

# Détection d'une source odorante atmosphérique – La méthodologie ISODOR

Traitement des observations par une analyse géostatistique

## Detection of an atmospheric odour source – The ISODOR method –

## Observations treatment by geostatistical analysis

Ophélie LEMARCHAND\*, Alain GAZEAU\*\*, Vladislav NAVEL\*\*, Fabrice CAÏNI\*\*

### Résumé

L'arrêté du 12 février 2003 [1] donne une formule pour le calcul d'un indice de gêne olfactif autour d'un site industriel. Cet indice fait intervenir la notion « d'observateurs sous les vents de la source ». L'angle entre l'observateur et la source olfactive est alors comparé aux directions du vent. Il est donc primordial de localiser cette source très précisément dans l'enceinte même du site industriel, d'autant plus que les personnes les plus exposées sont généralement les personnes les plus proches.

Cet article propose une méthodologie de localisation d'une source d'effluents olfactifs à partir des observations d'un réseau de nez bénévoles. Cette méthodologie, baptisée méthode ISODOR (identification de sources odorantes), est basée sur une représentation cartographique et fait appel au calcul de l'indice de fréquence (défini dans l'indice de gêne). Une technique basée sur l'utilisation d'un modèle gaussien stationnaire permet d'optimiser cette méthode en tenant compte de manière plus précise des données météorologiques responsables de la dispersion des odeurs et donc d'optimiser l'angle d'exposition.

### Mots clés

Dispersion atmosphérique. Gêne olfactive. Indice de fréquence. Localisation. Odeurs

### Abstract

This paper is based on a study that has been realised with people living around an industrial area. Every day, each volunteer had to complete a comment card where he had to inform if he smells something, to characterize the odour and the discomfort.

The aim being to determine exactly the source of odour nuisances, a tool named ISODOR has been developed. ISODOR method is based on a cartographic representation and requires the calculation of a frequency index defined by the decree of 12th February 2003 [1]. This index needs to compare the angle between the observer and the source to wind direction, so the source had to be known. The ISODOR method consists to cross-rule the domain of the study, to suppose the source on a node and to calculate the frequency index for each observer. This operation is repeated for all nodes and the median of the frequency index corresponding to a same node is calculated and represented on a map.

An optimisation based on the utilisation of a stationary gaussian model permits to consider the atmospheric dispersion of the odours by a variable exposition angle. Tests done after this modification seem to show an improvement of the results.

The interest of ISODOR is underlined with the cartography of the probability that the discomfort index exceeds a threshold supposing two different sources localizations.

### Keywords

Atmospheric dispersion. Odours discomfort. Frequency index. Localization. Odours.

\* Université de Nantes – Laboratoire de Mathématiques Jean Leray – 44300 Nantes – [ophelie.lemarchand@yahoo.fr](mailto:ophelie.lemarchand@yahoo.fr) – Actuellement chez Géovariances – 49 bis, avenue Franklin Roosevelt – BP 91 – 77212 Avon Cedex – [lemarchand@geovariances.com](mailto:lemarchand@geovariances.com)

\*\* ATMO Poitou-Charentes – ZI de Périgny/La Rochelle – rue A. Fresnel – 17184 Périgny Cedex – [contact@atmo-poitou-charentes.org](mailto:contact@atmo-poitou-charentes.org)

## 1. Introduction et contexte

La principale mission d'ATMO Poitou-Charentes est la surveillance de la qualité de l'air sur la région. Pour cela, l'association dispose d'un réseau de stations de mesures réparties sur l'ensemble du territoire régional et analysant les principaux polluants atmosphériques. Ce réseau n'est cependant pas toujours adapté pour identifier les pollutions olfactives. En effet, même si celles-ci ne sont pas directement dangereuses pour la santé, elles sont reconnues depuis 1996 par la Loi sur l'Air comme des nuisances. Le nez reste l'outil de détection de nuisances olfactives le plus perfectionné.

En 2005, un observatoire des odeurs a été mis en place en vue de caractériser l'impact olfactif d'un site industriel donné sur les riverains. Les données rendues disponibles par cet observatoire ont permis de réaliser une étude dont l'objectif était de déterminer l'emplacement exact de la source à l'origine des perceptions olfactives des riverains.

### 1.1. Présentation des données

L'observatoire des odeurs a été mis en place sur une durée de quatre mois. Il était composé de 134 juges bénévoles répartis dans un rayon de 2,5 km autour du site industriel. Ces 134 juges étaient chargés de renseigner quotidiennement un formulaire de perception. (Figure 1.)

Le formulaire était composé de différents champs permettant de connaître la date et l'heure d'observation, s'il y avait une perception d'odeur et le cas échéant, l'intensité de l'odeur perçue ainsi que l'intensité de la gêne occasionnée. Un dernier champ permettait de préciser éventuellement le type que l'observateur pouvait associer à l'odeur.

Une analyse préliminaire des données a permis d'identifier des juges atypiques. Quatorze juges ont

MATRICULE	122	DATE	12-02-05
		HEURE	7:00
PERCEVEZ-VOUS UNE ODEUR ?			
<input checked="" type="checkbox"/> OUI		<input type="checkbox"/> NON	
SI OUI, TROUVEZ-VOUS QUE CETTE ODEUR EST :			
<input type="checkbox"/> FAIBLE		<input checked="" type="checkbox"/> NON GÊNANTE	
<input checked="" type="checkbox"/> PEU FORTE		<input type="checkbox"/> UN PEU GÊNANTE	
<input type="checkbox"/> FORTE		<input type="checkbox"/> GÊNANTE	
<input type="checkbox"/> TRÈS FORTE		<input type="checkbox"/> TRÈS GÊNANTE	
<input type="checkbox"/> EXTRÊMEMENT FORTE		<input type="checkbox"/> EXTRÊMEMENT GÊNANTE	
A QUEL TYPE D'ODEUR CELA VOUS FAIT PENSER ?			
<input type="checkbox"/> NATURELLE	<input type="checkbox"/> INDUSTRIELLE	<input checked="" type="checkbox"/> AUTRE :	FEUX DE BOIS
<input type="checkbox"/> URBAINE	<input type="checkbox"/> AGRICOLE		

Figure 1.  
Formulaire de perception.  
Smell perceptions form.

ainsi été exclus en raison d'un faible pourcentage d'observations remplies (inférieur à 20 %) et deux autres juges ont été exclus car ils présentaient des comportements très différents du comportement moyen. Ils ont été jugés aberrants d'un point de vue strictement statistique, leur prise en compte étant susceptible d'introduire un biais dans l'exploitation des données. Par la suite, seules les observations des 118 juges restants sont traitées.

