

ARTICLES

ODOTRACE

Recherche des sources d'odeur à partir des plaintes des riverains Méthodologie et améliorations

ODOTRACE

Odor sources investigation based on public complaints Method and improvements

Pierre BEAL*, Gwenaëlle HOURDIN**, BouAlem MESBAH**, David POULET*

Résumé

Les nuisances olfactives suscitent dans certaines zones de la région PACA de nombreuses plaintes de la part des populations. C'est pourquoi un dispositif de surveillance des odeurs a été mis en place sur cette région. Ce dispositif organise des campagnes d'observation avec des bénévoles et recense les plaintes des riverains. Les données ainsi recueillies sont utilisées par un outil d'investigation « ODOTRACE » pour déterminer les sources d'odeurs à l'origine des nuisances olfactives. ODOTRACE utilise la méthode des cônes de gêne pour déterminer les sources d'odeurs. Cette méthode, présentée dans cet article, croise les informations signalées par les riverains et les données météorologiques. Deux axes d'amélioration ont été entrepris pour optimiser cette méthode :

- prendre en compte, avec des techniques d'interpolation, l'évolution de la météo pendant la période d'intégration utilisée par ODOTRACE ;
- introduire d'autres paramètres dans le calcul de la géométrie des cônes de gêne pour tenir compte du phénomène de dispersion des odeurs.

La technique d'interpolation choisie permet, sans dégrader la qualité des données, d'utiliser un nombre plus important de données météorologiques, ce qui améliore la représentativité des stations météorologiques utilisées par ODOTRACE dans la recherche des zones de sources d'odeurs. Grâce à l'utilisation d'un modèle gaussien stationnaire, la fonction du tracé des cônes de gêne tient compte de manière plus précise des paramètres météorologiques responsables de la dispersion des odeurs et donc de la nuisance olfactive. Les zones de sources potentielles d'odeurs délimitées par ODOTRACE sont donc plus précises.

* NUMTECH – 6, allée Alan Turing – BP 30242 Parc technologique de La Pardieu – 63175 Aubière Cedex – E-mail : numtech@numtech.fr

** AIRFOBEP – Route de la Vierge – 13500 Martigues – E-mail : airfobep@airfobep.org

Abstract

A significant number of the listed public complaints, in some areas of the Region PACA, are due to bad smells. This is why an odors monitoring network has been set up in this Region since 2001. This network evaluates odor nuisances by the mean of:

- recording and listing of public complaints;
- organizing odor observations campaigns with groups of volunteers from the nearby residents.

Data coming from these observations and listing are then combined with the weather parameters to find odor sources which cause the observed nuisances. This is made possible by using an investigation tool named ODOTRACE. The method used by ODOTRACE is described in this paper. It is known as the cones method and is based on a simple intuitive reasoning. To make this method more powerful and more accurate in odor sources investigation, two improvements are here proposed:

- making meteorological data more representative of the situation at the place and the time of the recorded complaints. This is made possible by using interpolation techniques;
- considering odors dispersion phenomena in the cone geometry processing. For this purpose, a stationary Gaussian model has been used.

Tests done after this two modifications show a clear improvement in the cone method. One can hopefully expect a same improvement in odors sources investigation performances using ODOTRACE.

1. La surveillance régionale des odeurs dans la région PACA

1.1. Les nuisances olfactives dans la région PACA

Les nuisances olfactives suscitent dans certaines zones de la région PACA* de nombreuses plaintes de la part des populations. Ces nuisances sont un sujet de préoccupation important qui touche de près à la qualité de vie au quotidien. C'est pourquoi, dès 1998, à la demande du Préfet, le SPPPI** PACA se saisissait du problème et confiait aux AASQA*** AIR-FOBEP, AIRMARAIX et QUALITAIR une mission de surveillance des odeurs.

1.2. Le dispositif de surveillance

Unique en France, la Surveillance régionale des odeurs (SRO) est une des missions de la coordination Air Alpes Méditerranée. Son but est de coordonner les actions menées par les AASQA de la région PACA pour traiter la question des nuisances liées aux odeurs. Les objectifs de cette mission régionale « Surveillance des odeurs » sont :

- la gestion technique et logistique de la surveillance des nuisances olfactives : développement, mise en œuvre et maintenance des outils de surveillance ;
- la détermination des zones où les riverains sont fortement gênés ;
- l'identification des zones de sources supposées être à l'origine de gênes olfactives ;
- l'information sur les nuisances olfactives dans la région auprès du public et des partenaires ;

- l'aide à la décision pour différents acteurs engagés dans la mise en œuvre des actions de réduction des nuisances olfactives (État, communes, industriels...)

