'il trouve un des trois canaux odorant et lequel. La réponse est à choix forcé, c'est-à-dire que les réponses dubitatives ne sont pas admises : en cas d'hésitation, le sujet doit répondre au hasard. Le traitement statistique de l'ensemble des réponses de l'expert permet de déterminer le facteur de dilution individuel au seuil de perception. Puis, le traitement statistique des réponses de chacun des membres du jury donne accès au facteur de dilution au seuil de perception du jury, ainsi qu'à l'écart-type lié aux différences interindividuelles (Figure 6, p. 591). Comme indiqué dans le paragraphe précédent, de la valeur de K_{50} obtenue est déduite la valeur de la concentration d'odeur de l'échantillon prélevé.

Intensité d'odeur

Définition

L'intensité odorante d'une atmosphère est la grandeur de la sensation pour une concentration du stimulus supérieure à celle correspondant au seuil de perception. L'intensité odorante est le plus souvent une fonction croissante de la concentration du mélange odorant jusqu'à la saturation.

Méthode de mesure des intensités d'odeur

En France, la méthode de mesure des intensités d'odeur est décrite dans la norme NF X 43-103 [3] (Figure 7, p. 592). Comme précédemment, la méthode est basée sur l'analyse sensorielle ; elle fait donc appel à un jury d'experts tel que décrit p. 584-586, auxquels l'atmosphère gazeuse est présentée. Le gaz étudié est soit un échantillon prélevé selon la norme NF X 43-104, soit l'air ambiant. Il existe de nombreuses méthodes d'évaluation de l'intensité odorante : une seule de ces méthodes, la méthode des équivalences olfactives ("olfactory matching"), couramment utilisée dans la pratique industrielle, est proposée dans la norme NF X 43-103.

Cette méthode est basée sur l'utilisation d'une gamme d'intensités odorantes de référence. Celle-ci est constituée de plusieurs échantillons gazeux de concentrations connues en butanol ou en pyridine (Figure 8, p. 592). Le mode de production de ces échantillons diffère selon que les mesures sont

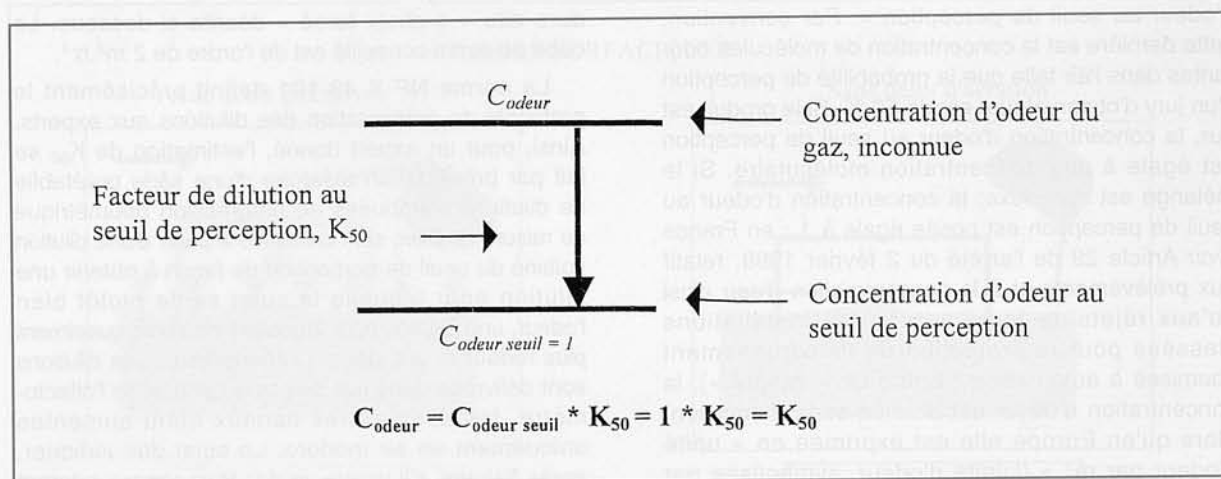


Figure 3.
Concentration d'un mélange gazeux odorant.
Concentration of an odorous gas.

- Références :
NF X 43-101 [2]

- Titre :

Qualité de l'air
Méthodes de mesurage de l'odeur d'un effluent gazeux
Détermination du facteur de dilution au seuil de perception

- Date :

Décembre 1986

- Objet :

Définition d'une méthode de détermination du facteur de dilution au seuil de perception d'un effluent gazeux au moyen d'un gaz inodore.

- Principe :

Le mélange odorant est présenté, après avoir été dilué par un gaz inodore approprié, à chacun des sujets d'un jury qui indique individuellement s'il perçoit ou ne perçoit pas l'odeur du mélange. Pour chacun des sujets, on définit sur la base d'essais successifs, une estimation du taux de dilution pour lequel la probabilité de perception de l'odeur est égale à 50 %.