Certains juges n'ayant pas été présents à leur domicile pendant toute la durée de l'observatoire, les données ne couvrent pas les quatre mois en totalité. La base de données regroupant les 118 juges restants contient en conséquence près de 12 000 données exploitables pour le traitement statistique.

### 1.2. Cartographie de la fréquence de perception

En vue d'évaluer la répartition spatiale des perceptions autour du site étudié, une cartographie des pourcentages d'odeurs perçues par les juges sur les quatre mois de l'étude a été établie (Figure 2).

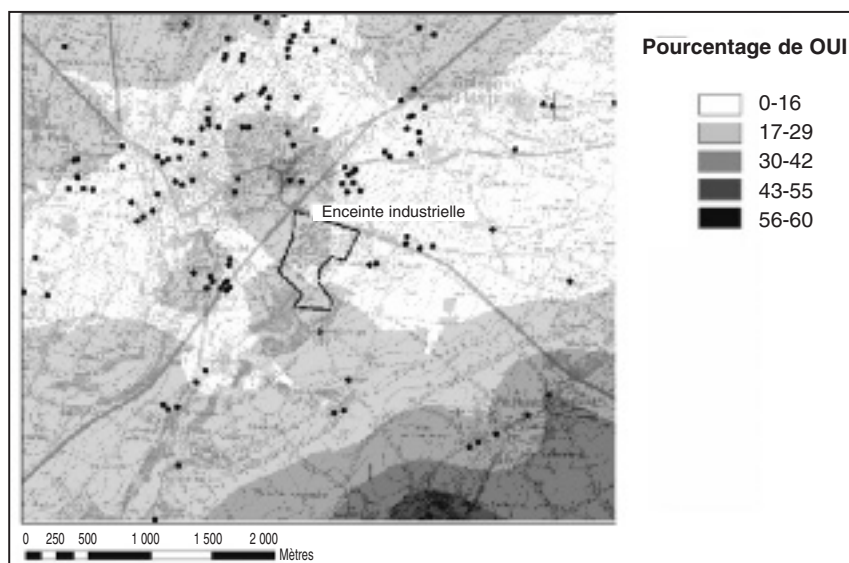


Figure 2.  
Cartographie du pourcentage d'odeurs perçues obtenue par krigeage ordinaire.  
Spatial representation of the percentage of smelling observations, calculated by ordinary kriging.

Les observateurs situés au sud-est de la zone d'étude sont les plus soumis à une gêne olfactive. La cartographie ne permet cependant pas de déterminer si cette gêne est due à l'activité du site industriel ou non.

La simple considération du pourcentage d'odeurs perçues ne permet donc pas de caractériser l'impact olfactif de l'usine. Cela tient au fait que l'exposition des observateurs à la source odorante n'est pas prise en compte.

Pour cette raison, la méthode ISODOR a été développée à partir d'indices de fréquences de perceptions olfactives qui prennent en compte la fréquence d'occurrence des directions de vent plaçant le juge sous les vents du site.

## 2. Méthodologie ISODOR

### 2.1. Principe de la méthodologie ISODOR

La méthode ISODOR consiste à considérer que la source olfactive peut être présente en n'importe quel point du domaine d'étude. Pour représenter cela, un maillage est défini sur le domaine d'étude et, par la suite, une source sera supposée en chacun des points de ce maillage. Le maillage initial couvre l'ensemble du domaine d'étude et est constitué de mailles de 200 mètres de côté.

Pour une source et un observateur donnés, il est possible de calculer un indice de fréquence de perception (défini par la suite). Cet indice est un indicateur de l'importance de l'impact olfactif de la source sur l'observateur.

Ainsi, pour un nœud du maillage, 118 indices de fréquence sont calculés. Ces indices sont agrégés par leur médiane, de manière à n'obtenir plus qu'une seule valeur numérique. La valeur obtenue est alors cartographiée, et délimite des secteurs géographiques d'émissions susceptibles d'être responsables des perceptions dans l'environnement.

Le calcul de l'indice de fréquence dépend donc fortement du fait que « l'observateur est sous les vents du site », c'est-à-dire très dépendant du secteur de vent considéré.

L'observateur est considéré sous les vents du site lorsque l'angle de vent sous lequel celui-ci se trouve correspond à l'angle de vent des données météorologiques pour l'heure en cours avec une tolérance de plus ou moins 25° (soit une ouverture angulaire de 50°) qui traduit la dispersion des effluents odorants dans l'atmosphère.

L'indice de fréquence a été légèrement modifié afin de prendre en compte la vitesse du vent. Pour cela, la réponse de l'observateur est pondérée par l'inverse de la vitesse du vent. Ainsi, la réponse d'un juge sentant une odeur lorsque le vent est faible a plus d'importance que lorsque le vent est fort : autrement dit, si une odeur est ressentie par vent faible, la source doit être proche.

Les cartographies suivantes des Figures 3 et 4, établies sur un maillage de 200 mètres, donnent une représentation de la méthode ISODOR. Seule l'agrégation des indices de fréquence telle que présentée précédemment est représentée. Aucune interpolation (type krigeage ou autre) n'intervient ici.

Dans un souci de lisibilité, les valeurs sont exprimées en proportion de la valeur maximale.