1.3. Les outils de surveillance

Actuellement, les outils déployés pour assurer la surveillance de la gêne olfactive sur la région sont :

- le jury de nez bénévoles : constitué de riverains, ce jury participe régulièrement (une semaine par mois) à des campagnes d'observations. Au cours de ces campagnes, chaque « nez » consigne, à des moments précis de la journée, ses observations olfactives : perçoit-il une odeur ? Est-elle gênante ? Comment la caractériser ?
- le recensement des observations spontanées de la population, « plaintes » : lors d'épisode aigu d'odeurs gênantes, le public appelle les AASQA (numéro vert) pour faire part de ses observations concernant cette gêne. Ces observations spontanées sont enregistrées de façon systématique et harmonisée par les trois AASQA de la région PACA ;
- la surveillance « densifiée » : dans les zones où les riverains sont très gênés par les odeurs et où des sources potentielles ont été identifiées, une surveillance « densifiée » peut être mise en place. L'objectif est de recueillir, avec l'aide d'un réseau dense de « nez » bénévoles, des observations olfactives en temps réel. Pour cela, des moyens techniques de collecte et de transmission des informations ont été mis en œuvre, comme par exemple l'utilisation du SMS.

* PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur.

** SPPPI : Secrétariat permanent pour les problèmes de pollution industrielle.

*** AASQA : Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air.

1.4. Les outils d'investigation

Identifier les zones dans lesquelles les riverains sont gênés par les nuisances olfactives est l'objectif premier de la surveillance des odeurs. Ce travail de constat est complété par un travail d'investigation. Le but est de localiser les zones probables d'émission des odeurs afin d'identifier plus facilement et plus rapidement les sources. Cette investigation est rendue possible grâce au développement du logiciel spécifique ODOTRACE.

Les outils de surveillance permettent d'acquérir des données sur la gêne olfactive. Le croisement de la base de données « gênes olfactives » avec la météorologie et la cartographie, via ODOTRACE, permet de déterminer les zones de gêne olfactive et les zones de sources probables de gêne.

2. ODOTRACE : toute une méthodologie

2.1. Croiser les informations de la gêne olfactive et les données météorologiques

En connexion permanente avec la base de données des observations spontanées « plaintes », ODOTRACE permet de suivre la « trace » de l'odeur et de remonter à sa zone d'émission. Pour cela, ODOTRACE croise ces données « olfactives » avec les données météorologiques : vitesse et direction de vent.

2.2. Les cônes de gêne olfactive

ODOTRACE extrait les données de la station météorologique la plus proche de l'observation olfactive. Il trace un premier cône à partir de la direction et de la vitesse de vent du quart d'heure précédent l'observation. Ce cône délimite la zone à l'origine de l'odeur si celle-ci a été émise depuis moins d'un quart d'heure. Un second cône, puis un troisième sont tracés pour tenir compte des odeurs émises pendant les 45 minutes précédant l'observation. Ces cônes ainsi tracés suivent une rétrotrajectoire et délimitent la zone la plus probable dans laquelle a été émise l'odeur et facilitent l'identification de la source odorante.

ODOTRACE peut être utilisé pour :

- situer rapidement, suite à une ou plusieurs plaintes, la zone probable de la source d'odeur ;
- analyser la base de données des observations pour déterminer et hiérarchiser les zones de sources d'odeurs dans la région.

Dans la version initiale d'ODOTRACE, la méthode de construction des cônes de gêne est très simple :

- les données météorologiques sont issues de la station de mesure la plus proche du lieu d'observation de la gêne olfactive ;
- l'orientation du cône est exactement celle de la direction du vent ;
- la profondeur du cône est proportionnelle à la vitesse du vent (vitesse $\times$ 15 minutes) ;
- l'angle du cône est constant, fixé à 90°.

La simplicité de cette méthode la rend très facile à implémenter dans un système informatique et à utiliser au quotidien. Par contre, elle doit être améliorée pour être plus précise.

Cette méthode rend compte, de façon très approximative, du phénomène de dispersion des odeurs. En effet, la vitesse et la direction du vent ne sont pas les seuls paramètres à prendre en compte dans ce phénomène.

Dans de nombreux cas, la station météorologique proche du lieu d'observation de la gêne olfactive n'est pas représentative en raison de l'inhomogénéité horizontale des sites (relief marqué, zone bâtie ou côtière, phénomènes de brise...) et par vent faible, de la difficulté à déterminer la direction du vent.

Deux axes d'amélioration ont été entrepris pour ODOTRACE :

- la création d'une base de données météorologiques quart horaire avec un réseau de stations plus dense ;
- l'amélioration de la méthode de construction des cônes de gêne.