Pour se procurer le texte, contacter l'AFNOR à l'adresse suivante :

AFNOR – Tour Europe – 92049 Paris La Défense
Tél. : 01 42 91 55 34 – Fax : 01 42 91 56 56

Figure 4.
Mesure de K_{50} : norme française.
Measurement of K_{50} : French standard.

réalisées en laboratoire ou sur le terrain : dans le premier cas, l'olfactomètre est utilisé pour diluer plus ou moins une phase gazeuse de butanol ou de pyridine de concentration connue, tandis que sur le terrain est transporté un ensemble de sacs ou de fioles contenant des phases respectivement gazeuses ou aqueuses de concentrations différentes des mêmes produits chimiques. La mesure consiste à rapprocher

l'intensité du stimulus à l'intensité d'un échantillon de référence, ou à encadrer l'intensité du stimulus par les intensités de deux échantillons consécutifs de la gamme de référence. Les valeurs d'intensités fournies par chacun des membres du jury sont données sous la forme de concentrations de butanol ou de pyridine dans l'air ou dans l'eau selon le mode de production utilisé pour l'échelle de référence olfactive. Ces

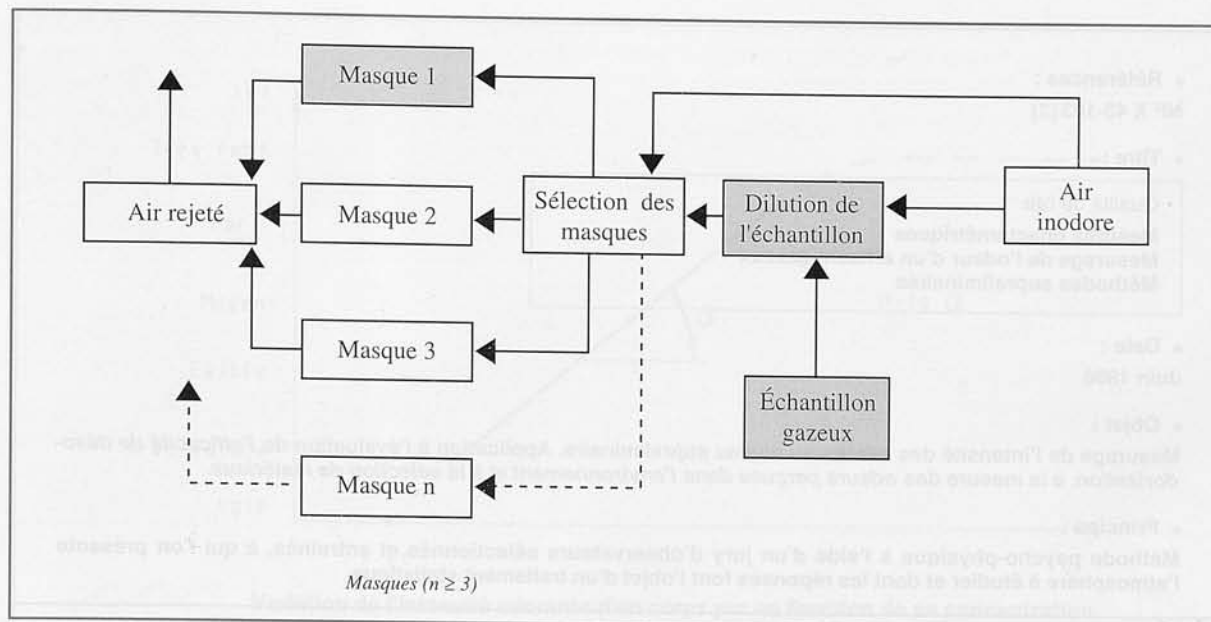


Figure 5.
Schéma fonctionnel d'un olfactomètre dynamique.
Functional diagram of a dynamic olfactometer.

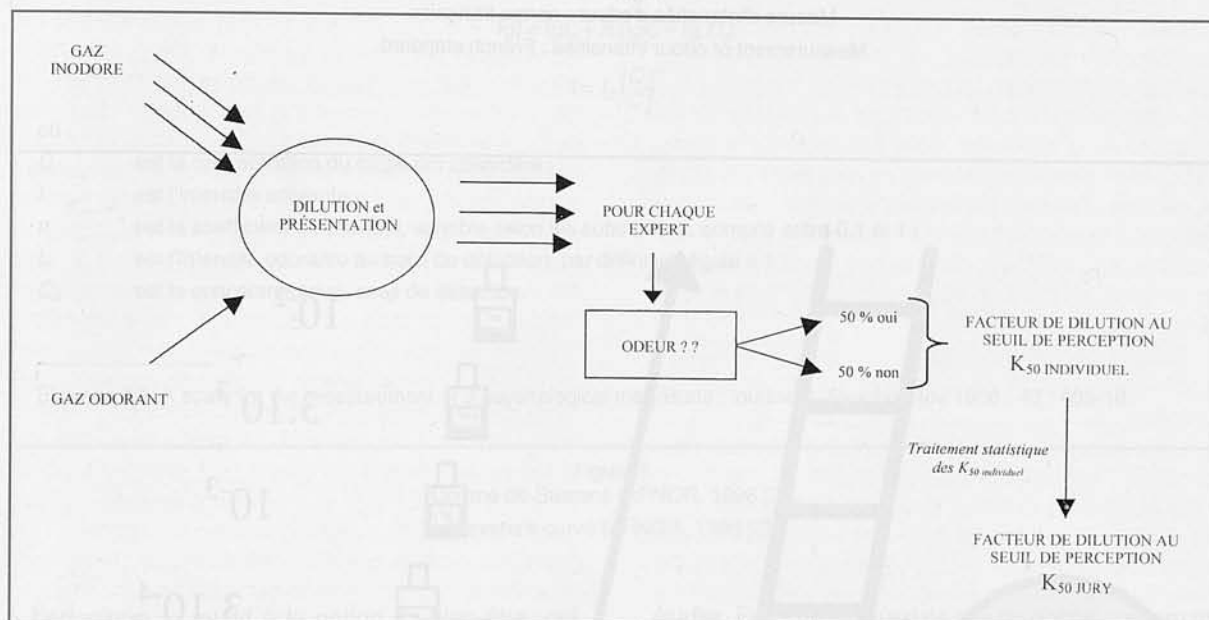


Figure 6.
Principe de la mesure de K_{50} : récapitulatif.
Principle of the measurement of K_{50} : recapitulatory.