La cartographie obtenue par la méthodologie ISODOR permet de localiser, par croisement de l'isoligne à 90 % et du contour de l'enceinte industrielle, la source olfactive au niveau de l'usine et plus précisément au sud de celle-ci. En ne considérant que les odeurs de type industriel sur la Figure 4, la localisation est encore plus nette (des odeurs de type « naturel » ayant été localisées au sud-est de la zone).

Bien que l'utilisation d'un filtre sur la nature des odeurs ressenties par les observateurs permette d'affiner la localisation de la source, cette dernière reste relativement imprécise au regard de l'étendue de l'enceinte de l'usine.

En vue d'améliorer la localisation de la source d'odeurs perçues par les riverains, quelques améliorations ont été apportées aux bases de la méthode.

L'indice de fréquence est défini comme suit :

$$I_{\text{freq}} = 100 * \frac{N_{\text{perc}}}{N_{\text{max}}} \text{ avec } N_{\text{max}} = P * N_{\text{obs}}$$

Avec :

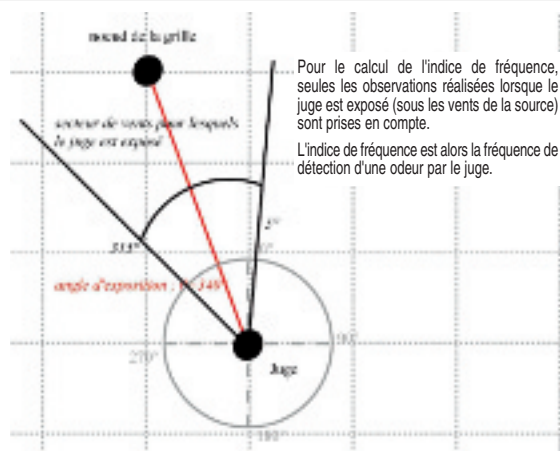
$N_{\text{max}}$  = nombre maximal théorique d'observations avec perception d'odeurs provenant du site.

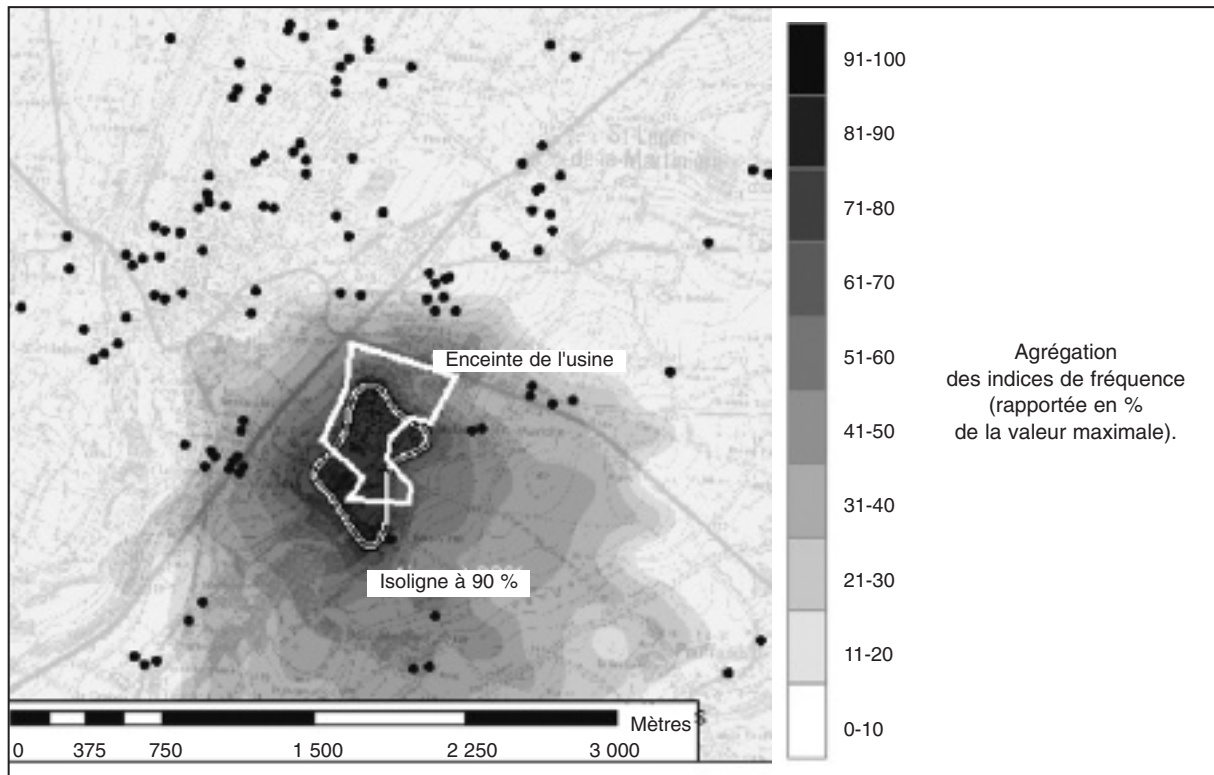
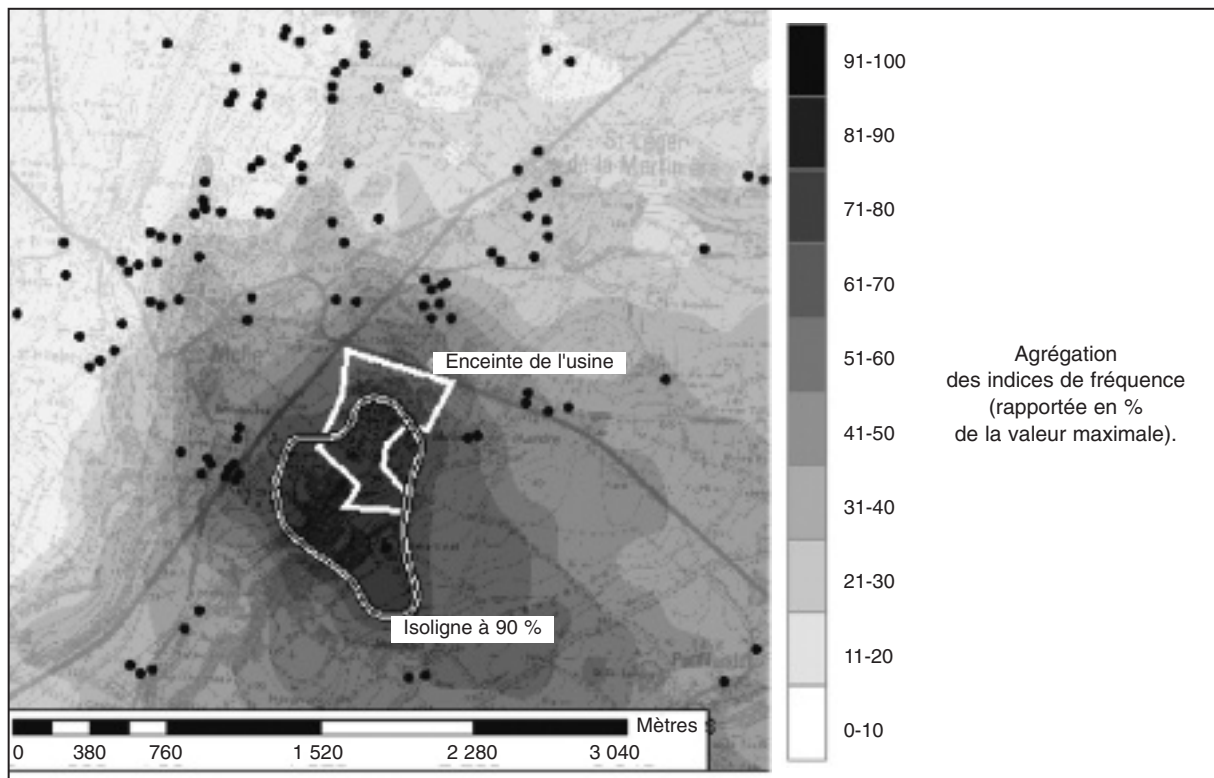
$N_{\text{obs}}$  = nombre d'observations olfactives réalisées pendant la période de l'observation.