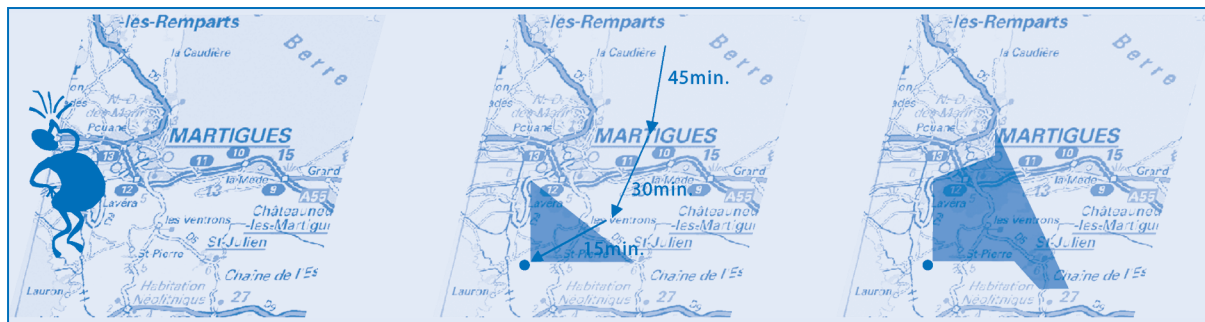


Figure 1.

ODOTRACE : utilisation de la méthode des cônes de gêne et de la rétrotrajectoire pour délimiter la zone des sources probables d'odeurs.

ODOTRACE : Use of the "cones" method and the retro trajectory to find bad odors sources area.

3. La base de données météorologiques quart horaire

3.1. Objectifs

Une base de données météorologiques avec un pas de temps quart horaire a été choisie pour le fonctionnement d'ODOTRACE. Les capteurs météorologiques des AASQA fournissent ce type de données dans le département des Bouches-du-Rhône.

Pour le fonctionnement d'ODOTRACE dans toute la région PACA, on peut envisager l'utilisation des données météorologiques du réseau Météo-France. Cependant, le pas de temps de ces données est horaire. Il faut donc développer un outil de prétraitement des données météorologiques qui permet la construction d'une base quart horaire nécessaire au fonctionnement d'ODOTRACE. Cet outil, décrit dans la suite de ce paragraphe, utilise les techniques d'interpolation.

3.2. Choix des variables

- **Les variables d'interpolation** : les données météorologiques les plus importantes pour le fonctionnement de ODOTRACE sont la vitesse et la direction du vent. Nous avons choisi de travailler dans un repère polaire où le vent est décrit par deux variables U et V. Ces deux quantités contiennent les informations sur la direction du vent et sur le module de sa vitesse. L'outil de prétraitement doit transformer une base de données horaires des fonctions U et V en une base de données quart horaire.

- **Les données pour la validation** : pour tester l'outil de prétraitement, les données des stations de mesure d'AIRFOBEP ont été utilisées. Ces données ont un pas quart horaire. Cela permettra de construire la base de données quart horaire des fonctions U et V à partir des données horaires puis de comparer les valeurs quarts horaires produites par l'outil de prétraitement avec les valeurs mesurées. Pour se rapprocher du fonctionnement de ODOTRACE avec les données horaires de Météo-France (moyenne sur les dix dernières minutes de mesure), la valeur horaire est assimilée à la valeur du dernier quart d'heure mesurée par la station d'AIRFOBEP.

3.3. La méthode mise en place

Pour extraire les valeurs quarts horaires de U et V, une fonction d'interpolation a été définie à partir des valeurs horaires. Pour ce faire, deux techniques différentes ont été utilisées :

- **l'interpolation polynomiale** : c'est la technique la plus classique et la plus robuste. Elle consiste à rechercher une fonction polynomiale $P(x)$ de degré k . La technique pour déterminer les $(k + 1)$ coefficients du polynôme utilise la méthode de Lagrange. Le degré de ce polynôme conditionne la complexité de la fonction.

Ainsi, en travaillant avec des polynômes de degré un, il est possible de construire une fonction qui est linéaire par morceau. La courbe représentative obtenue est constituée de segments de droites. Plus le degré des polynômes d'interpolation est augmenté, plus la courbe obtenue peut comporter de « propriétés » (points d'inflexion...). Par contre, l'augmentation de ce degré fait que le polynôme final obtenu oscille entre deux points d'interpolation. Il y a alors un risque d'introduire des erreurs « mathématiques » lors de l'extraction des données quarts horaires en augmentant trop le degré des polynômes. Dans la pratique, des degrés supérieurs à cinq ou six sont rarement utilisés.

Dans le cas qui nous intéresse, augmenter le degré revient à utiliser plus de points d'interpolation. Si l'on souhaite construire une fonction de degré cinq, par exemple, on va utiliser six points de données météorologiques. Ainsi, pour interpoler à l'instant T, il faudra utiliser les données à partir de $T - 5$ c'est-à-dire les cinq heures précédentes ;

- **les splines cubiques** : c'est un cas particulier de l'interpolation basée sur la méthode de Lagrange. Elle permet de prendre en compte les notions de dérivées premières et secondes de la fonction. Ce qui veut dire que le traitement est effectué non seulement à partir des points de données mais que « le sens de l'évolution des variables » ainsi que « la vitesse de l'évolution » sont aussi pris en compte. Les techniques de construction des fonctions sont plus complexes mais on en escompte un gain en qualité d'interpolation.

