



HAL
open science

La spatialisation des odeurs

Jamel Ben Hassine

► **To cite this version:**

Jamel Ben Hassine. La spatialisation des odeurs. Géographie. Université Côte d'Azur, 2021. Français.
NNT: . tel-03741104v2

HAL Id: tel-03741104

<https://hal.science/tel-03741104v2>

Submitted on 7 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE DE DOCTORAT

La spatialisation des odeurs

Jamel BEN HASSINE

ESPACE : Études des Structures, des Processus d'Adaptation et des Changements de l'Espace UMR
7300

LAPCOS : Laboratoire d'Anthropologie et de Psychologie Cliniques, Cognitives et Sociales EA
7278

**Présentée en vue de l'obtention
du grade de docteur en géographie
d'Université Côte d'Azur**

Dirigée par : Joël CANDAU

Co-encadrée par : Sandra PEREZ

Soutenue le : 30 mars 2021

Devant le jury, composé de :

Paule-Annick DAVOINE, Professeur à l'Université
de Grenoble, UMR PACTE

Martine ADRIAN-SCOTTO, Maître de conférences
à l'Université Côte d'Azur, ICN

Jean-Paul THIBAUD, Directeur de recherche
CNRS, UMR Ambiances, Architectures, Urbanités
Joël CANDAU, Professeur émérite à l'Université
Côte d'Azur, LAPCOS

Didier JOSSELIN, Directeur de Recherche CNRS,
UMR ESPACE

Sandra PEREZ, Maître de conférences à l'Université
Côte d'Azur, UMR ESPACE

La spatialisation des odeurs

Jury :

Président du jury :

Didier JOSSELIN, Directeur de Recherche CNRS, UMR ESPACE

Rapporteurs :

Paule-Annick DAVOINE, Professeur à l'Université de Grenoble, UMR PACTE

Jean-Paul THIBAUD, Directeur de recherche CNRS, UMR Ambiances, Architectures, Urbanités

Examineurs :

Joël CANDAU, Professeur émérite à l'Université Côte d'Azur, LAPCOS

Martine ADRIAN-SCOTTO, Maitre de conférences à l'Université Côte d'Azur, ICN

Sandra PEREZ, Maitre de conférences à l'Université Côte d'Azur, UMR ESPACE

Je dédie cette thèse,

À ma mère Romdhana symbole de patience et d'affection,

À mon père Salem pour tous ses sacrifices et ses enseignements,

À ma femme Evah pour son encouragement continu,

À mes enfants Sofiane et Sarah, les bonheurs de ma vie,

À tous mes professeurs depuis la première jusqu'à l'Université à qui je dois ce que je suis, et ce que je serai,

Et à toute ma famille à Télélsa.

« Il convient que l'on choisisse parmi les maisons d'Alexandrie pour y habiter celle dont les portes des pièces et des salons sont ouvertes, orientées vers l'est et le nord, mais fermées à l'ouest et au sud. Elle aura des ouvertures par lesquelles passera l'air qui y rentrera, afin que ces courants d'air la traversent et que les rayons du soleil y entrent. Ce qui a été rassemblé comme miasme à l'intérieur sera dispersé et décomposé. La demeure doit être éloignée notamment des cimetières, des jardins potagers (al-mabaquil), des tas de fumiers, des tanneries, des lieux de fabrication d'amidon, de mauvaises odeurs et des foyers des bains. En effet, tout cela vicia l'air en y mélangeant ses vapeurs nocives et ses fumées. Il convient ensuite de le nettoyer de ses miasmes, de ses particules délétères et de ses saletés qui sont dans la plupart des habitations et que l'on considère comme méprisables. Elles sont en effet toutes nocives pour l'air » (Ibn Gumay, 1198, Risāla fī tibb al-Iskandariyya, p. 376-377).

Remerciements

Au terme de ce travail de recherche, je voudrais remercier tous ceux qui m'ont, de près ou de loin, aidé dans son élaboration.

Je remercie chaleureusement mon directeur de thèse le professeur Joël CANDAU pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail doctoral, pour son soutien et ses multiples conseils durant la rédaction de ma thèse.

Je remercie, également, ma co-directrice Sandra PEREZ pour ses conseils précieux, ses nombreux suivis, et son encouragement. Je lui exprime ici toute ma reconnaissance.

Je remercie ensuite l'ensemble des membres du jury, qui me font l'honneur de bien vouloir étudier avec attention mon travail : Paule-Annick DAVOINE, Professeur à l'Université de Grenoble, Martine ADRIAN-SCOTTO Maître de conférences à l'Institut de Chimie de Nice, Jean-Paul THIBAUD, Directeur de Recherche à l'UMR Ambiances, Architectures, Urbanités, et Didier JOSSELIN, Directeur de l'UMR ESPACE.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants, personnels et à tous les étudiants des laboratoires LAPCOS et ESPACE. Je remercie spécialement Isabelle MILHABET et Bruno DE CARA pour leurs encouragements, ainsi que leurs nombreux conseils lors de nos rencontres en comité de thèse.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la disponibilité et l'accueil chaleureux que m'ont témoigné le personnel de la Surveillance Régionale des Odeurs (SRO) lors de mes deux séjours à Martigues en octobre 2016 et en mars 2018, notamment, Sébastien MATHIOT, Mélanie SELVANIZZA et Boualem MESBAH.

Mes plus profonds remerciements à mes frères et sœurs : Makia, son mari, ses enfants, Fatima, Mohamed, sa femme, ses enfants, Naceur, sa femme, ses enfants, et Fathi.

Il faut également remercier tous mes collègues de travail : Med Amine BEN MELEIK, Chiraz BELMABROUK, Sami BOUBATRA, Mody GASSAMA, Afaq HAIDER et Boubakary MAKALOU qui m'ont remplacé lors de mes déplacements pour des colloques ou des formations.

Merci à tous.

Table des Matières

Remerciements	4
Table des Matières	5
Glossaire	8
Introduction	11
1. L'état de l'art	17
1.1 L'odeur dans les différentes disciplines	17
1.1.1 Comment parler des odeurs ?	17
1.1.2. Une anthropologie des odeurs	20
1.1.3 Santé et odeurs	28
1.1.4 La chimie des odeurs	34
1.1.5 Les odeurs au fil du temps	37
1.1.6 <i>Smelly maps</i> , une cartographie des odeurs dans les villes	43
1.2 Odorant, odeur, système olfactif	46
1.2.1. Définitions	46
1.2.2 La physiologie du système olfactif	48
1.2.2.1 La muqueuse olfactive	48
1.2.2.2 Le bulbe olfactif	49
1.2.2.3 Les projections olfactives centrales	49
1.2.2.4 Le nerf trijumeau	50
1.2.2.5 Le système olfactif accessoire	50
1.2.3 Le traitement de l'information olfactive	51
1.2.3.1 Le traitement de l'information olfactive du point de vue physiologique	51
1.2.3.2 Le traitement de l'information olfactive du point de vue cognitif	53
1.3 Sources, prélèvements et mesures des odorants	55
1.3.1 Les sources d'odorants	55
1.3.1.1 Le domaine industriel	57
1.3.1.2 Le domaine municipal	57
1.3.1.3 L'agriculture	58
1.3.1.4 L'air intérieur	58
1.3.2 Le prélèvement des odorants	59
1.3.2.1 Les méthodes de prélèvement des odorants	60

1.3.3 La mesure des odorants	66
1.3.3.1 La mesure olfactométrique (sensorielle)	67
a) La concentration d'un odorant	71
b) L'intensité d'un odorant	74
c) La qualité d'un odorant	78
d) La tonalité « affective » ou « hédonique »	82
1.3.3.2 La mesure physico-chimique	90
1.4 Des odeurs et des lois	96
1.4.1 La surveillance de la qualité de l'air	96
1.4.1.1 Les établissements (les émetteurs)	96
1.4.1.2 Les pouvoirs publics	97
1.4.1.3 Les riverains (les récepteurs)	97
1.4.2 Les réglementations	97
1.4.2.1 En France	97
1.4.2.2 Les réglementations dans le monde	103
2. Les données	106
2.1 Les plaintes des riverains	106
2.1.1 Présentation des données	106
2.1.2 Les éléments constitutifs d'une plainte	109
2.1.2.1 L'identifiant	109
2.1.2.2 Alerte_flag	109
2.1.2.3 Date et heure de la plainte	109
2.1.2.4 Géolocalisation de la plainte	119
2.1.2.5 Les remarques : <i>le corpus</i>	123
2.1.2.6 Les sources de nuisances olfactives	127
2.1.2.7 La distance entre la source et les plaignants, la direction et la vitesse des vents	145
2.1.2.8 Le genre des plaignants	149
2.1.2.9 La durée de la gêne olfactive	151
2.1.2.10 L'intensité des odeurs perçues	155
2.1.2.11 Le niveau de gêne ressenti par le plaignant	156
2.1.2.12 Les symptômes physiologiques rapportés par les plaignants	158
2.1.2.13 Les résultats du questionnaire du jury de nez	162