$N_{\text{perc}}$  = nombre d'observations avec perception d'odeurs provenant de l'installation.

$P$  = fréquence d'occurrence des directions de vent plaçant l'observateur sous le vent du site (calcul réalisé uniquement sur les périodes concomitantes aux observations des nez).

L'indice de fréquence est donc le pourcentage d'odeurs ressenties lorsque l'observateur est sous l'influence de la source.





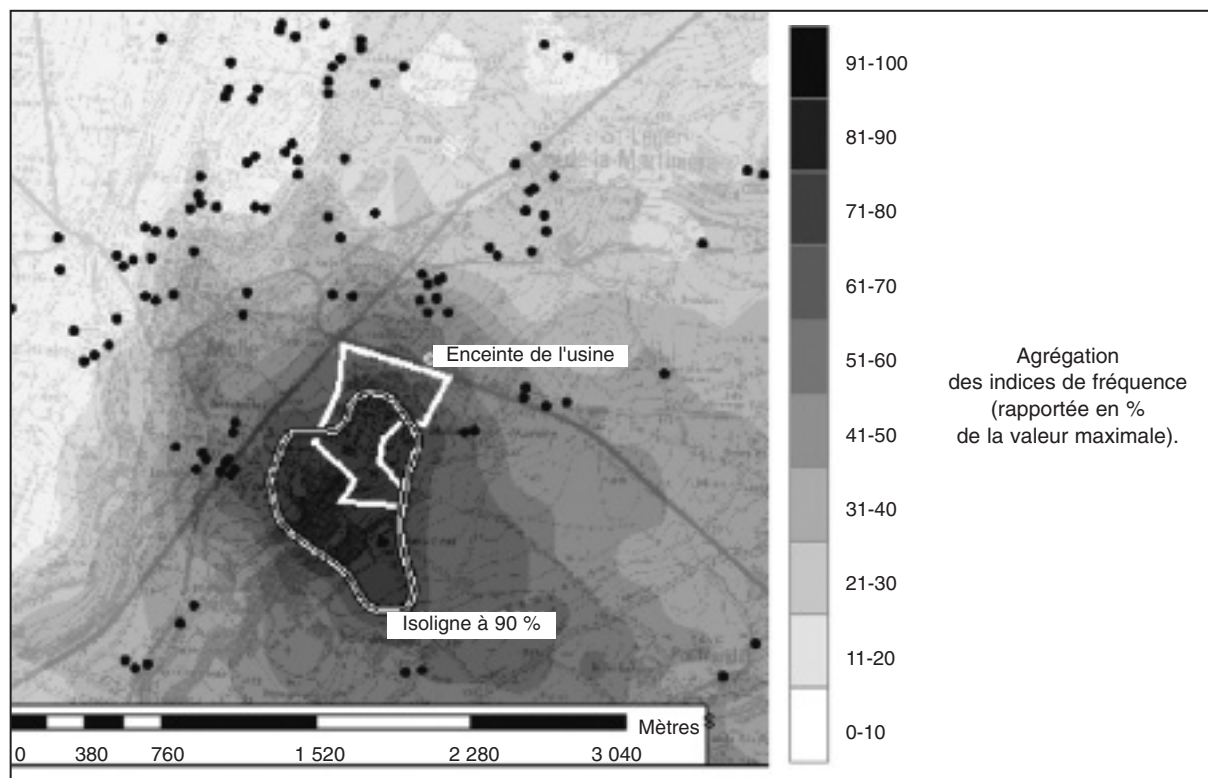


Figure 5.

Zoom sur la zone industrielle de la méthodologie ISODOR (obtenu par médiane) pour les odeurs industrielles.  
 Spatial representation of the ISODOR index (using median), considering only industrial smell. Zoom on the industrial park.