3.4. Tests de validation

À partir des valeurs quarts horaires interpolées et mesurées, deux erreurs sont estimées : celle commise sur la direction et celle commise sur la vitesse.

Concernant la direction du vent, on considérera que les valeurs interpolées sont acceptables si la différence entre ces dernières et les valeurs mesurées est inférieure à vingt-cinq degrés. C'est l'ordre de grandeur de la précision de mesure de la direction du vent.

Pour la vitesse, on utilisera un test en valeur relative et non plus en erreur absolue. C'est-à-dire que nous considérerons que nos valeurs interpolées sont correctes si la vitesse du vent interpolée ne diffère pas de plus de 20 % de la valeur mesurée. On tiendra aussi compte d'une erreur de mesure de l'ordre de 0,3 m/s. La vitesse est donc bien interpolée si :

$$\text{Valeur absolue de } (V_{\text{mesurée}} - V_{\text{calculée}}) < 0,2 V_{\text{mesurée}} + 0,3$$

3.5. Résultats

Les figures 2 et 3 présentent des exemples de résultats des tests des deux méthodes d'interpolation. Les validations sont réalisées en prenant en compte des stations représentatives. Nous avons écarté celles influencées par l'étang de Berre par exemple. Nous avons donc retenu les stations de La Crau (Crau), de Vitrolles (Vrlt), et de La Penne-sur-Huveaune (Penh). Les tests sont réalisés avec les mesures des années 2002 et 2003.

Les tests montrent que, pour la direction du vent, la méthode des splines à six points d'interpolation est plus précise.

L'erreur moyenne en degré, pour la méthode des splines, est de 21,65°.

Cette méthode est aussi la plus précise pour l'interpolation de la vitesse. L'erreur moyenne obtenue sur la vitesse est de 0,68 m/s.

Sauf pour le cas des vents faibles, traités différemment, la méthode des splines à six points répond aux critères de validation prédéfinis.

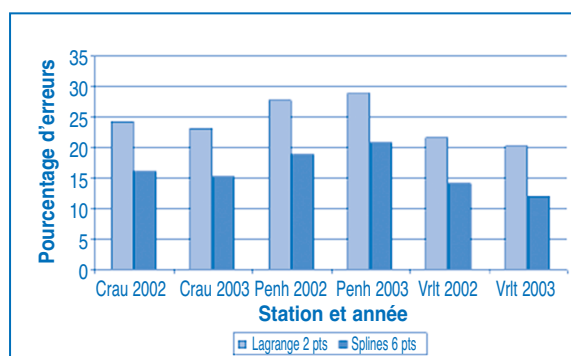


Figure 2.

Comparaison interpolation-mesures : résultats des tests sur la vitesse des vents.

Tests results on comparing interpolations and measurements for wind speed.

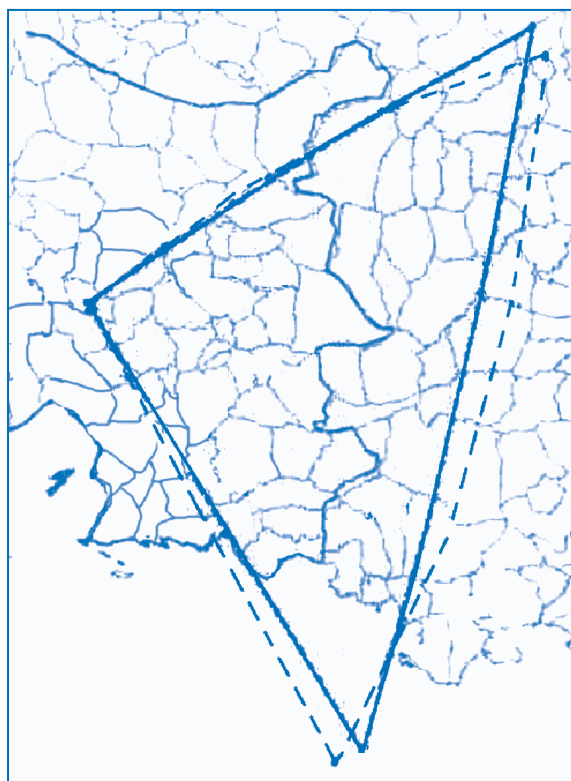


Figure 3.

Comparaison interpolation-mesures : visualisation des cônes avec les données météorologiques interpolées.

Cones drawing: Comparing the use of interpolation and measurement data.

En conclusion, la méthode des splines cubiques, plus complexe certes, est la plus précise pour l'interpolation et donc pour la transformation des données météorologiques horaires en données quarts horaires. Elle répond aux critères de validation que nous avons définis. Elle sera donc privilégiée lorsque les données disponibles permettront de l'implémenter. Dans le cas contraire, une méthode de Lagrange simple à deux points sera utilisée.

Il est intéressant de visualiser avec ODOTRACE les conséquences des « erreurs » commises par l'interpolation sur les zones délimitées par les cônes de gêne.