3. Apports de l'intelligence artificielle et de la géomatique	177
3.1 L'intelligence artificielle	177
3.2 La géomatique	197
Conclusion	202
Bibliographie	207
Table des figures	225
Table des tableaux	227
Table des vidéos	228
Index des lieux	229
Annexe 1. Les catégories d'odeurs selon les sources émettrices	231
Annexe 2. Les détails d'une plainte, site SRO AtmoSud	244
Annexe 3. Fiche d'observation olfactive des jurés de nez	245
Annexe 4. Liens vers les nouvelles vidéos jusqu'en 2020	246

Glossaire

AASQA : Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AFNOR : Association française de normalisation

CET : Centre d'enfouissement technique

Cniid : Centre national d'information indépendante sur les déchets

COV : Composés organiques volatils

DIREN : Direction régionale de l'environnement

DRE : Direction régionale de l'équipement

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

FNE : France Nature Environnement

ICPE : Installations classées pour la protection de l'environnement

LAURE : Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie

SPPPI : Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions et des risques Industriels

SPSE : Société du Pipeline Sud-Européen

SRO : Surveillance Régionale des Odeurs

STEP : Station d'épuration

TOL : Tractus olfactif latéral

u.o : Unité Odeur

Normosmique : se dit d'une personne qui possède un odorat "normal"

Dysosmie : ce terme regroupe tous les troubles de l'odorat

Anosmie : perte totale de l'odorat

Anosmie congénitale : anosmie depuis la naissance

Hyposmie : perte partielle de l'odorat

Cacosmie : trouble olfactif conduisant le patient à désigner certaines odeurs comme désagréables alors que pour tout un chacun elles ne le sont pas, ou inversement

Phantosmie : sorte d'hallucination olfactive durant laquelle une personne croit sentir une odeur qui n'est pas présente

Hyperosmie : trouble qui amène une hypersensibilité aux odeurs

Agoniste : substance qui se fixe sur les mêmes récepteurs cellulaires qu'une substance de référence et qui produit, au moins en partie, les mêmes effets

Ageusie : diminution marquée ou perte totale du sens gustatif

Anosmie spécifique ou partielle : inaptitude à percevoir une odeur déterminée, alors que d'autres odeurs sont normalement perçues. La plus répandue concerne l'odeur musquée, elle affecte environ 10 % de la population

Axone : prolongement cytoplasmique unique du neurone qui assure la conduction de l'influx nerveux à partir du corps cellulaire

Chimiotaxie : réaction de locomotion orientée et obligatoire d'organismes mobiles, déclenchée et entretenue par une substance chimique diffusant dans le milieu, et s'effectuant soit dans sa direction (chimiotaxie positive), soit dans la direction opposée (chimiotaxie négative)

Dendrite : prolongement cytoplasmique court et ramifié du neurone qui assure la réception des influx nerveux. Dans les neurones olfactifs, la dendrite se compose d'une touffe de cils qui sont porteurs des récepteurs olfactifs

Électroencéphalographie (EEG) : elle mesure l'activité électrique générée par les neurones grâce à des électrodes collées à la surface du cuir chevelu. Elle détecte donc l'activité neuronale globale et continue du cerveau

Épithélium olfactif : tissu non vascularisé constitué d'une couche de cellules collées les unes aux autres, sans espace ni liquides interstitiels, qui recouvre et protège une surface d'environ 2,5 cm² de la partie supérieure de la cavité nasale. Outre les neurones olfactifs qui portent les récepteurs, l'épithélium olfactif comporte des cellules de soutien qui maintiennent les neurones et les cellules basales qui, par maturation, vont renouveler les neurones olfactifs. L'épithélium comporte également des glandes qui sécrètent le mucus olfactif

Ethmoïde (os) : lame osseuse fine criblée de petits trous séparant les fosses nasales et les bulbes olfactifs qui sont des structures latéralisées spécialisées du cerveau

Introduction

L'odeur est une élaboration mentale issue d'un stimulus (odorant) mono moléculaire ou, beaucoup plus fréquemment, d'un mélange de molécules parfois très complexe (Sinding, 2012), qui va entrer en contact avec notre système olfactif (odorat).

Certaines odeurs sont agréables et d'autres désagréables. Cependant, l'appréciation d'une odeur connaît une variabilité importante en fonction des individus, des cultures, et bien entendu de la substance en elle-même. En ce sens, la perception des odeurs demeurerait subjective pour un évènement objectif (Candau et Jeanjean, 2006), car pour chaque senteur, nous n'élaborons pas la même représentation mentale, certaines pouvant être porteuses de souvenirs, voire d'émotions qui nous sont propres (la fameuse madeleine de Proust !).

Dans cette thèse, nous nous intéressons aux odeurs désagréables qui peuvent devenir des nuisances olfactives, notamment pour des riverains de certaines installations industrielles, qui vont alors les considérer comme une agression, et pour laquelle ils vont déposer plainte. Les odeurs peuvent en effet s'inviter dans les habitations, à n'importe quel moment, et être ressenties comme une véritable intrusion dans l'espace de vie. Elles seraient plus intolérables à certains moments de l'année (saison estivale où les personnes vivent plus dehors), ou de la journée (le matin).

Les nuisances olfactives n'ont cessé de croître parallèlement à l'essor de certaines activités (raffinage, traitement des déchets, épuration des eaux, élevage), elles représentent aujourd'hui un des principaux motifs de plaintes de la population, après le bruit ¹.

¹ https://www.record-net.org/storage/etudes/03-0808-0809-1A/rapport/Rapport_record03-0808-0809_1A.pdf

Si des géographes s'intéressent aux polluants tels que le dioxyde de soufre (SO₂), les dioxydes d'azote (NO₂), l'ozone (O₃), les PM₁₀ etc., il n'en existe pas à notre connaissance qui s'intéressent aux odeurs désagréables. Or, elles peuvent pourtant être vécues par les riverains comme une véritable pollution de l'air (ADEME). Depuis la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) du 30 décembre 1996 elles sont d'ailleurs reconnues comme une pollution de l'air « *toute substance susceptible de provoquer des nuisances olfactives excessives* ».

Du point de vue psychologique, l'odorat a un lien très étroit avec nos émotions puisque notre nez est directement relié à la partie du cerveau qui contrôle la réponse émotionnelle (Soudry et *al.*, 2011, Quercia et *al.*, 2016). Pour en comprendre le mécanisme nous devons faire appel à la neurophysiologie qui décrit la façon dont est traitée l'information olfactive : d'abord par le système limbique (une des parties du cerveau la plus vieille du point de vue de l'évolution), et ensuite par les parties du néocortex, spécialement dans l'hémisphère droit. Ce processus de traitement de l'information olfactive (notamment l'implication du système limbique qui est en relation avec le développement des émotions), nous laisse penser que les odeurs affecteraient le comportement humain de façon inconsciente.

Cela signifie que l'espace olfactif qui nous entoure a potentiellement un impact sur nos ressentis, ce qui, dans le cas de nuisances répétées sur le lieu de résidence, peut induire un sentiment de perte du libre arbitre (je ne veux pas être soumis à cela, et pourtant je le suis) (Broca, 1879) qui générerait à son tour une charge émotionnelle pouvant aller jusqu'à la colère, qui se manifesterait par le dépôt d'une plainte.