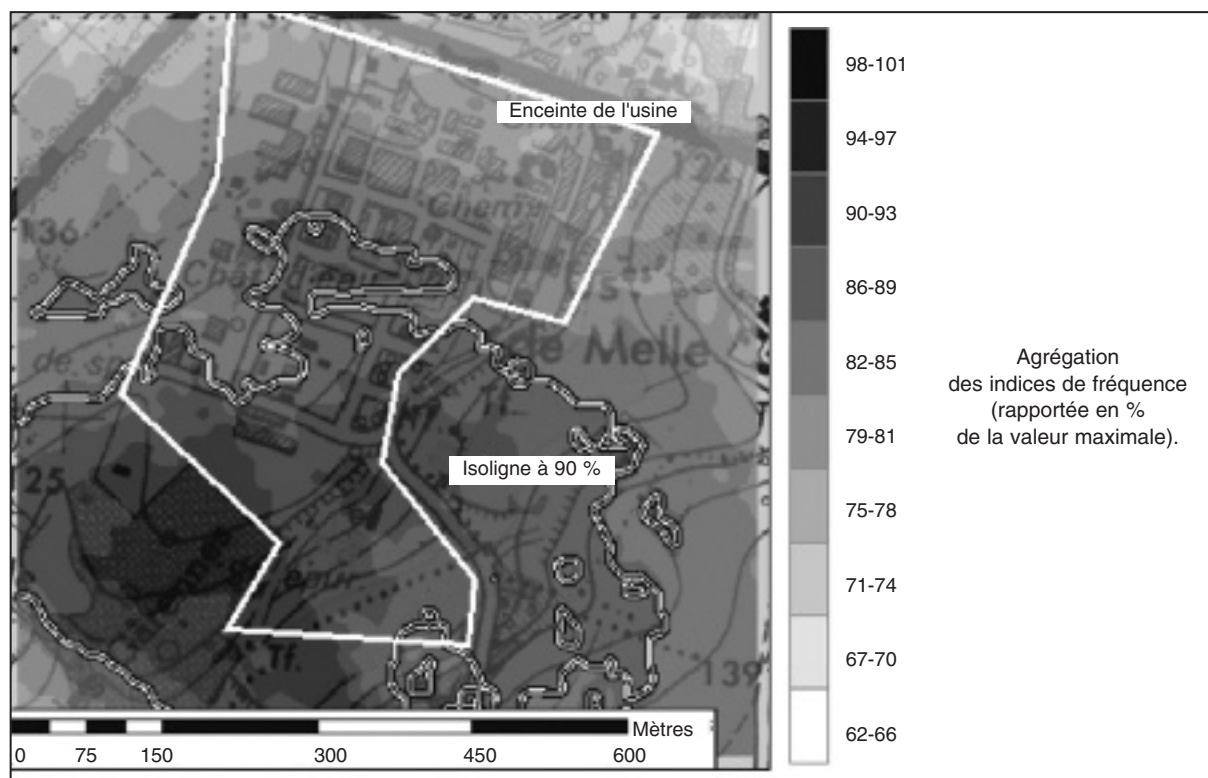


Figure 6.

Zoom sur la zone industrielle de la méthodologie ISODOR (obtenu par moyenne pondérée) pour les odeurs industrielles.  
 Spatial representation of the ISODOR index (using weighted average), considering only industrial smell. Zoom on the industrial park.

## 2.2. Affinement du maillage et prise en compte de la distance

L'application de la méthode présentée précédemment sur un maillage de 200 mètres ne permet pas, par définition, d'avoir une précision supérieure à 200 mètres.

Ainsi, une fois la zone contenant le plus probablement la source d'odeurs mise en évidence, un second maillage est réalisé, à la fois plus fin (20 mètres) et recouvrant une surface plus restreinte autour du site.

Ensuite, le choix d'autres agrégations que la médiane étant possible, les 118 indices de fréquence par nœud du maillage ont été agrégés par leur moyenne pondérée. La pondération utilisée ici est fonction de la distance des juges par rapport au nœud de maille considéré.

Les cartographies suivantes des Figures 5 et 6 donnent une représentation de la méthode ISODOR sur un maillage restreint, pour une agrégation par médiane et par moyenne pondérée.

La cartographie de la méthode ISODOR obtenue par moyenne pondérée ou par la médiane aboutit à des cartes assez similaires. Pourtant l'échelle n'est pas la même, l'échelle de l'indice calculé sur la moyenne pondérée s'étalant de 14 à 100 % alors que celle de l'indice calculé sur la médiane est comprise entre 0 et 100 %. Cependant, l'identification de la source olfactive au niveau de la zone où l'indice est maximal est le seul élément qui nous préoccupe dans cet article. Le croisement de l'isoligne à 90 % et du contour de l'enceinte industrielle permet d'identifier la partie sud de l'usine comme étant à l'origine des émissions odorantes, l'utilisation de la médiane étant plus précise.

La moyenne pondérée permet de prendre en compte l'éloignement des juges à la source. Cependant le fait de considérer la moyenne pondérée et non la médiane peut ne pas être judicieux suivant le type d'émission. Par exemple, une pollution olfactive émise par une cheminée peut passer au-dessus des habitations proches de la source et retomber plus loin. La prise en compte de la distance donnerait alors plus de poids aux personnes proches qui sentent peu ou pas d'odeurs et peu de poids aux personnes plus éloignées mais plus exposées. Le choix de la médiane dans ce cas semblerait plus approprié.

En l'absence d'information sur la source d'odeurs au sein de l'usine, la médiane sera donc considérée dans la suite de l'étude.

## 2.3. Optimisation de l'ouverture angulaire

Jusqu'à maintenant, l'ouverture angulaire utilisée était fixée à 50°. Cependant, le but de la méthode ISODOR étant d'être le plus précis possible dans la localisation de sources odorantes, une méthodologie de dispersion atmosphérique des odeurs utilisant un modèle gaussien stationnaire est considérée dans la suite de cette étude. Cette méthodologie est inspirée par un article sur la recherche de sources d'odeurs à partir des plaintes des riverains [2].