Dans la figure 3, le cône en pointillés est celui constitué avec les données mesurées et le cône en trait plein est celui obtenu par les valeurs interpolées. On constate que les régions ainsi déterminées sont très proches.

L'interpolation des données ne modifie pas le tracé du cône d'odeur. Les tracés de cônes étant plus sensibles aux erreurs sur la direction, la méthode des splines cubiques, plus précise pour ce paramètre, est la plus appropriée.

3.6. L'application I-Quart

Une application informatique a été développée pour implémenter la méthode des splines cubiques. Cette application, baptisée I-Quart :

- télécharge automatiquement les mesures du réseau de Météo-France, et des AASQA ;
- interpole, en temps réel, ces données ;
- constitue la base de données météorologiques quart horaire utilisable par ODOTRACE.

I-quart dispose d'un module de gestion des données manquantes. Ainsi d'autres méthodes de Lagrange sont utilisées lorsque le nombre de données disponibles n'est pas suffisant pour appliquer l'interpolation par splines cubiques.

4. Nouvelle méthode pour la construction des cônes de gêne

4.1. Principe général

L'ouverture angulaire actuellement utilisée par ODOTRACE est fixée à 90°. Elle conduit souvent à des zones de sources potentielles d'odeurs très larges. Nous avons défini une méthodologie pour déterminer une valeur optimale de cette ouverture angulaire, le but étant de permettre à ODOTRACE d'être plus pertinent et plus précis dans la délimitation des zones de sources potentielles d'odeurs. Nous avons considéré, pour la définition de l'angle des cônes de gêne, la dispersion atmosphérique des odeurs. Nous avons utilisé une technique relativement simple pour résoudre les problèmes de dispersion atmosphérique. Elle utilise un modèle de dispersion gaussien et stationnaire.

Hypothèses : si l'on considère une quantité Q d'un polluant émis de façon constante au cours du temps depuis une source considérée comme ponctuelle (avec des conditions météorologiques stationnaires). Et si, de plus, on suppose que la source est située à l'origine du repère et que l'axe du vent est aligné avec l'axe des ordonnées, alors la concentration C de ce polluant est donnée par la relation :

$$C = \frac{Q}{2\pi U \sigma_x \sigma_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma_x} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{z}{\sigma_z} \right)^2 \right). \quad (1)$$

U étant la vitesse moyenne du vent et σ_x et σ_z étant les écarts-types de la concentration respectivement dans les directions x et y .

Symétrie : l'idée poursuivie dans la méthodologie que nous proposons est d'appliquer la théorie de la dispersion gaussienne à la détection des sources d'odeurs. Il s'agit « d'inverser » cette théorie.

Si on considère S_1 comme étant une source de rejet et S_2 comme étant un point dans le « panache gaussien » de la dispersion du rejet, on peut, de façon assez simple, montrer la validité de l'hypothèse de réversibilité.

En effet, partant de : $d_1 = d_2$ et par des propriétés de géométrie, il est évident que, pour que le point S_2 soit dans le cône de sommet S_1 , il faut que : $y_2 \leq d_2$. Ceci implique que : $y_1 \leq d_1$.

Le point S_1 est donc dans le cône de sommet S_2 . C'est bien ce que nous souhaitons montrer. On peut donc « inverser » le cône de la théorie de la dispersion pour localiser une source de rejet olfactif.

Nous allons supposer que nous travaillons dans le plan $z = 0$. Cette hypothèse se justifie de deux façons. D'une part, l'outil ODOTRACE ne travaille qu'en deux dimensions. D'autre part, dans le cas d'une source en

hauteur, et non pas au niveau du sol, il existe un seul moyen de prendre ce paramètre en compte dans ODOTRACE. Il s'agit de projeter sur le sol la trace du panache. Or, en prenant directement en compte une émission au niveau du sol, on maximise, s'agissant d'une dispersion gaussienne, l'impact de la source.

Avec cette dernière hypothèse, l'équation précédente s'écrit alors :

$$C = \frac{Q}{2\pi U \sigma_x \sigma_z} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma_x} \right)^2 \right). \quad (2)$$

Il s'agit de l'équation d'une courbe permettant de définir l'origine de la source odorante. Pour cela, il faut d'abord évaluer la quantité σ_x (il apparaîtra dans la suite des calculs qu'une estimation de σ_z n'est pas nécessaire). Pour ce faire, on utilisera les relations de Briggs [1].

4.2. Définition des écarts-types

Les relations de Briggs (1) sont définies à partir des différentes classes de stabilité de PASQUILL qui caractérisent l'état de la turbulence thermique de l'atmosphère. Ces classes sont au nombre de six et sont représentées par une lettre suivant la hiérarchie présentée dans le tableau 1. Pour tout « y » compris entre 100 mètres et 10 000 mètres, la fonction σ_x est définie par :

$$\sigma_x = \frac{a \cdot y}{\sqrt{1 + 10^{-4} y}} \quad (3)$$

où a est un paramètre dont la valeur dépend de la classe de stabilité.