Selon Salesse (2012), « les mauvaises odeurs nous rendraient méfiants ». En effet, notre sensibilité aux odeurs nauséabondes aurait pour but originel de nous prévenir de la survenue imminente d'un danger. Ainsi, la perception de telles odeurs par des riverains les avertirait d'un danger potentiel, l'odeur étant alors perçue comme cachant d'autres éléments, à savoir des polluants potentiellement délétères pour leur santé, ce qui n'est pas faux. La plus connue est l'odeur d'œuf pourri associée à une émission de

soufre, ou bien encore l'odeur de poisson mêlée à l'urine, associée au diméthylamine, composé azoté qui se dégage des tanneries de cuir (Parker et *al.*, 2002). Boisson (1997), considère que les odeurs de pourri, de brûlé, correspondraient à un stimulus que l'homme doit fuir, voire, supprimer. L'odeur déplaisante nous avertirait ainsi, d'une fuite de gaz, d'une attaque chimique, d'un feu ou bien encore d'une nourriture avariée.

Certains auteurs pensent qu'il y a une relation entre les maladies et les odeurs nauséabondes : « *places where the air is dank and foul are associated with ill health and disease* » (Bulsing et *al.*, 2009). D'autres vont même plus loin (Rubio-Godoy et *al.*, 2007, Moscovitch et *al.*, 2009), pour eux cette association entre exposition à une mauvaise odeur et dégoût préparerait en fait le système immunitaire à une attaque microbienne potentielle.

Il y a donc un lien assez étroit entre santé et odeurs. Dans une partie de la thèse nous aborderons justement les effets physiologiques ressentis par les plaignants lorsqu'ils sont exposés à ces nuisances olfactives (nausées, maux de tête, irritations de la gorge ou bien des yeux).

Un des objectifs de la thèse est de voir si dans le cadre de ces odeurs désagréables, un certain consensus phénoménologique peut être observé, les *qualia* étant alors assez fortes pour être partagées par le plus grand nombre, même si bien entendu des différences de sensibilité peuvent toujours demeurer.

Nous allons également nous interroger sur les conditions d'émergence de ces mauvaises odeurs afin de les placer dans un contexte de rationalité scientifique et notamment en les replaçant dans leur espace géographique d'émergence. En effet, elles peuvent parfois faire l'objet d'un déni, la tentation est grande de les considérer comme étant de l'ordre de la perception individuelle, et donc du subjectif, afin de minimiser l'importance de certaines émissions atmosphériques, et ce, de manière consciente ou inconsciente ².

² « L'industriel, dont la survie économique de l'entreprise dépend de sa production, jugera l'odeur de son site acceptable, voire il ne la percevra même plus puisqu'elle n'est plus pour lui informative. Au contraire, un riverain subira l'odeur comme un marqueur de pollution qui viole son territoire, entre dans son jardin, perturbe ses

Au départ, nous souhaitions spatialiser et comparer les odeurs sur tout le territoire national en utilisant les données issues des recueils de plaintes que recensent les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l’Air (AASQA). Ces associations ont été créés suite à la parution de la loi LAURE qui affirme que : « chacun a le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé ». La France en compte 19, puisque leur champ d’action est régional (13 en France métropolitaine et 6 en outre-mer). Mais, très vite nous nous sommes rendus compte que **l’AASQA de la région Sud (AtmoSud) était celle qui était la plus avancée dans la collecte des plaintes et qu’elle disposait d’un nombre important de données nous permettant de rendre compte de leur spatialisation, et d’analyser celle-ci. Nous avons donc décidé dans ce travail de thèse de nous focaliser exclusivement sur les relevés de plaintes au sein de la région Sud. De plus, cette région met en contact une forte urbanisation et une industrie toujours présente.**

La région Sud, notre terrain d’étude, couvre une superficie de 31 400 km², son climat méditerranéen est caractérisé par un été sec et chaud, un hiver doux et pluvieux. Au-dessus de 900 m le climat devient plus rude. Le vent dominant dans la région est le mistral qui souffle du nord au sud dans le couloir Rhodanien, avant de tourner à l’ouest sur la côte varoise jusqu’à Fréjus, il est souvent corrélé avec la tramontane (AtmoSud.org). Pendant la période estivale, les brises marines, perpendiculaires à la côte, sont susceptibles de jouer ou non un rôle dans la diffusion des odeurs, depuis le littoral vers l’intérieur des terres.

La population régionale est de 5.59 millions de personnes en 2019, dont 2.35 millions pour le seul département des Bouches du Rhône. La région Sud est fortement urbanisée, 91 % de la population réside dans un espace urbain, et les cinq plus grandes villes Marseille, Aix-en-Provence, Nice, Toulon et Avignon concentrent 78% de la population (insee.fr 2019).

activités et dégrade la valeur de ses biens. L’odeur du site est alors quelque chose que l’on rejette ; c’est un « déchet ». Pollutions olfactives, Ademe, *Usine nouvelle*, p.9

L'économie de la région produit 7,1 % de la richesse nationale (insee.fr 2017). En 2016, nous comptons 464 692 entreprises dont la majeure partie (35 %) sont installées dans le département des Bouches-du-Rhône ³. De plus, si l'électronique, l'informatique et plus globalement les services caractérisent aujourd'hui l'activité économique régionale, **l'industrie lourde de type pétrochimique est encore très présente, dans les Bouches-du-Rhône, autour de l'Étang de Berre**, tandis que l'agriculture génère, en 2019, 37 000 emplois à temps plein et 3 milliards de chiffre d'affaires annuel ⁴.

La forte urbanisation de la région, les secteurs industriels et agricoles produisent une part importante de déchets et de rejets qui pèsent lourdement sur l'environnement, et qui peuvent être notamment sources de nuisances olfactives.

Ainsi, entre le 29/07/2001 et le 05/10/2016, 20 868 plaintes ont été déposées en Région Sud pour nuisances olfactives. **Détecter les espaces les plus touchés par ces nuisances, les périodes où elles sont apparues avec le plus de force (années, mois, jours), où elles sont les plus incommodantes (heures), identifier les odorants perçus, ainsi que les sources émettrices, replacer les plaintes dans leur contexte géographique, représente le cœur de notre travail de thèse.**

Dans la première partie de la thèse, nommée « l'état de l'art » nous essayons de comprendre comment l'odeur est abordée dans les différents disciplines, puis nous présentons les différents éléments du système olfactif, et comment l'information olfactive est traitée (plans physiologique et cognitif). Par la suite, nous abordons la mesure et le prélèvement des flux odorants, avant d'évoquer les lois pour lutter contre la gêne olfactive aux niveaux national et international.

La seconde partie est dévolue à la présentation des données que nous avons collectées par l'intermédiaire de la Surveillance Régionale des Odeurs (SRO) d'AtmoSud afin de répondre à notre problématique (subjectivité *versus* objectivité), ces données sont issues des plaintes déposées par les riverains, elles seront

³ http://paca.direccte.gouv.fr/sites/paca.direccte.gouv.fr/IMG/pdf/5_activite-economique.pdf

⁴ https://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/94954/1/agr_PACA_2019_104.pdf

confrontées aux perceptions de 60 jurés de nez (AtmoSud) afin de voir si les ressentis des deux populations concordent.

Enfin, la dernière partie concerne le traitement de ces données à proprement parler. Nous avons fait le choix de l'Intelligence Artificielle, plus précisément des réseaux bayésiens afin de déterminer les relations quantitatives, qualitatives et les différentes combinaisons entre nos multiples variables, pour produire de la connaissance en matière de nuisances olfactives au sein de notre territoire régional. Puis, nous avons fait appel à la géomatique afin d'étudier la répartition spatio-temporelle des plaintes, ce qui nous aide à déterminer les espaces les plus touchés, ainsi que le moment où ils l'ont été, à différentes échelles temporelles (jours, mois, années).

1. L'état de l'art

1.1 L'odeur dans les différentes disciplines

Il est difficile de couvrir l'ensemble de ce qui s'est fait dans les disciplines qui de près ou de loin se sont intéressées aux odeurs. Nous avons plutôt pris le parti de présenter à travers quelques articles la façon dont ce thème est abordé, dans chacune d'elles.

1.1.1 Comment parler des odeurs ?

Le linguiste Claude Boisson (1997) a étudié la dénomination des odeurs parmi un échantillon de 60 langues. Certaines odeurs sont particulièrement saillantes (elles se retrouvent dans la majorité des langues). Il s'agit des odeurs de sueurs corporelles, d'urine, d'haleine fétide, de pourri, rance, renfermé, de moisi, brûlé, roussi, de poisson, de viande fraîche, des odeurs fortes d'animaux, liées à l'humidité, et enfin d'excréments. Il constate cependant des **variabilités interculturelles** qui sont dues selon lui aux **différences de climats** : « de ces différences climatiques dépendent par exemple une plus ou moins grande tendance à la pourriture, à l'altération des aliments, d'où peut-être les riches lexiques de l'Inde du sud, de l'Afrique subsaharienne, du Pacifique ».