L'angle d'exposition est alors défini en fonction de la classe de stabilité atmosphérique (classe de Pasquill) et est résumé par le Tableau 1. La classe de stabilité atmosphérique est elle-même calculée à partir de paramètres météorologiques différents selon la situation diurne ou nocturne. Le calcul des classes de Pasquill nécessite la connaissance de la vitesse du vent, quelle que soit la situation, ainsi que le rayonnement solaire pour le jour et la nébulosité pour la nuit.

Tableau 1.  
Valeurs de l'angle d'exposition suivant la classe de stabilité atmosphérique.  
Width of the angle of exposure depending on the stability of the atmosphere.

Classe de stabilité atmosphérique	A	B	C	D	E	F
Qualificatif associé	instable		neutre		stable	
Angle (en °)	73	57	42	33	26	21

Cette méthodologie est appliquée à la méthode ISODOR.

L'optimisation de l'angle d'exposition par la nouvelle méthodologie appliquée à ISODOR aboutit à la délimitation d'une source d'odeurs potentielle beaucoup plus précise. L'aire des zones déterminées est plus réduite et plus ciblée. Ce résultat montre l'importance de la valeur de l'angle considérée dans la notion d'observateur sous les vents du site.

Le zoom sur la zone industrielle permet, par cette nouvelle méthode de calcul d'angle d'exposition, d'identifier la source exacte de la gêne avec une assez bonne précision. En effet, lors de la campagne d'étude de qualité de l'air, les mesures réalisées par ATMO Poitou-Charentes ont mis en évidence la présence d'hydrogène sulfuré, illustrée sur la Figure 8, à des niveaux supérieurs au seuil olfactif et dans un secteur de 100 à 130°, c'est-à-dire en direction de la station d'épuration. Cela montre que la présence d'hydrogène sulfuré émanant de la station d'épuration pourrait être à l'origine de la gêne olfactive. La méthodologie ISODOR confirme cette hypothèse sur la Figure 7 en localisant la station d'épuration à l'intérieur de la zone délimitée par l'isoligne à 90 %.

Soulignons le fait que les calculs de classes de Pasquill ont été effectués avec les données de rayonnement global et non de rayonnement solaire et que les quelques observations réalisées en conditions nocturnes ont été attribuées à la classe D (neutre), faute de données de nébulosité. Ces approximations peuvent être à l'origine du manque de précision de la zone définie.

Cette méthode d'optimisation semble permettre une amélioration de la précision de la zone de délimitation d'une source d'odeurs potentielle. Cependant il est important de souligner que son application est limitée aux zones à faible relief.

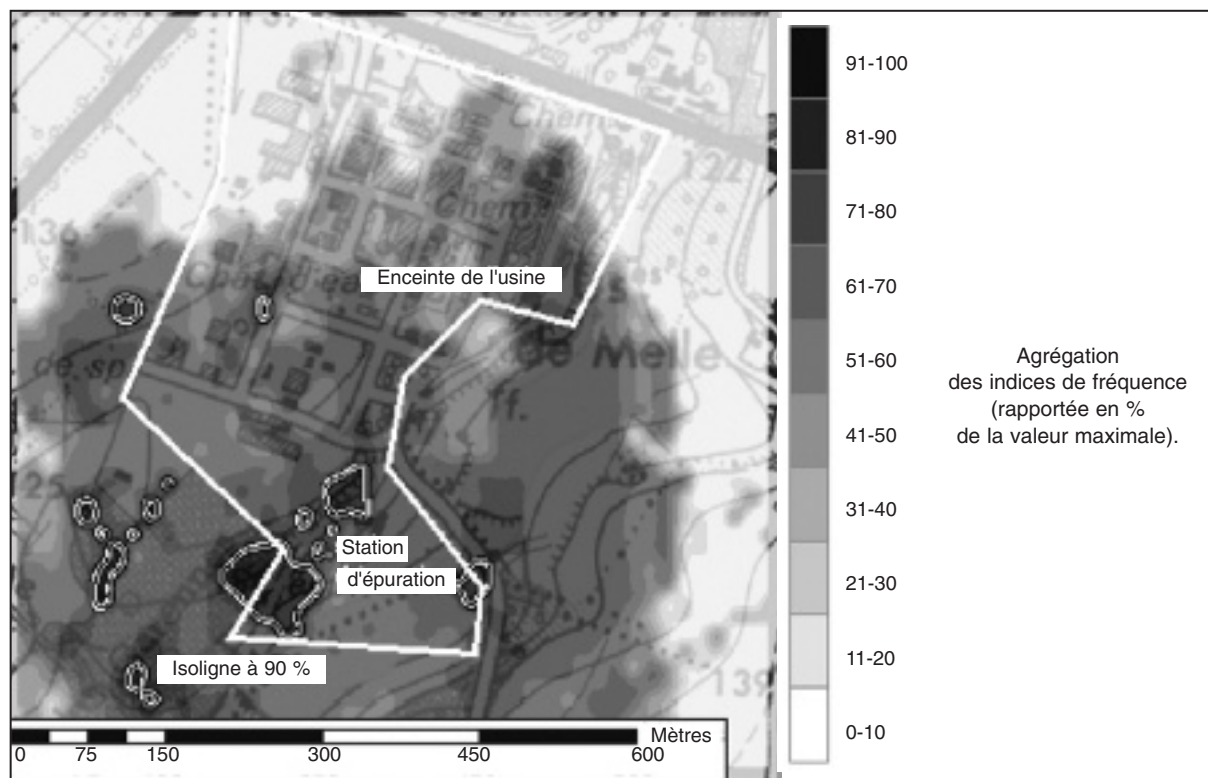


Figure 7.

Zoom sur la zone industrielle de la méthodologie ISODOR avec optimisation de l'angle d'exposition.  
 Spatial representation of the ISODOR index, optimizing the angle of exposure. Zoom on the industrial park.