valeurs sont exprimées en échelle logarithmique, car il est tenu compte du fait que la relation stimulus-sensation est une loi de puissance (dite « Loi de Stevens », Figure 9, p. 593). Le traitement statistique des réponses de chacun des experts permet de calculer la moyenne géométrique de l'intensité odorante et l'écart-type lié aux différences interindividuelles observées entre les membres du jury.

Gène olfactive

Définition

La gène olfactive est la gène ressentie par un individu suite aux odeurs qu'il perçoit. Il faut souligner que cette notion de gène olfactive comprend un aspect quantitatif comme dans les deux grandeurs vues précédemment, mais aussi un aspect dit

- Références :

NF X 43-103 [3]

- Titre :

Qualité de l'air
Mesures olfactométriques
Mesurage de l'odeur d'un effluent gazeux
Méthodes supraliminales

- Date :

Juin 1996

- Objet :

Mesurage de l'intensité des odeurs au niveau supraliminaire. Application à l'évaluation de l'efficacité de désodorisation, à la mesure des odeurs perçues dans l'environnement et à la sélection de matériaux.

- Principe :

Méthode psycho-physique à l'aide d'un jury d'observateurs sélectionnés et entraînés, à qui l'on présente l'atmosphère à étudier et dont les réponses font l'objet d'un traitement statistique.

Pour se procurer le texte, contacter l'AFNOR à l'adresse suivante :

AFNOR – Tour Europe – 92049 Paris La Défense
Tél. : 01 42 91 55 34 – Fax : 01 42 91 56 56

Figure 7.

Mesure d'intensités d'odeur : norme française.

Measurement of odour intensities : French standard.

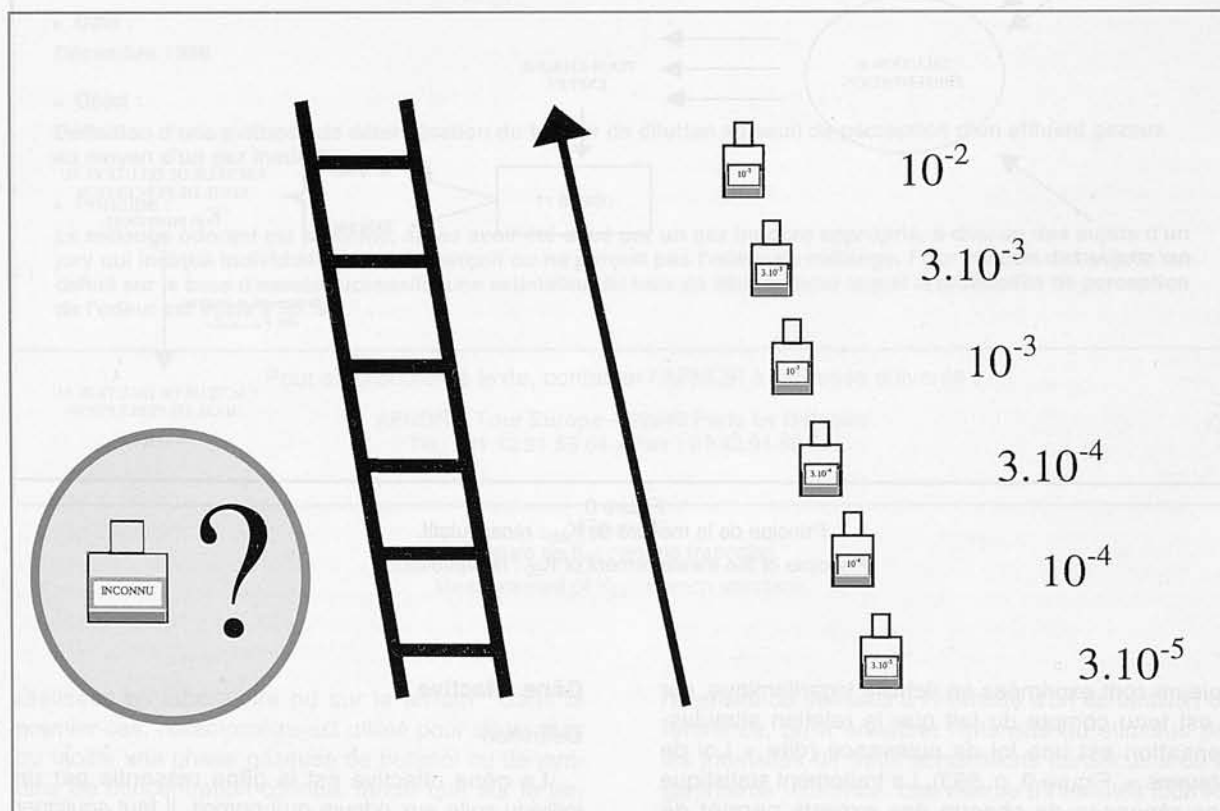
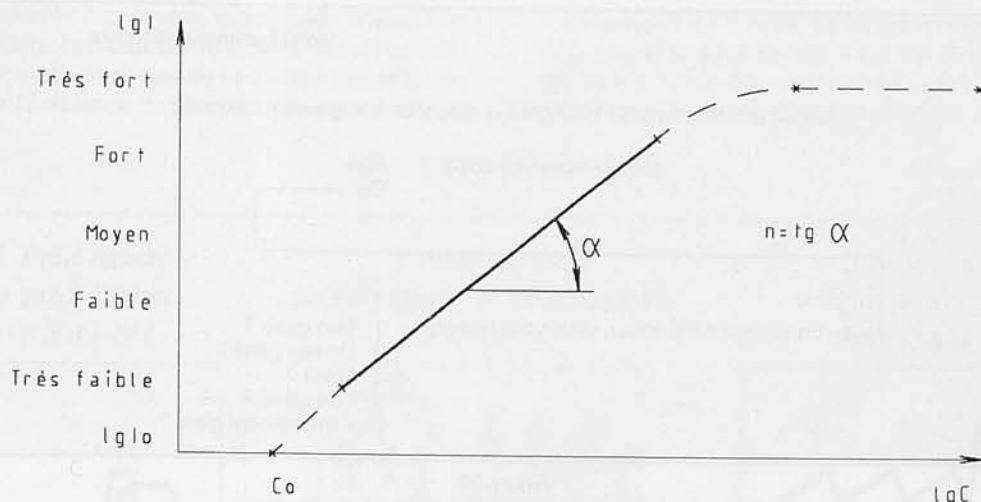