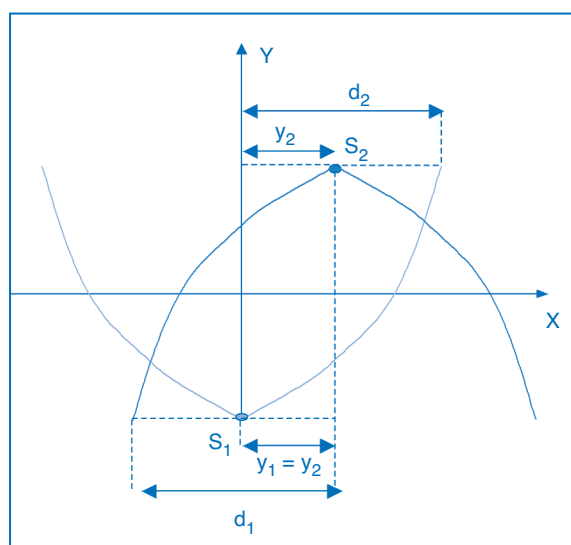


Figure 4.

Symétrie du modèle gaussien de dispersion stationnaire.
Symmetry of the used Gaussian model.

Tableau 1.

Classification de PASQUILL ($100 < y < 10\,000$).
Valeur du paramètre « a » en fonction de la classe de PASQUILL.
"a" parameter value for various PASQUILL Class
($100 < y < 10\,000$).

Classe de stabilité	État de l'atmosphère	Valeur de a
A	Très instable	0,22
B	Modérément instable	0,16
C	Légèrement instable	0,11
D	Neutre	0,08
E	Légèrement stable	0,06
F	Stable	0,04

Tableau 2.
Classes de Pasquill en conditions diurne et nocturne.
PASQUILL classes in diurnal and night conditions.

Jour				
Vitesse du vent (m/s)	Rayonnement solaire (W/m ²)			
	≥ 925	925-675	675-175	< 175
< 2	A	A	B	D
2-3	A	B	C	D
3-5	B	B	C	D
5-6	C	C	D	D
≥ 6	C	D	D	D
Nuit				
Vitesse du vent (m/s)	Gradient de température vertical (°C)			
	< 0	≥ 0		
< 2	E	F		
2-2,5	D	E		
≥ 2,5	D	D		

4.3. Détermination de la classe de Pasquill

Il existe différentes méthodes qui permettent de déterminer les classes de Pasquill en fonction de paramètres météorologiques. Nous avons retenu la méthode SRDT (Solar Radiation/Delta T). Cette méthode, basée sur les travaux de Bowen [2], utilise des paramètres météorologiques différents suivant que la situation à qualifier soit diurne ou nocturne. Durant le jour, il est nécessaire de connaître la vitesse du vent ainsi que le rayonnement solaire et pour la nuit, outre la vitesse de vent, il est nécessaire de connaître le gradient vertical de température. À partir de ces paramètres, on obtient la classe de Pasquill de la situation météorologique courante, comme le montre le tableau 2.

La connaissance de la classe de Pasquill permet de déterminer la relation (2) représentant la dispersion stationnaire et gaussienne d'un polluant.

Nous allons appliquer cette approche à ODOTRACE et la comparer à la méthodologie actuelle des cônes.

4.4. Tracé des cônes de gêne

Pour tracer le cône de gêne défini par cette nouvelle méthodologie, il est nécessaire de déterminer l'équation $y = f(x)$ de sa frontière. Dans le cas de la méthodologie actuelle d'ODOTRACE, la fonction frontière s'écrit très facilement puisqu'un cône de 90° d'ouverture d'angle correspond à la courbe $y = |x|$. Dans le cas de l'approche gaussienne que nous proposons d'adopter, les relations sont plus complexes.

Rappelons que nous partons des relations (2) et (3). Il est nécessaire de définir une condition supplémentaire qui permettra de déterminer la fonction de la

frontière recherchée. En effet, d'après l'équation (2), l'influence de la source odorante se fait sentir en tous points tels que $y > 0$. Par contre, la concentration décroît rapidement quand on s'éloigne de l'axe du vent.

On définit donc la frontière recherchée comme étant le lieu des points qui, pour une ordonnée donnée sur l'axe du vent (noté ici y), délimite la zone incluant une fraction P de la quantité de polluant ayant atteint cette ordonnée.

D'après (2), pour un y donné, la valeur x recherchée est donc telle que :

$$\int_{-x}^x \frac{K}{\sigma_x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t}{\sigma_x} \right)^2 \right] dt = P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{K}{\sigma_x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t}{\sigma_x} \right)^2 \right] dt \quad (4)$$

$$\text{avec : } K = \frac{Q}{2\pi U \sigma_z} \quad (5)$$

Après simplification et utilisation des propriétés de la loi normale, l'équation (4) peut finalement être écrite :

$$\frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{-x}^x \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t}{\sigma_x} \right)^2 \right] dt = \frac{1}{2} (P + 1) \quad (6)$$

Soit la valeur x_1 définie par la relation suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-x_1}^{x_1} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \frac{1}{2} (P + 1) \quad (7)$$

Le passage de (6) à (7) est réalisé par le changement de variable $u = t/\sigma_x$.

x_1 est une constante, qui ne dépend que de la valeur de P . Sa valeur peut être facilement obtenue par une table ou un algorithme donnant les valeurs de la loi normale centrée réduite.