Néanmoins, le domaine de **l'olfaction se caractérise généralement par une pauvreté lexicale bien connue, surtout si on la compare avec le lexique particulièrement riche de la vision, et notamment des couleurs.**

Cela est surtout vrai pour notre culture occidentale, car dans certaines cultures comme celle des Jahai la langue des chasseurs-cueilleurs de la péninsule Malaisienne, « Ils n'utilisent pas de phrases telles que « ça sent la banane ou un morceau de bambou ». À Jahai, il y a environ une douzaine de mots différents pour décrire différentes qualités de l'odorat ». (Majid, 2015. Cité par Levine, 2015).

En fait, « dans le domaine de l'olfaction comme dans bien d'autres, les matrices culturelles mettent en forme nos compétences linguistiques » (Candau, 2016). Ainsi, dans nos sociétés occidentales la pauvreté lexicale du domaine olfactif serait d'origine culturelle (Majid, 2015, cité par Levine, 2015, Candau, 2020). Joël Candau et Agnès Jeanjean dans leur article « des odeurs à ne pas regarder » paru en 2006, soulignent le déficit et l'instabilité lexical chez des professionnels (égoutiers, employés de la morgue, employés de stations d'épuration, fossoyeurs, infirmières hospitalières, médecins légistes, pompiers, thanatopracteurs) exposés à des odeurs désagréables. Ils essaient de montrer que la langue française n'a pas un lexique olfactif stabilisé comparable à celui des couleurs.

Dans les relations synesthésiques l'association du sens de l'audition et de la vision *via* par exemple l'évocation de couleurs à partir de sons (Rosenthal, 2011) est beaucoup plus fréquente que l'association de ces sens, ou bien d'autres, avec l'olfaction. La valeur du sens de l'odorat est estimée à seulement 3% (estimation qui a été faite par l'Association Médicale Américaine en 1993) en vue de la compensation financière liée à la perte d'odorat (anosmie), alors que la vue est estimée à 85%. Ceci alors **que l'espace psychologique olfactif est beaucoup plus complexe que l'espace psychologique visuel.**

Selon Buck (1949), **on décrirait presque toujours une odeur en nommant l'objet qui l'a émis** : l'odeur d'une rose. Ainsi, « Force nous est alors de reconnaître que l'odeur comme objet psychologique n'est pas une dimension aussi abstraite que la couleur. Si on considère que cette dernière a acquis dans notre culture le statut objectivé d'une dimension indépendante des objets supports, tel n'est pas le cas pour **le domaine olfactif qui reste cognitivement** (à la fois aux plans individuel et collectif, psychologique et linguistique) **dépendant de la source et de son contexte** » (Dubois et Rouby, 1997).

Boisson remarque également que si une odeur est forte, elle est en général déplaisante (lien assez net entre l'intensité de l'odeur et le rejet de celle-ci). Selon lui, **lorsque nous cherchons à décrire une odeur, la variable « hédonique » est la plus**

importante, suivie par l'intensité, le déploiement temporel, le volume qui correspond à la diffusion d'une odeur dans une zone, et ceci indépendamment de son intensité. Certaines odeurs semblent également apportées par les vents « *wind-blown fragrance, wafted fragrance, pour mäpu et moani en hawaïien* ». Il ressort de cette étude une **très grande importance du lexique olfactif négatif et la saillance de certaines odeurs** : pourri, brûlé que l'on retrouve fréquemment dans notre *corpus* de plaintes, et qui selon Boisson correspondent à un stimulus que l'être humain doit fuir, voire supprimer.

Selon Kleiber (2011), les odeurs sont un sujet nouveau en linguistique. Pour les linguistes, les sémanticiens, ce sujet est attrayant, stimulant, mais difficile, car la principale caractéristique des odeurs est de ne pas donner lieu à des dénominations, c'est-à-dire, il n'y a pas de noms d'odeurs comme il y a des noms de couleurs : les odeurs « n'ont pas de noms » et **l'olfaction est « un sens sans paroles »**. Le vide lexical olfactif ne concerne pas seulement la civilisation occidentale, mais il toucherait la langue des autres civilisations dites « exotiques ».

Cela peut s'expliquer par le fait que **les odeurs ne seraient pas si importantes dans la vie de l'être humain comme peuvent l'être les sens visuel et acoustique qui sont pour nous les premières sources d'orientation dans l'espace⁵. De plus, si les stimuli visuel ou acoustique possèdent des paramètres qui permettent de les caractériser : la fréquence ou son corollaire dans le milieu considéré, la longueur d'onde, l'amplitude de l'onde, la forme de l'onde, les molécules odorantes ne peuvent pas être classifiées selon des propriétés physiques et chimiques, d'où l'instabilité de la catégorisation et du lexique des odeurs.**

L'absence de noms exacts d'odeurs (contrairement aux couleurs) est compensée par les noms des sources d'odeurs (odeur de citron, odeur de poisson...). Ainsi, les plaignants, nous le verrons, ont tendance à utiliser les sources pour décrire les odeurs nauséabondes : poubelle-s- (1 238), hydrocarbure-s- (628), chimique-s- (423).

⁵ En effet, le mammifère nouveau-né peut orienter sa tête vers l'odeur qui l'intéresse, en l'occurrence celle du lait maternel ou de certaines substances volatiles qui se trouvent dans ce lait (Schaal, Candau 2019)

La variabilité interculturelle observée dans le domaine de l'odeur a conduit des anthropologues à investiguer ce domaine.

1.1.2. Une anthropologie des odeurs

Joël Candau (2016) présente un état des lieux de l'anthropologie des odeurs après une vingtaine années d'étude et de recherche sur ce sujet. Les anthropologues qui s'intéressent aux odeurs se demandent « s'il faut parler d'une anthropologie des odeurs, des odorants, de l'odorat, ou bien d'une anthropologie de l'olfaction » ? Pour répondre à cette question, l'auteur avance l'idée d'une « chaîne causale » qui commence par le stimulus (l'odorant) qui est, ensuite, traité par l'odorat ou l'olfaction, pour être enfin traduit en odeur. L'auteur indique qu'il est impossible pour un chercheur de parler de l'odorant sans parler de l'olfaction et de l'odeur, c'est pourquoi il fait le choix de privilégier une **anthropologie des odeurs**.

Selon lui, l'anthropologie des odeurs a pour mission de « combattre **quatre idées reçues** » concernant :

1. La nouveauté de ce domaine de recherche, due à la dévaluation de ce sens par rapport aux autres, et notamment par rapport à la vue et l'ouïe, car l'anthropologie des odeurs est plus ancienne qu'on ne le pense. Ainsi, il évoque les « données recueillies lors de l'expédition de 1898 dans les îles du détroit de Torres dirigée par le zoologue et anthropologue Alfred Cort Haddon ». Ces données ont été publiées en 1903 par Myers et McDougall. Dans le même livre, nous apprenons ainsi que parmi les premières sensations des voyageurs posant le pied sur les nouvelles terres, celle de l'odorat aigu des aborigènes était fréquemment reportée, comme les Somaliens, selon lesquels, leur sens de l'odorat « est égal à celui des meilleurs chiens sportifs ». Les auteurs citent, aussi, la publication de Hyades de 1891, dans

laquelle il décrit la faiblesse de l'odorat des autres aborigènes, comme les Fuegians et les Soudanais (Dinkas).

2. Le problème de considérer *l'homo sapiens* comme une **espèce microsmate**, car l'odorat est un sens utilisé dès notre naissance, puis tout au long de notre vie. Ainsi, un nouveau-né est capable de discriminer l'odeur du sein de sa mère dès le sixième jour. Il indique, aussi, que l'homme peut percevoir 10 000 odeurs (Crocker et Henderson 1927, cité par Magnasco et *al.*, 2015) et même distinguer un trillion de stimuli olfactifs (Bushdid et *al.*, 2014). En outre, « l'odeur occupe une place importante dans nos activités quotidiennes (alimentation, cosmétiques, interactions sociales, identification de substances éventuellement toxiques).