Figure 8.

Mesure d'intensités d'odeur par la méthode des équivalences olfactives.

Measurement of odour intensities by the olfactory equivalence method.



Variation de l'intensité odorante d'un corps pur en fonction de sa concentration

Sur ce diagramme en coordonnées $\lg \times \lg$, le domaine supraliminaire correspond, pour les concentrations moyennes et faibles, à une fonction linéaire de pente n .

D'après la loi générale de Stevens ou de puissance, représentée par la fonction :

$$\lg I = \lg I_0 + n (\lg C - \lg C_0)$$

$$I = I_0 \left(\frac{C}{C_0} \right)^n$$

où

C est la concentration du corps pur considéré ;

I est l'intensité odorante ;

n est le coefficient de Stevens, variable selon les substances, compris entre 0,1 et 1 ;

I_0 est l'intensité odorante au seuil de détection, par définition égale à 1 ;

C_0 est la concentration au seuil de détection.

Stevens SS. A scale for the measurement of a psychological magnitude : loudness. Psychol Rev 1936 ; 43 : 405-16.

Figure 9.
Courbe de Stevens (AFNOR, 1996 [3]).
Stevens's curve (AFNOR, 1996 [3]).

« hédonique », relatif à la notion de bien-être, qui consiste à associer un caractère agréable ou désagréable à l'odeur perçue. Cette nouvelle notion, qui fait intervenir des paramètres d'ordre psycho-sociologique, est étroitement liée à l'histoire de l'individu interrogé, à sa culture, etc. Ainsi, par exemple, une odeur agréable pour un Européen ne l'est pas nécessairement pour un Asiatique et inversement.

Méthode de mesure de la gêne olfactive

Pour évaluer le niveau de la gêne ressentie par les riverains d'un site pollué par les odeurs, on utilise un jury constitué cette fois, non pas d'experts pré-sélectionnés, mais de personnes volontaires issues de la population locale environnant le site industriel à

étudier. En France, il n'existe pas de norme concernant ce type de mesure, développé dans le nord de l'Europe par une équipe de recherche de l'Université d'Utrecht [9].

La mesure consiste à interroger des personnes qui donnent leur avis sur leur niveau de gêne olfactive, à un moment fixé de la journée et pendant une période déterminée pouvant durer plusieurs mois. Chaque individu donne son avis en faisant référence à une échelle de nuisance commune à tous (voir un exemple d'échelle en figure 10, p. 594). Différentes échelles de nuisance peuvent être utilisées, plus ou moins performantes comme le montrent les travaux de Köster [9]. Pour chaque observation du jury de volontaires, en un jour et une heure donnés, les

Échelle de nuisance verbale (par opposition à numérique ou graphique) à cinq niveaux précédée d'une question filtre - Qualificatif retenu : « gênant », par opposition à « désagréable », « irritant » ou « fort » (Köster EP, 1191 [9]).

Identification du volontaire :

Flairez attentivement s'il vous plaît et répondez à la question suivante.

Sentez-vous une odeur ? Non
 Oui

→ En sentant cette odeur, vous vous trouvez :

1. Non gêné ?
2. Un peu gêné ?
3. Gêné ?
4. Très gêné ?
5. Extrêmement gêné ?

Figure 10.
Exemple de formulaire rempli lors d'une étude de gêne.
Example of form filled during an annoyance study.

réponses individuelles permettent de calculer un indice de gêne odeur. Compris entre 0 et 100, l'indice de gêne odeur est nul lorsque personne n'est gêné par les odeurs et égal à 100 lorsque tous les participants sont extrêmement gênés. Le traitement des données permet alors de calculer les indices de gêne par quartier, commune ou autre, et de les visualiser sur des courbes en fonction du temps ou sur des cartes où apparaît la variabilité dans l'espace. Le taux de participation des volontaires est un paramètre important de ce type d'étude ; l'opérateur le vérifie donc régulièrement et contribue à le maintenir le plus élevé possible, en particulier dans le cas d'études longues où certains volontaires peuvent avoir tendance à se désintéresser.