On peut donc écrire (d'après (2)) :

$$x = x_1 \sigma_x = x_1 \frac{a \cdot y}{\sqrt{1 + 10^{-4} y}} \quad (8)$$

Il en découle (comme $y > 0$) :

$$a^2 x_1^2 y^2 - 10^{-4} x^2 y - x^2 = 0 \quad (9)$$

Cette équation admet 2 solutions :

$$y = \frac{10^{-4} x^2 \pm \sqrt{4x_1^2 a^2 x^2 + 10^{-8} x^4}}{2a^2 x_1^2} \quad (10)$$

On ne conserve que la solution positive puisque nous cherchons y dans l'espace des réels positifs.

Finalement, dans la relation (10) :

- x_1 est une constante qui peut être estimée par la relation (6) après avoir choisi une valeur de P ;
- a est défini aussitôt que la classe de Pasquill a pu être déterminée.

Dès lors, la valeur de l'ordonnée de la frontière recherchée peut être calculée pour tout x . On notera que la valeur de y est indépendante de K et donc de σ_z .

Variation de la direction du vent : pour prendre en compte la variation de la direction du vent durant le temps d'intégration, nous ajoutons un terme correctif. Ce terme est estimé comme suit [3] :

$$\sigma_{\theta x} = \left(0,065 \sqrt{\frac{7T}{U_{10}}} \right) y \quad (11)$$

T est le temps d'intégration exprimé en heure et la variable U_{10} représente le vent moyen à 10 mètres. Le temps d'intégration est, dans le cas présent, un quart d'heure. T prend donc la valeur 0,25.

Les variances étant additives, l'expression du nouvel écart-type est :

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{\theta x}^2 + \sigma_{Briggs}^2}, \quad (12)$$

où σ_{Briggs} est l'écart-type défini précédemment. Cela permet d'aboutir à l'expression :

$$y = \frac{10^{-4} x^2 + \sqrt{4x_1^2 (2\sigma_{\theta}^2 + a^2)x^2 + 10^{-8} x^4}}{2(2\sigma_{\theta}^2 + a^2)x_1^2} \quad (13)$$

L'expression 13 est la nouvelle équation de la frontière du cône de gêne. Son tracé tient compte du phénomène de dispersion tel qu'il est décrit dans le modèle stationnaire et Gaussien.

4.5. Remarque importante

Cette méthode, si elle permet d'améliorer grandement la finesse des résultats, garde quand même quelques restrictions d'utilisation. Notamment, son application dans le cas de zones à fort relief reste difficile. Pour pallier à cette limitation d'utilisation, un projet futur de développement d'ODOTRACE comprend l'intégration d'un module météorologique diagnostic pour mieux représenter les champs de vents en topographie complexe.

4.6. Résultats

Nous avons calculé les ouvertures angulaires des cônes de gêne avec la nouvelle méthodologie (équation 13). Les résultats sont donnés dans le tableau 3, pour les différentes classes de stabilité et pour deux valeurs de la probabilité P.

Ces résultats sont à comparer avec l'ouverture calculée avec la méthode initialement utilisée par ODOTRACE : angle d'ouverture **constant et égal à 90°**.

La comparaison montre que la méthodologie décrite ici aboutit à des ouvertures angulaires :

- inférieures à 90° ;
- dépendant de la classe de stabilité.

Appliquée à ODOTRACE, la nouvelle méthodologie de tracé des cônes de gêne devrait améliorer la délimitation des zones de sources potentielles d'odeurs. L'aire des zones ainsi délimitée serait plus réduite et donc plus ciblée. Cette aire serait variable

Tableau 3.

Valeurs des angles de cônes suivant la classe de stabilité et la valeur de P.
(À comparer avec la valeur initiale dont l'angle est de 90°).
Cones angle for various stability classes and P values.
(To be compared with the initial angle : 90°).

Classe de stabilité atmosphérique	Angle (en °) P = 0,95	Angle (en °) P = 0,999
A	47	73
B	36	57
C	26	42
D	20	33
E	16	26
F	12	21

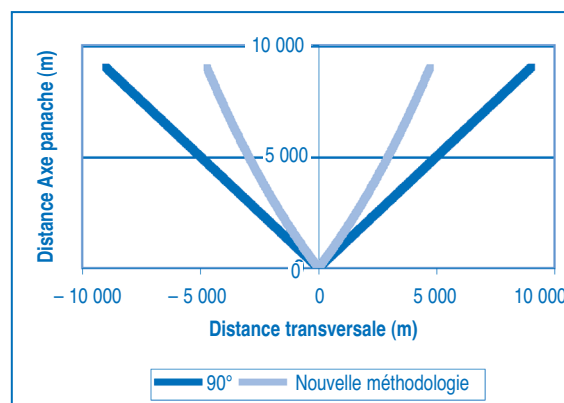


Figure 5.