3. L'absence d'odeurs dans nos sociétés contemporaines, ou ce que l'on appelle « **le silence olfactif** ». Nous vivrions dans un environnement « odoriphobe », menant ainsi une traque aux « mauvaises odeurs » supplantées par un environnement « d'odeurs propres ». Même si, comme nous le montrerons, de fortes odeurs sont toujours présentes aux abords de certains complexes industriels.

4. Le manque de langage naturel des odeurs, ou **la pauvreté du lexique olfactif**, qui serait de plus, imprécis et instable, et où les catégorisations seraient grossières, propres à notre culture occidentale, alors que d'autres cultures telles que la communauté Jahai en Malaisie trouvent plus facile de nommer une odeur qu'une couleur (Majid et Burenhult, 2014).

L'auteur énonce, dans la dernière partie de son article, **trois axes de recherches qui sont selon lui, les plus dynamiques dans le domaine de l'anthropologie des odeurs. Le premier axe concerne la description et la catégorisation des odeurs** qui nécessite une vérification du *corpus* existant (malgré sa pauvreté qui doit être questionnée). L'existence de cultures olfactives (les parfumeurs, ou bien encore les

œnologues) suppose quand même la réussite d'une dénomination des odeurs dans diverses cultures et professions. En outre, la dénomination précise d'une odeur permet sa catégorisation, même si pour André Holley (1999) il s'agit là, plutôt de « pseudo-catégories » ou de « catégories peu rigides » pour lesquelles « le consensus des locuteurs est rarement acquis ».

Le deuxième axe, correspond aux savoir-faire olfactifs. Comme tous les autres mammifères, l'être humain utilise son odorat dans la vie quotidienne à des fins essentiellement pratiques (Gilbert, 2008) tels que le contrôle de la nourriture, ou bien encore la détection d'un danger. Ainsi, il existe des savoirs et savoir-faire olfactifs à buts professionnels (les infirmières, les pompiers, les parfumeurs), et dont les compétences olfactives sont très étendues. À tel point que ces savoir-faire olfactifs peuvent être un sujet de patrimonialisation. La Ville de Grasse a par exemple déposé en 2015 auprès de l'UNESCO une demande d'inscription des « savoir-faire liés au parfum en Pays de Grasse » au patrimoine culturel immatériel (PCI) de l'humanité, qu'elle a obtenue en 2018.

Le troisième axe est relatif aux **charges identitaires des odeurs** qui peuvent « tracer des frontières, qualifier certains espaces et nous renseigner sur l'activité et l'identité d'un lieu » (Dulau, 1998).

Dans un autre article (Candau, Wathelet, 2011) les auteurs abordent la question de la **catégorisation des odeurs du point de vue ethnographique**. La **catégorisation est un moyen de comprendre le monde**, selon Lakoff et Johnson (1985). **Deux types de catégorisation** sont bien connus : la catégorisation **classique** (aristotélicienne) et la catégorisation **roschienne**, dominante depuis les années 70.

La catégorisation classique regroupe des éléments qui possèdent des caractéristiques identiques, les auteurs donnent l'exemple de la catégorie « chaise » : « Si l'objet qui est devant nous a un siège, un dossier et quatre pieds, alors c'est une chaise ». Cette théorie est jugée insatisfaisante par les chercheurs et elle a été

remplacée par la théorie roschienne, suite aux travaux de Rosch dans les années 70 (Rosch, 1973).

La théorie roschienne se caractérise quant à elle par une multitude de concepts (prototype, économie cognitive, dimensions verticale et horizontale, structure du monde perçu, parcimonie linguistique), les auteurs de l'article ont mis les odeurs à l'épreuve de cette théorie.

La prototypicalité indique que les sujets vont décrire des odeurs en utilisant des éléments proches de ce qu'ils connaissent, par exemple « Un œnologue, évoquera des odeurs qui sont un peu de la même famille que les odeurs de bouchon » ou « des odeurs de la famille d'un oignon », ou bien encore « de la famille de l'ail ». Cet air de famille n'est pas rattaché à une odeur fondamentale comme les couleurs peuvent l'être. Ainsi, s'ajoute le problème de choisir entre une odeur primaire ou « focale ». **Les chercheurs donnent l'exemple de la catégorie « florale » et posent la question suivante : qui représente mieux cette catégorie, une rose, une pervenche ou bien un jasmin ?**

Les auteurs expriment leur incertitude à propos de ce qui est réellement catégorisé (notamment du point de vue anthropologique). Certes, l'odeur est la représentation cognitive de l'odorant, mais nous constatons une confusion entre l'odeur et l'odorant même. Par exemple, concernant l'« odeur de rose » nous parlons de la source « rose » et non des molécules odorantes de la rose. Nous constatons encore une fois que **la dénomination des odeurs est en lien direct avec les sources**. Dans les pratiques culinaires, les auteurs expliquent que l'identification de l'odeur ne se réfère pas à une catégorisation bien définie, mais plutôt à son apparition, qu'ils appellent le *cheminement perceptif* « Du beurre noisette pour mélanger avec des blancs d'œuf, faire fondre le beurre dans une casserole à feu vif jusqu'à ce que vous sentiez une odeur de noisette ».

Les auteurs expliquent que l'économie cognitive peut être riche avec une abondance catégorielle, notamment si l'odeur est liée à la source, ou bien pauvre au niveau de la catégorisation dès que nous privilégions les autres caractéristiques de

l'odeur : intensité (fort, faible), familiarité (connu, inconnu), hédonique (agréable, désagréable).

Les dimensions verticale et horizontale, dans le domaine des couleurs le déplacement de l'abstrait vers le moins abstrait est plus facile que dans le domaine des odeurs. Prenons l'exemple suivant cité pour les odeurs :

Coloré --->rouge --->vermillon

Odeur : odorant --->floral --->jasmin

Odeur : odorant --->fruité --->citronné

Odeur : odorant --->animal --->chien mouillé

Odeur : odorant --->épicé -->poivré

Odeur : odorant --->végétal --->foin

Le vermillon est l'un des composants de la couleur rouge, il s'agit d'une lignée sémantique avec des relations d'implication entre propriétés, ce qui permet de catégoriser facilement les couleurs. La tâche est plus difficile pour les odeurs, prenons l'exemple du jasmin qui n'appartient pas nécessairement au floral, mais que nous pouvons identifier dans un cuir. Dans ce cas nous pourrions catégoriser, attribuer, l'odeur de jasmin soit au domaine du floral, soit à celui de l'animal. Ainsi, les catégories d'odeurs ne s'alignent pas verticalement seulement, mais nous pouvons trouver des chevauchements horizontaux entre les composants de ces catégories.

De plus, il ne faut pas oublier le contexte de l'énonciation d'une odeur, car la catégorisation est liée à « la source de l'odeur, d'un souvenir, du contexte physique et social et, notamment, des normes qui encadrent les jugements perceptifs » (Largey et Watson 1972, Corbin 1982, Albert, 2007).

De la structure du monde perçu, les auteurs expliquent les difficultés à « découper » les odeurs et les couleurs en unités discrètes dues au caractère holistique de la perception. Pour mieux comprendre cette idée, ils donnent l'exemple d'une

femme décrivant l'odeur des enfants : « Odeur de bébé = couches sales + lait caillé + Mytosil ».

Parcimonie linguistique, beaucoup d'odeurs restent à un niveau infra-verbal. Elles ne sont pas nommées. Les auteurs donnent deux raisons principales. La première, de nature neurophysiologique : **l'homme traite plus d'informations olfactives par les voies sensorielles que par les facultés cognitives supérieures**. Ainsi, Holley (1999) a expliqué « Il est, après tout, compréhensible, que la langue n'ait pu individualiser par un terme spécifique, chacune des sensations que fournit le monde olfactif, parce qu'il y en a beaucoup trop ». La deuxième concerne le lexique olfactif qui n'est pas stable, car nommer une odeur et la mémoriser n'est pas aussi facile que de décrire une couleur. Les auteurs en concluent que la catégorisation des odeurs « demeure relâchée ».