Deux autres méthodes sont quelquefois utilisées : la prise en compte des plaintes ou les sondages d'opinion.

Concernant la prise en compte des plaintes, cela permet à l'industriel de s'informer sur les conditions dans lesquelles certains riverains n'acceptent plus les nuisances odorantes dont son usine est responsable. Cependant, il faut toujours garder à l'esprit que l'échantillon de population se manifestant à travers des plaintes n'est, a priori, pas représentatif de la population standard.

Dans le cas des sondages d'opinion, les informations recherchées concernent des périodes plus ou moins anciennes (de quelques jours à plusieurs mois). Cela nécessite donc de la part des riverains de faire appel à leur mémoire. Or, il n'y a, a priori, aucune raison pour que le cerveau d'un individu réalise un tri **objectif** des milliers d'informations qu'il reçoit chaque jour ; ainsi, selon sa disponibilité, son état physique et psychologique, un individu peut se rappeler ou oublier des épisodes odorants, sous- ou surestimer leur fréquence et/ou leur intensité comme le degré de gêne qu'ils lui ont occasionné. L'information obtenue par cette méthode apparaît

donc entachée d'une erreur qui peut être importante et que l'opérateur peut difficilement corriger, voire pas du tout. Notons que cet inconvénient a été largement minimisé dans l'étude de Punter et Blaauwbroek [10], laquelle conduit à conclure que les sondages d'opinion donnent des résultats comparables aux études de gêne. En pratique, la population impliquée dans le sondage d'opinion devait avoir participé, quelques mois plus tôt, à une campagne de mesures de gêne durant 81 semaines : autrement dit, le panel interrogé avait une grande particularité par rapport à la population standard, à savoir que, du fait de sa participation à une campagne de mesures des nuisances olfactives, sa mémoire avait très probablement traité les informations de type odeur avec une « attention » très particulière. En conclusion, les trois principaux avantages de l'étude de gêne par rapport aux deux autres méthodes sont les suivants : la gêne ressentie est uniquement basée sur l'expérience immédiate et ne fait donc pas appel à la mémoire d'épisodes vécus dont l'objectivité est fortement remise en question, les personnes considérées travaillent toutes avec la même échelle de réponses pour indiquer le niveau de la gêne qu'elles ressentent, les épisodes pendant lesquels les personnes ont à se prononcer peuvent être contrôlés par l'expérimentateur et corrélés à des niveaux de pollution odorante.

Application aux problèmes d'odeur industriels

Étude des sources d'odeur

Caractériser la source d'odeur

La concentration d'odeur est une grandeur caractéristique de l'effluent étudié. Puisqu'elle est donnée directement par la valeur de K_{50} dont le principe de mesure est basé sur la dilution, il apparaît

clairement que la détermination de la concentration d'odeur s'applique de préférence à des mélanges gazeux prélevés à la source, avant toute dilution non maîtrisée dans l'atmosphère extérieure (avant la sortie de la cheminée, au niveau de la surface émettrice ou enfin dans l'ambiance du bâtiment source).

Pour une caractérisation complète de la source (Figure 11), son « débit d'odeur » (Q_{odeur}) est calculé : il correspond au produit de la concentration d'odeur (C_{odeur}) par le débit de gaz émis par la source (Q_{gaz} , en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) ; il est donc exprimé en $\text{uo} \cdot \text{h}^{-1}$ ou en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ selon que la concentration d'odeur est donnée