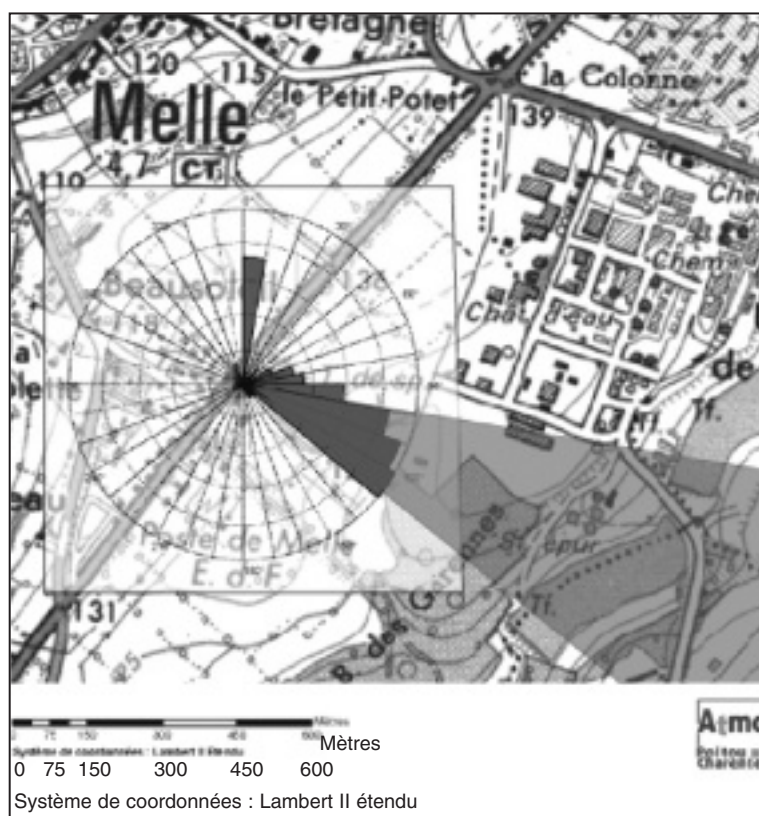


Figure 8.

Rose des concentrations en hydrogène sulfuré.  
 Concentration rose for H<sub>2</sub>S

### 3. Intérêt d'une localisation fine de la source : cartographie de la probabilité de dépassement de seuil d'un indice de gêne

L'observatoire des odeurs dont les données sont issues, était initialement réalisé en vue de caractériser l'impact olfactif de l'usine. Dans ce paragraphe, cet impact est caractérisé au moyen de la cartographie d'un indice de gêne.

Afin de montrer l'importance de la localisation précise de la source olfactive, la cartographie est réalisée en supposant la source au centre du site industriel, puis au point mis en avant par l'application de la méthode ISODOR.

#### 3.1. Définition de l'indice de gêne

L'arrêté du 12 février 2003 [1] définit un indice de gêne olfactif en fonction de deux sous-indices : l'indice de fréquence utilisé dans la méthode ISODOR et dont la formule est explicitée précédemment, et un indice de nuisance défini comme suit :

$$I_{\text{nuisance}} = [(0 \times N_1) + (1/3 \times N_2) + (2/3 \times N_3) + (1 \times N_4)] / (N_1 + N_2 + N_3 + N_4)$$

$N_1$  = nombre d'observations non gênantes provenant du site (sous les vents du site).

$N_2$  = nombre d'observations peu gênantes provenant du site.

$N_3$  = nombre d'observations gênantes provenant du site.

$N_4$  = nombre d'observations très gênantes provenant du site.

L'indice de gêne final est égal à :

$$I_{\text{gêne}} = (I_{\text{nuisance}} \times I_{\text{fréq}})^{1/2}$$

La valeur de l'indice de gêne, variant de 0 à 10, peut alors être comparée à une échelle renseignant sur le confort olfactif occasionné par l'installation :

- si  $I_{\text{gêne}}$  est inférieur à 2,5, le confort olfactif est bon ;
- si  $I_{\text{gêne}}$  est compris entre 2,5 et 5, le confort est passable ;
- si  $I_{\text{gêne}}$  est compris entre 5 et 7,5, le confort est dégradé ;
- si  $I_{\text{gêne}}$  est supérieur à 7,5, le confort est mauvais.

#### 3.2. Cartographie et probabilité de dépassement de seuil

Cet indice de gêne est donc calculé pour chaque juge. La cartographie de l'indice de gêne sur l'ensemble du domaine d'étude, produite par krigeage ordinaire, fournit une image de l'impact olfactif du site industriel sur le milieu environnant et permet d'identifier la zone touchée par les odeurs provenant de l'installation.

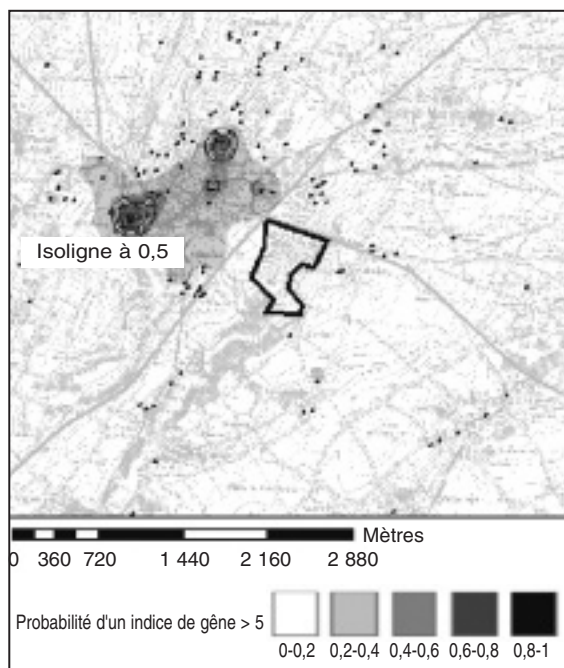


Figure 9.