Tracé de la courbe avec une probabilité P = 0,999
Classe de Pasquill A.

Curves for : P = 0,999 and PASQUILL class A.

en fonction des vents, mais aussi de la stabilité. Ce qui rend mieux compte de la dispersion et du transport de la pollution olfactive. La figure 5 montre l'aire délimitée par le cône de gêne avec les méthodologies dans le cas d'une atmosphère très instable. La différence est encore plus importante pour les classes plus stables de l'atmosphère.

5. Conclusions

L'étude décrite dans cet article permet d'améliorer la méthode utilisée par ODOTRACE pour déterminer les zones des sources potentielles de gêne olfactive. Cette amélioration a porté sur deux points :

- **la base de données météorologiques :** des techniques d'interpolation ont été utilisées pour réaliser des prétraitements de données. Ces prétraitements transforment des données météorologiques horaires en des données quarts horaires. Elles permettent ainsi l'utilisation par ODOTRACE de données météorologiques provenant d'un nombre important de stations de mesure (AASQA et Météo-France). Ce qui améliore la représentativité des stations météoro-

logiques utilisées par ODOTRACE dans la recherche des zones de sources potentielles de nuisances olfactives ;

- **le tracé des cônes de gêne** : un modèle gaussien de dispersion stationnaire a été utilisé pour définir le tracé des cônes de gêne. La fonction de ce tracé, ainsi obtenue, tient compte de manière plus précise des paramètres météorologiques responsables de la dispersion des odeurs et donc de la nuisance olfactive. Les zones de sources potentielles d'odeurs délimitées par ODOTRACE avec la nouvelle méthodologie sont donc plus précises.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de la mission régionale « Surveillance des odeurs ».

Cette mission est animée par un groupe de travail constitué par les associations AIRFOBEP, AIRMARAIX et QUALITAIR, par la DRIRE PACA et par l'ADEME PACA.

La mission régionale « Surveillance des odeurs » est soutenue par l'État, la région PACA et l'ADEME dans le cadre du Contrat de Plan État Région.

Mots clés

Odeurs. Dispersion des odeurs. Gêne olfactive.

Keywords

Odors. Odors dispersion. Odors discomfort.

Références

1. Briggs GA. Diffusion estimation for small emissions. NOAAARL Report. ATDL 1973 : 106.
2. Bowen BM, Dewart JM, Chen AI. Stability class determination: a comparison for one site. Proceedings of Sixth Symposium on Turbulence and Diffusion. American Meteorological Society, Boston MA1 1983 : 211-4.
3. Bennet M. Plume spread due to changing synoptic winds: analysis of wind records. CEEB Memorandum 1980 ; LM/PHYS/196.

Autres références sur les odeurs et les nuisances olfactives :

- Léger C. Mise en place d'un suivi des odeurs par AIR NORMAND, Association agréée de surveillance de la qualité de l'air. Les odeurs, nuisances directement sensibles. *Pollution Atmosphérique* 2005 ; 187 : 373-84.
- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Pollutions olfactives. Origine-Législation-Analyse-Traitement. Collection Technique et Ingénierie. Dunod, Paris 2005.
- Jaubert JN. Les odeurs dans l'air : de la pollution osmique à la gêne olfactive. *Environnement, Risques et Santé* 2005 ; 4 : 51-61.
- Deiber G, Pourtier L. Nuisances olfactives et risques sanitaires. Deux approches complémentaires pour les riverains. *Environnement Technique* 2004 ; 237 : 27-31.
- Segala C. Odeurs et santé : enquête épidémiologique descriptive autour d'une usine d'épuration. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique* 2003 ; 51 (2) : 201-14.
- Bell IR, Schwartz GE, Peterson JM, Amend D. Self-Reported Illness from Chemical Odors in Young Adults Without Clinical Syndromes or Occupational Exposures. *Arch. Environ. Health* 1993 ; 48 (1) : 6-13.
- Shusterman D. 1992. Critical Review : The Health Significance of Environmental Odor Pollution. *Arch. Environ. Health* 1992 ; 47 (1) : 76-87.
- Winneke G, Kastka J. Odor Pollution and Odor Annoyance Reactions in Industrial Areas of the Rhine-Ruhr Region. Olfaction and Taste VI. IRI Press, Paris-Oxford 1977 : 471-9.
- Schiffman SS, Sattely Miller EA, Suggs MS, Graham BG. The Effect of Environmental Odors Emanating from Commercial Swine Operations on the Mood of Nearby Residents. *Brain Research Bulletin* 1995 ; 37 (4) : 369-75.