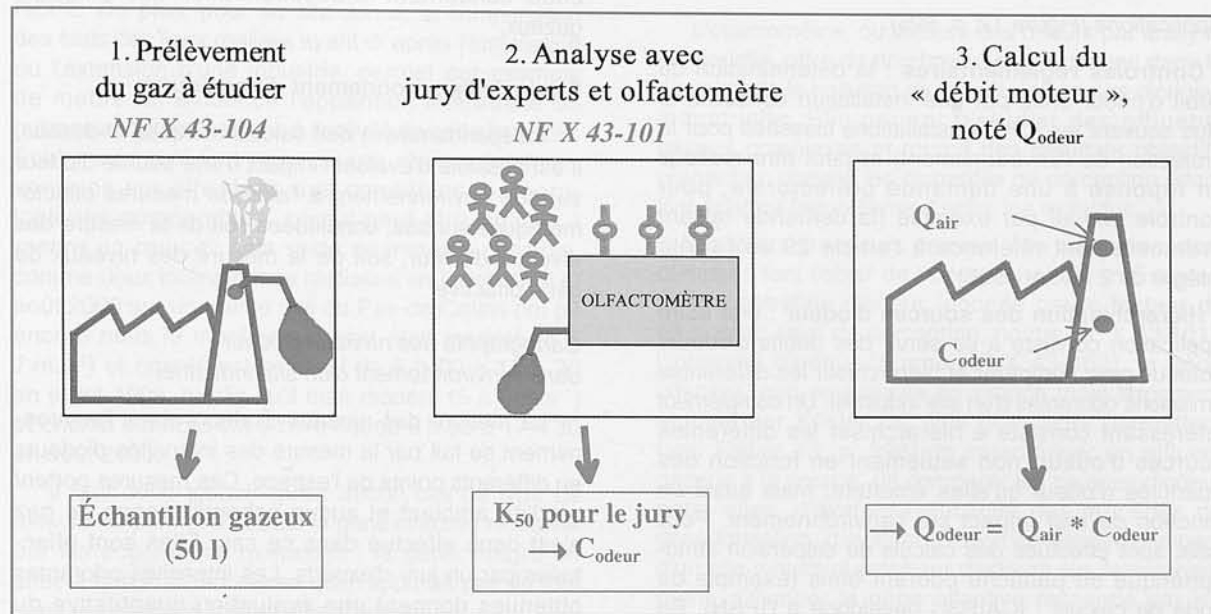


Figure 11.
Caractérisation d'une source d'odeur : méthodes.
Characterisation of an odour source : method.

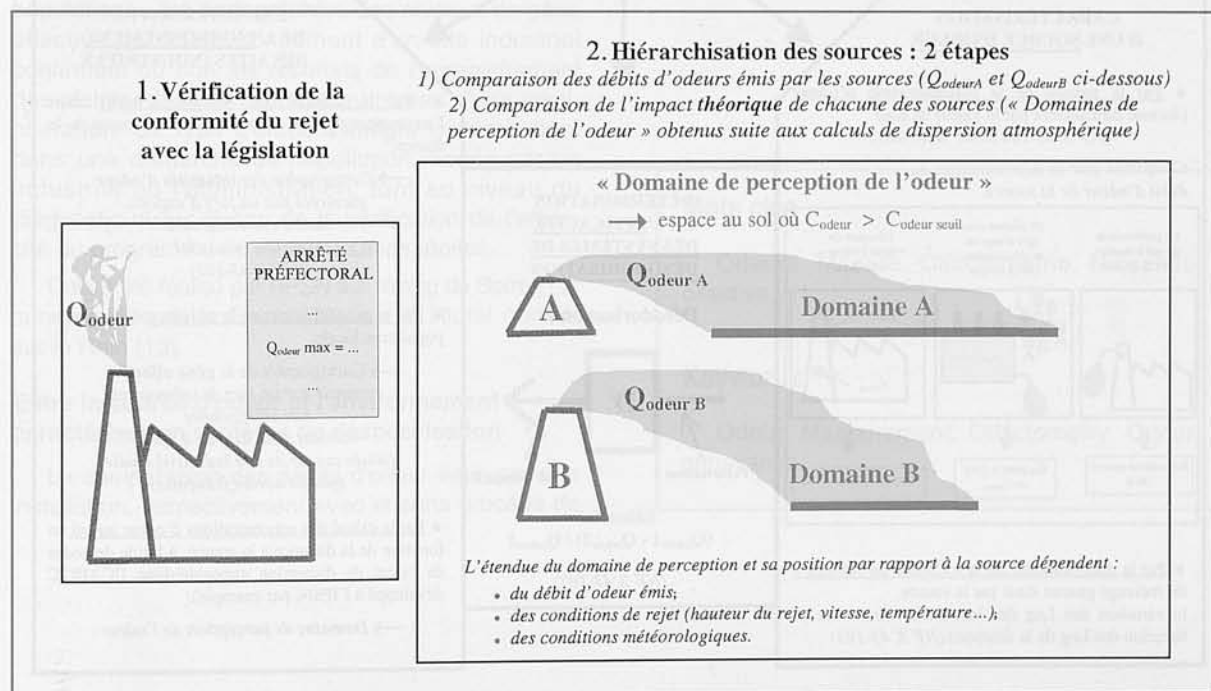


Figure 12.
Caractérisation d'une source d'odeur : applications.
Characterisation of an odour source : applications.

en uo.m^{-3} ou sans dimension. Cette démarche est tout à fait analogue à celle suivie en physico-chimie, où le débit massique d'une molécule donnée est le produit du débit de gaz émis par le procédé par la concentration de cette molécule dans le gaz. Dans le cas de sources surfaciques sans débit d'aération, le débit de gaz correspond en fait au débit d'air de balayage dû au vent.

Applications (Figure 12, p. 595)

- **Contrôles réglementaires** : la détermination du débit d'odeur émis par une installation concerne le plus souvent les ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) et peut être réalisée en réponse à une demande préfectorale, pour contrôle annuel par exemple (la demande faisant éventuellement référence à l'article 29 de l'arrêté intégré du 2 février 1998).

- **Hiérarchisation des sources d'odeur** : une autre application consiste à se servir des débits d'odeurs obtenus pour comparer et hiérarchiser les différentes émissions odorantes d'un site industriel. Un complément intéressant consiste à hiérarchiser les différentes sources d'odeur, non seulement en fonction des quantités d'odeur qu'elles émettent, mais aussi en fonction de leur impact sur l'environnement. Pour cela, sont effectués des calculs de dispersion atmosphérique du panache odorant émis (exemple de code de calculs : ICAIR3C développé à l'IPSN). En particulier, le calcul des concentrations d'odeur au

sol en fonction de la distance à la source permet d'apprécier dans l'environnement les zones où les odeurs sont perceptibles par les riverains. Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, la comparaison des domaines de perception calculés pour chacune des sources d'un site permet de comparer leurs conséquences respectives sur l'environnement. Pour l'industriel, la hiérarchisation des sources oriente les choix concernant la désodorisation des effluents gazeux.