Probabilité que l'indice de gêne soit supérieur à 5 lorsque la source est localisée au centre de l'enceinte industrielle.

Probability for the index discomfort to be higher than 5, when the source is located on the center of the industry.  
Probability for the index discomfort to be higher than 5.

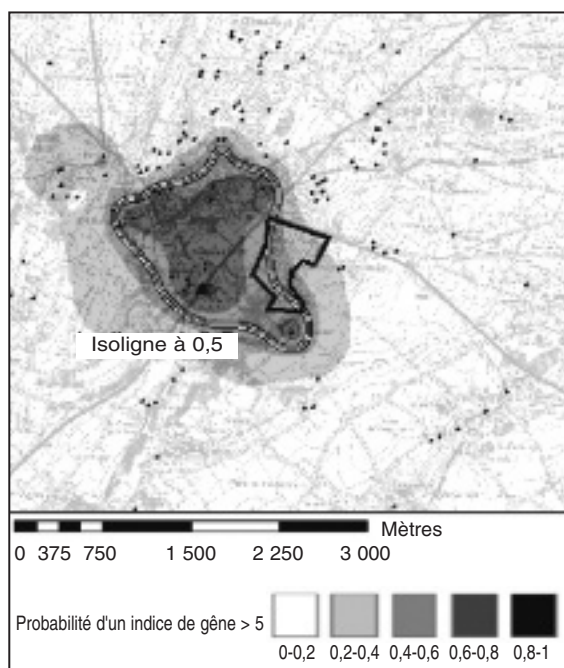


Figure 10.

Probabilité que l'indice de gêne soit supérieur à 5 lorsque la source est localisée au niveau de la station d'épuration.

Probability for the index discomfort to be higher than 5, when the source is located on the purgation factory.  
Probability for the index discomfort to be higher than 5.



Outre la cartographie de l'indice de gêne, il est possible de calculer la probabilité avec laquelle cet indice peut dépasser un seuil donné. L'objectif est de délimiter les zones potentiellement exposées à une gêne importante et de quantifier, par exemple, le nombre d'habitants affectés par les émissions olfactives du site industriel par croisement de cette carte de probabilité et de la carte de population.

Les techniques de la géostatistique linéaire (techniques de krigeage) sont insuffisantes pour répondre à cette question de dépassement de seuil. En effet, le calcul de probabilité de dépassement de seuil sur les cartes d'estimation obtenues est imprécis, en particulier dans les zones où l'écart type d'estimation est élevé. La méthode de l'espérance conditionnelle est alors envisagée.

Cette méthode est basée sur un simple calcul de probabilité à partir des valeurs estimées par krigeage et des écarts types associés. Cependant le calcul de cette probabilité nécessite que la loi de distribution de la variable soit connue. Une anamorphose gaussienne est donc appliquée au préalable sur la variable à kriger.

Les cartographies 9 et 10 représentent la probabilité que le confort olfactif soit dégradé ou mauvais, c'est-à-dire la probabilité que l'indice de gêne soit supérieur à 5, lorsque la source olfactive est localisée au centre de l'enceinte industrielle (Figure 9) et lorsqu'elle est située précisément au niveau de la station d'épuration (Figure 10).

Les deux cartes produites sont très différentes. L'isoligne délimite la zone à l'intérieur de laquelle la probabilité d'avoir un confort olfactif dégradé ou mauvais, est supérieure à 0,5. Cette zone est minorée si l'on considère la source olfactive au niveau du centre de l'usine. Elle est environ 15 fois plus petite que la

zone définie lorsque la source est localisée au niveau de la station d'épuration. Il est donc très important de localiser avec précision à l'intérieur même du site la source réelle des effluents olfactifs. Ceci est rendu possible grâce à la méthode ISODOR.

#### 4. Bilan et perspectives

L'étude décrite dans cet article présente une méthodologie de localisation d'une source olfactive, baptisée méthode ISODOR, à travers le calcul de l'indice de fréquence. Cette méthode permet de délimiter une zone précise contenant la source potentielle. À partir de cette zone, il est alors possible de cibler l'origine exacte des émissions olfactives (une expertise humaine peut être utile si la zone définie comprend plusieurs sources potentielles). Une méthode de dispersion atmosphérique a été utilisée pour optimiser l'angle d'exposition aux vents du site. Les zones de sources potentielles d'odeurs délimitées par ISODOR avec cette nouvelle technique sont plus précises. La cartographie de la probabilité de dépassement de seuil de l'indice de gêne a montré l'importance de localiser précisément la source olfactive afin de définir avec exactitude les zones potentiellement touchées.

À travers cet exemple, la méthode ISODOR semble avoir montré sa pertinence. Elle pourrait cependant être testée sur une zone plus complexe où plusieurs sources odorantes seraient présentes.

Des développements pour une utilisation sur une zone à fort relief pourraient être entrepris ainsi que la réalisation de tests permettant d'évaluer le nombre d'observateurs et d'observations minimal nécessaire à un dimensionnement optimal.

#### Références

1. Arrêté du 12 février 2003, paru au *Journal Officiel* du 15 avril 2003, relatif aux prescriptions applicables aux installations classées soumises à autorisation sous la rubrique 2730 « Traitement de sous-produits d'origine animale, y compris débris, issues et cadavres, à l'exclusion des activités visées par d'autres rubriques de la nomenclature, des établissements de diagnostic, de recherche et d'enseignement », Annexe III : Méthode de calcul d'un indice de gêne.
2. Beal P, Hourdin G, Mesbah B, Poulet D. ODOTRACE – Recherche des sources d'odeur à partir des plaintes des riverains – Méthodologie et améliorations. *Pollution atmosphérique* 2006 ; 192 : 465-73.
3. Couillet JC. Dispersion atmosphérique (mécanismes et outils de calcul). *INERIS*, Direction des risques accidentels, décembre 2002 : 64 p.