Annick Le Guéner, (2017) rappelle que les philosophes, les moralistes, des psychanalystes ont qualifié l'odeur comme un sens lié au plaisir, inutile à la connaissance. Platon et Aristote pensent que l'odorat est un sens moins « noble » par rapport aux sens de la vue et de l'ouïe. Descartes le considère comme grossier. Kant le juge comme un sens ingrat, antisocial, qu'il vaut mieux ne pas développer parce qu'il occasionne plus de déplaisirs que de plaisirs et qu'il est sans-gêne, contraire à la liberté. Il le considère aussi comme une forme de **goût à distance**. Schopenhauer affirme que c'est un sens inférieur. Hegel, qu'il est incapable de donner naissance à un art. Au début du XXe siècle, le philosophe allemand Georg Simmel l'accuse même d'être le sens antisocial par excellence. En fait, renifler les odeurs des autres révélerait quelque chose de malsain ⁶. Freud établit même un lien entre l'apparence de la civilisation (la rupture avec l'animal) et le recul du rôle de l'odorat dans la vie des êtres humains.

Le lexique olfactif est caractérisé par sa pauvreté et surtout son imprécision, bien que ce ne soit pas vrai de plusieurs langues non occidentales (Majid, 2015. Cité

⁶ <https://www.artshebdomedias.com/article/070915-entretien-avec-chantal-jaquet-odorat-de-la-sensation-la-creation/>

par Levine, 2015). Les parfumeurs, par exemple, parlent de parfums « chauds », « verts », « stridents », « vibrants », « sombres », « clairs », « aigus ». Annick Le Guérer (2017), indique que la réhabilitation des odeurs a commencé à partir des années 80 avec l'apparition d'œuvres telles que *Le miasme et la jonquille* d'Alain Corbin, *Les effluves du temps jadis* de Piero Camporesi, *Le parfum* de Patrick Süskind, *Le nez des philosophes et les pouvoirs de l'odeur* d'Annick le Guérer, et l'obtention du prix Nobel de physiologie et de médecine par deux chercheurs américains, Linda Buck et Richard Axel, en 2004, pour leurs travaux qui ont mis en évidence les mécanismes de l'olfaction.

Il est évident que notre langage utilise des métaphores pour décrire le contact et la relation entre les individus de la société : « avoir quelqu'un dans le nez », « ne pas pouvoir le sentir », « qu'il fourre son nez partout ». Jean-Paul Sartre a décrit l'odeur de l'autre lors d'un contact direct et intime : « l'odeur de l'autre, c'est ce corps lui-même que nous aspirons par la bouche et le nez, c'est la fusion du corps de l'autre à mon corps » (Wolton, 2016).

Les odeurs ont servi à stigmatiser des catégories sociales ou professionnelles, comme par exemple la propagande sur l'odeur fétide des Allemands qui s'est développée pendant la Première Guerre mondiale (Courmont, 2010). Elles peuvent être au contraire perçues comme un moyen de s'assurer de l'attirance entre les êtres. Ainsi, la psychanalyste Françoise Dolto demandait aux couples qui envisageaient de se marier si leurs odeurs s'accordaient (Le Guérer, 2017).

Après la présentation du rôle de l'odeur dans le contact et la relation entre les êtres, Annick Le Guérer passe en revue les effets des odeurs dans différents domaines tels que :

- La santé, où les odeurs sont utilisées pour identifier des maladies (cancers, Parkinson...) ⁷. À l'hôpital Raymond-Poincaré de Garches des odeurs de “ mer, de foin, de bois, de biscuits...” sont cette fois utilisées pour aider les gens qui ont été

⁷ https://www.medecinesciences.org/en/articles/medsci/full_html/2019/02/msc180226/msc180226.html

dans le coma à retrouver la mémoire. Même chose dans les prisons (prison de Fresnes), où les odeurs sont exploitées pour soulager les prisonniers de leur enfermement.

- Le marketing olfactif qui consiste à créer un lien ou une émotion avec les clients dans le but de les encourager à acheter des produits. Il se base sur la diffusion d'effluves spécifiques pour chaque métier (odeur de croissants par exemple à proximité du rayon boulangerie).
- L'éducation et la culture : des livres et des jeux odorants (par exemple, *le loto des odeurs*).
- Parfum et musique : la diffusion d'odeurs pendant les fêtes musicales dans le but d'étudier l'influence d'odorants sur l'écoute musicale. Citons à ce sujet, le projet pluridisciplinaire Oddo-jazz dirigé par Martine Adrian-Scotto qui consiste à combiner odeurs et musique. En 2014, et pendant la Fête de la Science, des mélanges odorants créées à Grasse ont ainsi été diffusées pendant un concert ⁸.
- Parfum et arts plastiques avec l'exemple du plasticien Boris Raux ⁹ qui utilise dans ses œuvres le savon de Marseille ou de la poudre de lessive agglomérée (cf. ci-dessous).



Figure 1. L'escalier (v.1), savons de Marseille installation, 2004 Galerie Le Rire Bleu, Figeac

⁸ <https://www.20minutes.fr/nice/1453919-20141002-nice-concert-jazz-odorant-meler-nez-oreilles>

⁹ <http://www.borisraux.com/index.php?/works/lescalier/>

Nous le voyons de nombreuses disciplines ou domaines s'intéressent aux odeurs. Comment le domaine médical les abordent-elles ? C'est ce que nous allons à présent étudier.

1.1.3 Santé et odeurs

Le domaine médical considère les odeurs à travers **la capacité anatomique olfactive des humains, comparée à d'autres espèces, ou bien à travers celle d'individus qui possèdent une capacité réduite, ou au contraire une surcapacité par rapport à la norme** (McGann, 2017). Pour Paul Broca, neuroanatomiste du 19ème siècle, les êtres humains seraient de mauvais "senteurs" en raison, selon lui, de la petite taille de notre bulbe olfactif comparé au reste du cerveau, et à d'autres mammifères, chez qui ce bulbe est plus proéminent, c'est ce qu'il appelle la microsmatie (faible capacité à sentir). Sigmund Freud lui-même considérerait que cette atrophie olfactive pouvait d'ailleurs rendre les humains plus enclins aux maladies mentales. Cette idée s'est maintenue jusqu'au 20ème siècle et continue encore d'être véhiculée de nos jours par des biologistes, des anthropologues, et des psychologues. S'il est vrai que le système humain possède moins de gènes impliqués dans la réception olfactive que les rats, le cerveau humain aurait, en fait, un bulbe olfactif plus complexe et un cortex orbitofrontal qui permet à l'homme d'être plus sensible à certaines odeurs¹⁰. Ainsi, lorsque des études comparatives sont menées entre les humains et les animaux, les résultats sont biaisés par le type d'odeurs sélectionnées, car les humains ne seraient pas sensibles aux mêmes odeurs que les animaux. De plus, *"Human behaviors and affective states are also strongly influenced by the olfactory environment, which can evoke strong emotional and behavioral reactions as well as prompting distinct memories"* (McGann, 2017). Le système olfactif humain est en fait

¹⁰ https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/chiens/en-matiere-d-odorat-le-nez-de-l-humain-vaudrait-bien-la-truffe-de-son-chien_112897

très évolutif, très plastique *“Olfactory sensitivity and discrimination abilities can be changed by experiences like environmental odor exposure or even just learning to associate odors with other stimuli in the laboratory”*. En outre, comme les animaux *“the role of olfactory communication in shaping social interactions is also actively being explored, including the social spread of emotion through olfactory cues”* (McGann, 2017).

Dans l'article de Tali Weiss et *al.* (2019) les auteurs ont découvert que : **l'être humain pourrait sentir sans posséder de bulbe olfactif apparent**. Nous savons que **le bulbe olfactif joue le rôle d'intermédiaire entre le monde externe et les autres parties du cerveau qui analysent les molécules odorantes qui nous entourent**. Si le bulbe olfactif est atrophié, voire absent, cela peut représenter un handicap dans la connaissance olfactive. Cependant, une étude a montré que des rats ayant subi une bulbectomie bilatérale ont gardé leur capacité olfactive (Wright et Harding, 1982). Une autre étude estime que les neurones récepteurs olfactifs des rats ont formé des "structures semblables à des glomérules" dans le cortex (Slotnick et *al.* 2004). Cela peut s'expliquer par le fait que les mammifères seraient dotés d'autres sous-systèmes chimiosensoriels qui peuvent jouer le rôle de systèmes olfactifs : le nerf trijumeau, l'organe voméronasal et les organes de Grueneberg et Septal, qui peuvent tous traduire des signaux chimiques (Ma, 2010).