Étude de l'environnement d'une source

Indépendamment des calculs indiqués ci-dessus, il est possible d'évaluer l'impact d'une source d'odeur sur son environnement à l'aide de mesures olfactométriques sur site, constituées soit de la mesure des niveaux d'odeur, soit de la mesure des niveaux de gêne olfactive.

Cartographie des niveaux d'odeur dans l'environnement d'un site industriel

La mesure des niveaux d'odeurs dans l'environnement se fait par la mesure des intensités d'odeurs en différents points de l'espace. Ces mesures portent sur l'air ambiant et aucun échantillonnage de gaz n'est donc effectué dans ce cas. Elles sont effectuées par un jury d'experts. Les intensités odorantes obtenues donnent une évaluation quantitative du niveau de la pollution odorante créée sur un territoire

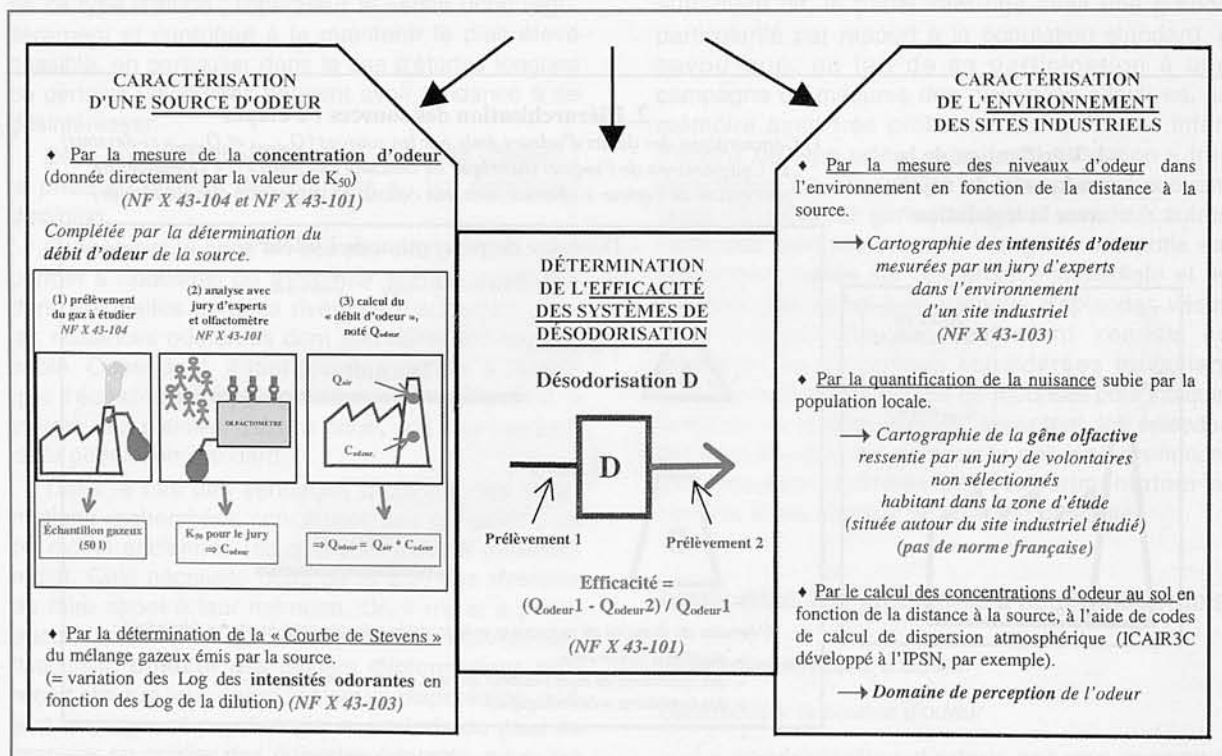


Figure 13.

Applications des mesures olfactométriques : récapitulatif.

Applications of the olfactometric measurements : recapitulatory.

donné et à laquelle sont exposées les populations riveraines du site.

Pour exemple d'application, ce type de mesure peut être effectué dans le cadre de l'étude d'impact dont une ICPE doit fournir les résultats dans le dossier de demande d'autorisation qu'elle soumet à la préfecture (article 3, alinéa 4 du décret 77-1133, voir Tableau 1, p. 584). Il s'agit dans ce cas de caractériser en terme d'odeur le site environnant l'ICPE. De plus, pour un site donné, la comparaison des états des lieux réalisés avant et après l'installation ou l'extension d'une industrie, permet par exemple de mettre en évidence l'apparition éventuelle de nuisances odorantes liées à l'activité de cette industrie. Soulignons qu'il faut dans ce cas réaliser les interventions sur site dans des conditions météorologiques comparables, ce qui peut être *difficile à mettre en œuvre* ; cela reste néanmoins possible, comme deux interventions réalisées en juillet 1999 et août 2000 sur un même site du Pas-de-Calais ont pu encore nous le montrer : le vent était modéré ($5 \text{ à } 7 \text{ m.s}^{-1}$) et orienté est-nord-est de 8 h 00 à 17 h 30 en juillet 1999, tandis qu'il était modéré ($5 \text{ à } 6 \text{ m.s}^{-1}$) et orienté est-nord-est à nord-est de 8 h 00 à 17 h 30 en août 2000.

Il faut enfin ajouter qu'en aucun cas ce type de mesure ne permet d'évaluer la gêne olfactive ressentie par les populations riveraines : la gêne intègre en effet la notion d'hédonisme qui n'apparaît pas du tout dans les mesures d'intensités d'odeurs.

Cartographie des niveaux de gêne olfactive dans l'environnement d'un site industriel

Ce type d'étude fournit des informations objectives sur la gêne effectivement ressentie par les populations : les cartographies des niveaux de gêne olfactive dans l'environnement d'un site industriel confirment ou non les résultats de l'enregistrement des plaintes fait par exemple au niveau d'une administration. Ce type d'étude s'intègre généralement dans une démarche de dépollution menée par un industriel ou l'administration, tant au niveau du diagnostic qu'au niveau de la vérification de l'efficacité du programme de désodorisation réalisé.

Cela a été réalisé par l'IPSN sur l'étang de Berre [11], sur l'estuaire de la Seine [12], sur le littoral nord et sur le Rhin [13].

Entre la source d'odeur et l'environnement : caractériser un système de désodorisation

La comparaison des débits d'odeur émis par une installation, respectivement avec et sans procédé de

traitement des odeurs, permet d'évaluer de façon réaliste l'efficacité de désodorisation de ce dernier. En effet, il faut bien voir que celle-ci n'est jamais directement donnée par les efficacités d'élimination de telles ou telles molécules par le système de désodorisation considéré.

Conclusion

L'olfactométrie, ou mesure des odeurs par analyse sensorielle, offre de nombreuses applications dans le domaine de la pollution de l'air par les odeurs d'origine industrielle. Elle permet d'étudier des effluents gazeux complexes et fournit des résultats objectifs prenant en compte les disparités de perception olfactive existant naturellement entre les individus.

Plusieurs grandeurs peuvent être mesurées, dont certaines font l'objet de textes normatifs en France : la concentration d'odeur (donnée par le facteur de dilution au seuil de perception, norme NF X 43-101), l'intensité d'odeur (norme NF X 43-103), la gêne olfactive, non normalisée en France mais largement étudiée par Köster [9]. Ces grandeurs permettent (voir Figure 13, p. 596) de caractériser un effluent gazeux à la source, de comparer les sources d'odeur entre elles, d'évaluer l'efficacité des procédés de désodorisation, d'évaluer expérimentalement l'impact d'un site industriel émetteur d'odeurs sur l'environnement, d'évaluer la gêne olfactive ressentie par les populations riveraines d'un site industriel, d'évaluer théoriquement l'impact d'une source d'odeur sur son environnement.

Mots clés

Odeurs. Mesure. Olfactométrie. Nuisance olfactive.

Keywords

Odour. Measurement. Olfactometry. Odour annoyance.

Références

1. Perrin ML, Thal MF. La mesure des odeurs. Clefs CEA 1991 ; 22 : 36-43.
2. Qualité de l'air. Mesurage de l'odeur d'un effluent gazeux. Détermination du facteur de dilution au seuil de perception. Norme AFNOR NF X 43-101, 1986.
3. Qualité de l'air. Mesurage de l'odeur d'une atmosphère gazeuse. Méthode supraliminaire. Norme AFNOR NF X 43-103, 1996.
4. Qualité de l'air. Atmosphères odorantes. Méthodes de prélèvement. Norme AFNOR NF X 43-104, 1995.
5. Perrin ML, Jézéquel M, Thal MF. Standardisation de l'olfactométrie en France. Congrès APCA'88, Dallas (Texas), 21-24 juin 1988.
6. Perrin ML, Thal MF, Zettwoog P. Olfactométrie dans l'industrie. Mesure des odeurs à l'émission et dans l'environnement. Techniques de l'Ingénieur 1991 ; P-445 : 1-8.
7. Le Cloirec P, Perrin ML. Métrologie et échantillonnage. In : Martin G, Laffort P (Eds). Odeurs et désodorisation dans l'environnement. Lavoisier Tec & Doc, Paris 1991 : 247-64.
8. Gouronnec AM. Mesures des odeurs par analyse sensorielle ou olfactométrie. Recueil des textes des conférences de l'AFITE 1998 : 31-41.
9. Köster EP. Tonalité affective et maîtrise de la pollution odorante. In : Martin G, Laffort P (Eds). Odeurs et désodorisation dans l'environnement. Lavoisier Tec & Doc, Paris 1991 : 61-78.
10. Punter O, Blaauwbroek J. Measurement of odour annoyance : comparison of two different methods. In : Proceedings of the 8th World Clean Air Congress. Brasser LJ, Mulder WC (Eds) ; 1989 ; 1 : 123.
11. Perrin ML, Jézéquel M, Delpeuch JL, Nadal R. Étude de la gêne provoquée par des odeurs d'origine industrielle. 8^e Congrès mondial sur l'air pur et exposition, La Haye (Pays-Bas), 11-15 septembre 1989.
12. Perrin ML, Quéré S, Huchet N, Delmas V, Ledenvic P. Étude de la gêne olfactive des populations riveraines des zones industrielles de l'estuaire de la Seine. Pollution atmosphérique 1994 ; 141 : 66-73.
13. Perrin ML, Quéré S, Target A, César F. Étude de la gêne olfactive des populations riveraines des zones industrielles de Strasbourg et Kehl situées de part et d'autre du Rhin. In Proceedings of the 10th World Clean Air Congress, Tolvanen M, Antilla P, Kämäri J (Eds) 1995 ; 2 : 261.