Chez l'être humain, le volume du bulbe olfactif peut être réduit à cause de la diminution de la performance olfactive (Mazal et *al.* 2016), ou bien en raison de l'absence totale du bulbe olfactif dès la naissance, ce qui provoque l'anosmie congénitale (Rombaux et *al.* 2009). Les auteurs, (Weiss et *al.* 2019), sont frappés par la découverte d'une **femme gauchère, de 29 ans, qui ne possède pas un bulbe olfactif** (figure 2 -NBA2) **mais dont le sens de l'odorat est intact**.

Ils ont donc décidé de comparer cette femme, avec une autre, âgée de 33 ans (figure 2 - NAB-CA), souffrant d'une anosmie congénitale du fait d'une absence du bulbe olfactif depuis la naissance (Rombaux et *al.* 2009). Puis, ils ont comparé, ces deux

sujets avec un groupe de 18 jeunes femmes gauchères et âgées de 25,9 ans \pm 3,1 ans. En examinant ce groupe de 18 femmes ils sont tombés sur un autre cas qui ne possédait pas un bulbe olfactif et qui était elle aussi gauchère (figure 2 - NAB1). L'IRM a clairement montré que les bulbes olfactifs des individus sains mesurent entre 58 mm³ et 57 mm³ (figure 2- A). Afin de confirmer ces résultats, les chercheurs ont réalisé d'autres IRMs pour la femme de 26 ans en utilisant une imagerie à ultra-haute définition 3D. Les IRMs ont montré que son bulbe olfactif n'occupait que 0.18 % du volume normal et comptait à peine 10 glomérules (contre 5 500 glomérules pour un individu sain). Puis, ils ont testé l'odorat de 4 femmes en utilisant 3 molécules odorantes : PEA (alcool phényl-éthylrique, utilisé notamment en parfumerie et en produit cosmétique), du limonène (un composant des huiles essentielles), et l'acide isovalérique (composant de l'urine de chat). Les résultats sont étonnants, car les femmes, qui ne possèdent pas de bulbes olfactifs, ont le même odorat que les autres femmes « normales ». Les chercheurs ont effectué d'autres tests en augmentant le nombre de participantes. Ils en arrivent à la conclusion que les femmes qui ne possèdent pas de bulbes olfactifs sont généralement gauchères et possèdent la même empreinte olfactive perceptuelle.

Plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer ces observations :

1. Le bulbe olfactif aurait migré vers le cerveau à cause d'une anomalie de développement,
2. Certains glomérules ont trouvé le moyen de s'installer dans le cortex pour assurer les fonctions olfactives,
3. Le bulbe olfactif de ces femmes peut être invisible même avec des analyses à haute résolution,
4. Le nerf trijumeau peut compenser l'absence du bulbe olfactif et peut assurer les fonctions olfactives,
5. Les mécanismes de codage de l'olfaction humaine diffèrent de ceux des rongeurs, permettant ainsi des facettes olfactives de base sans bulbe olfactif.

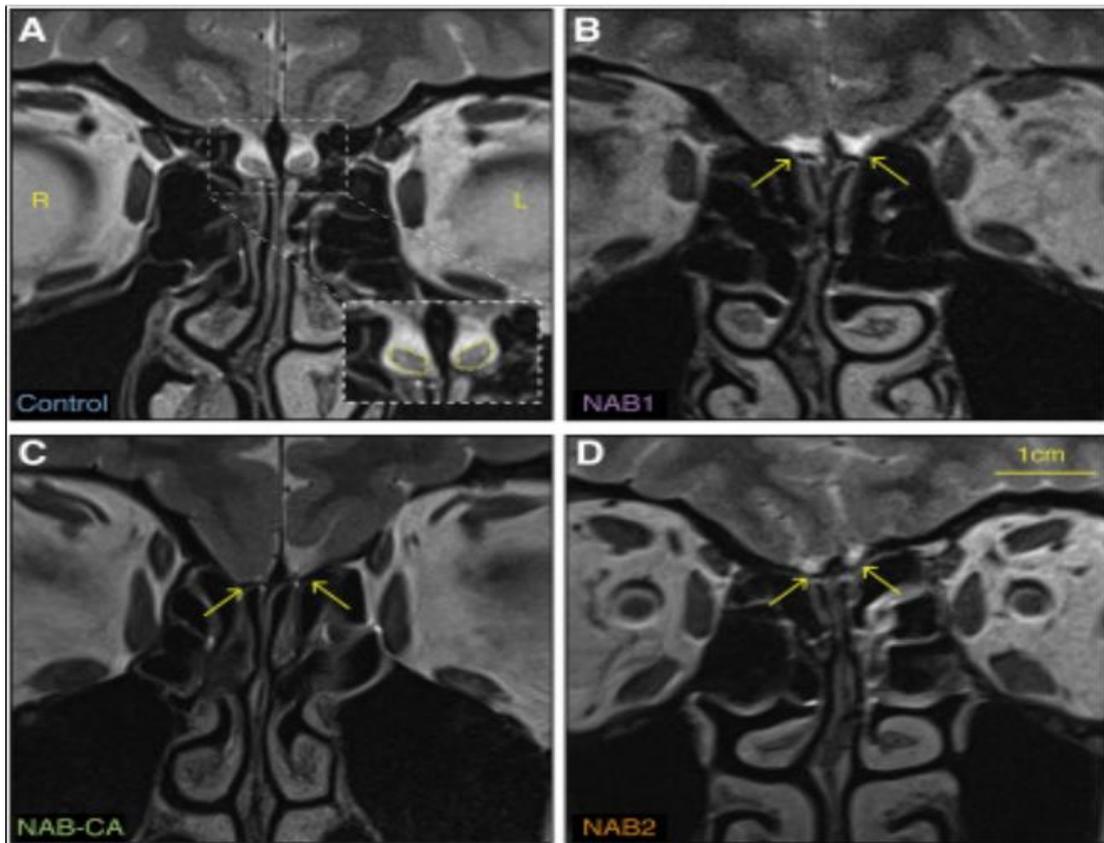


Figure 2. Les IRMs des différents patients soumis à l'expérimentation. Source : Weiss et *al.*, 2019

A : IRM d'un individu sain avec bulbe olfactif droit et gauche apparents

B : NAB1, patiente de 26 ans sans bulbe olfactif apparent

C : NAB-CA, patiente de 33 ans atteinte d'anosmie congénitale, avec absence totale de bulbe olfactif

D : NAB2, patiente de 29 ans sans bulbe olfactif apparent

Les flèches jaunes indiquent l'emplacement des bulbes olfactifs manquants

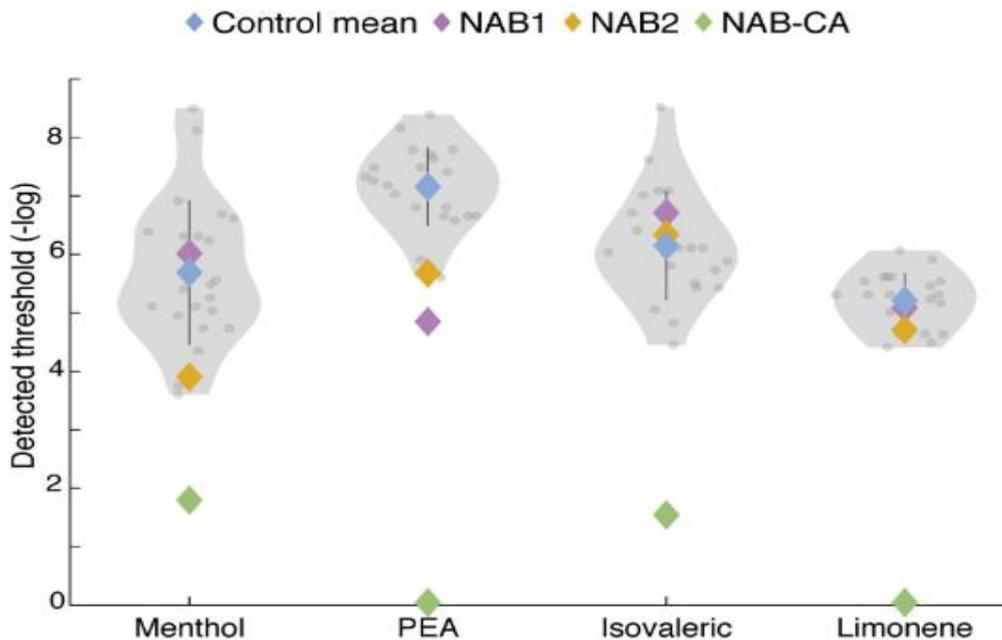


Figure 3. Le niveau de détection des odorants par les sujets. Source : Weiss et *al.*, 2019

Dans un autre registre, l'article de Dahmani et *al.* (2018) aborde la relation entre l'odorat et la navigation spatiale. Puisque la plupart des animaux utilisent les odeurs pour se repérer dans leur environnement, les auteurs émettent l'hypothèse que l'être humain utiliserait lui aussi son odorat pour s'orienter. Selon cette étude, il existerait même une **corrélation entre la mémoire spatiale et la finesse de l'odorat**. Les chercheurs ont ainsi étudié les **capacités olfactives** et le sens de navigation de 57 participants qui ont navigué pendant 20 minutes dans une ville virtuelle, mais composée de lieux reconnaissables (des écoles, des commerces...). Les participants devaient ensuite reconnaître 40 odeurs et les identifier parmi une liste déjà établie (odeur de fraise, de cannelle...).

L'IRM a montré que les participants qui arrivent à s'orienter et à reconnaître les odeurs facilement possédaient un hippocampe droit (la mémoire spatiale, O'Keefe & Nadel, 1978) généralement plus gros, et le cortex orbitofrontal médian gauche plus épais. Les auteurs ont procédé à une autre expérience afin de valider le résultat : ils ont fait les mêmes tests avec 9 patients ayant subi des lésions dans le cortex

orbitofrontal médian, et ils ont constaté que ces patients ont des déficits à la fois au niveau de l'odorat et de la mémoire.

Dans un autre registre, **certaines maladies modifieraient les odeurs corporelles**. Une britannique de 65 ans, Joy Milne, a constaté un changement d'odeur (légèrement musquée) de son mari plusieurs années avant qu'il ne développe la maladie de Parkinson. Elle parvient à identifier des gens malades à partir de l'odeur de leurs habits. Les chercheurs l'ont surnommée « super nez ». Cela permettrait de détecter et donc traiter plus tôt les maladies. Une expérience a été réalisée dans laquelle 200 personnes ont été choisies, certaines souffrant de la maladie de Parkinson et d'autres pas. Les prélèvements ont été examinés au niveau moléculaire, ainsi que par Joy Milne et une équipe spécialiste en odorat. Des chandails de patients parkinsoniens ont été récupérés par les chercheurs afin d'exploiter le sébum présent dans leur chandail. Les chercheurs ont suivi différents protocoles (chauffer les chandails à 60°C pour séparer les molécules, puis injecter les molécules odorantes ainsi récupérées dans une colonne de chromatographie) (Lacroix, 2019). Les résultats indiquent que la maladie est caractérisée par 17 molécules odorantes. L'odeur principale dégagée par cette maladie est bien le musc. Elle serait due à un déséquilibre de la flore bactérienne, conséquence de la maladie.

Selon Joy Milne, **chaque maladie émettrait des effluves particulières**, vanillée pour la maladie d'Alzheimer, végétale voire terreuse pour les différents cancers. Lors d'une visite humanitaire en Tanzanie, elle serait parvenue à détecter des cas de tuberculose à partir de salives ¹¹.

Ainsi, lors de maladies graves les odeurs corporelles peuvent parfois se modifier. En effet, le corps malade libère dans le sang des composés organiques volatils (COV), qui seraient exhalés par l'haleine, l'urine, la sueur ¹², etc. Depuis 1989, des chiens sont utilisés pour détecter le diabète (molécule de l'acétone dans l'haleine des patients), ou

¹¹ <http://www.slate.fr/story/174405/joy-milne-femme-odeur-maladie-parkinson-nez>

¹² https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cerveau-et-psy/parkinson-detecter-la-maladie-a-partir-de-l-odeur-corporelle_29701

bien encore le cancer du sein, et plus récemment la Covid-19. Depuis une dizaine d'années, des nez électroniques, constitués de réseaux miniaturisés de capteurs chimiques à large spectre ¹³, permettent de détecter la tuberculose, différents types de cancers, certaines pathologies neurodégénératives, la mucoviscidose, et ce, en analysant les composés organiques volatils (COV) dégagés par l'haleine (Pajot, 2019).

Le domaine médical aborde donc les odeurs d'un point de vue physiologique, ou afin de détecter plus précocement des maladies.

Parmi les autres disciplines qui s'intéressent de près à la question des odeurs il y a bien entendu la chimie. À Nice, le GDR 03, (groupe de recherche du CNRS)¹⁴, créé à la demande du CNRS par des chercheurs de l'Institut de Nice en 2015, de façon à fédérer l'ensemble des recherches menées en France en matière d'odorants, odeurs, olfaction. Nous n'allons pas aborder ici tous les aspects qui sont traités dans ce GDR, mais juste présenter à travers quelques exemples comment les chimistes peuvent s'emparer du sujet.

1.1.4 La chimie des odeurs

Dans l'article « De la molécule à l'odeur : Les bases moléculaires des premières étapes de l'olfaction », (Meierhenrich et *al.*, 2005) expliquent les raisons pour lesquelles, selon eux, l'odorat a été un sens longtemps méconnu. Tout d'abord, la communication entre les hommes se fait par les signes et les paroles (vue et son). L'odorat a longtemps été considéré comme un sens mineur, nous l'avons vu précédemment, ramenant l'Homme à son animalité. De plus, **les stimuli pour la vision et l'ouïe (sens physiques) peuvent être décomposés en ondes**, qui sont faciles à décrire et à caractériser (fréquence, longueur d'onde, amplitude, forme de l'onde...),

¹³ https://www.medecinesciences.org/en/articles/medsci/full_html/2019/02/msc180226/msc180226.html

¹⁴ <http://www.gdr-o3.cnrs.fr/>

alors que **pour l'odorat les stimuli sont plus complexes, de l'ordre de l'interaction entre plusieurs substances chimiques.**

Les auteurs décrivent la relation entre la structure de la molécule odorante et la perception olfactive. **Pour qu'une molécule soit traitée par le système olfactif, les critères suivants sont indispensables : le poids de la molécule doit être modéré, avec une polarité faible et une certaine solubilité dans l'eau.** Il faut noter que presque toutes les molécules volatiles sont odorantes.

Les études montrent que **les molécules qui ont des structures similaires ont souvent des odeurs voisines**¹⁵. Cependant, une petite modification dans la structure moléculaire peut changer totalement la perception olfactive. De plus, d'autres structures qui sont différentes ont des odeurs identiques (c'est le cas en particulier de certains macrocycles et des composés nitrés à odeur de musc), comme :

. Les stéréo-isomères qui ont la même formule de constitution (formule semi-développée), mais qui diffèrent par l'agencement spatial (ou configuration spatiale) de leurs atomes.

. Les énantiomères « Chacun des deux stéréo-isomères d'une molécule chirale dont l'un est l'image de l'autre dans un miroir ». (Panico et *al.*, 1995, cité par Sardou, 2014). Mais, malgré la similitude des composants de deux énantiomères, il se peut qu'ils n'aient pas les mêmes propriétés olfactives, comme nous pouvons le voir sur le tableau ci-après.

¹⁵ Il est très difficile de définir une relation « structure odeur » pour les molécules odorantes

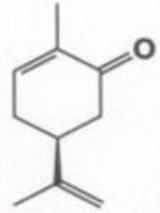
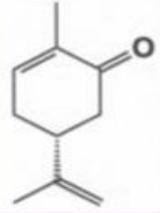
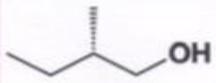
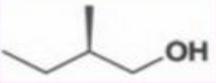
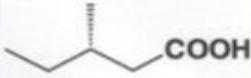
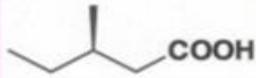
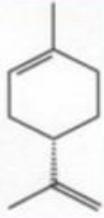
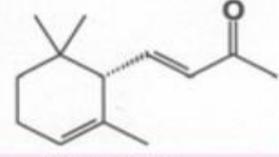
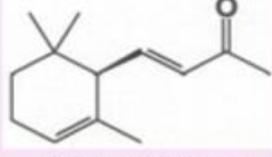
 <p>(4S)-(+)-carvone herbacée, graines de carvi</p>	 <p>(4R)-(-)-carvone menthe verte</p>
 <p>(S)-(-)-2-méthyl butan-1-ol frais, éthéré</p>	 <p>(R)-(+)-2-méthyl butan-1-ol fermenté, gras</p>
 <p>Acide (S)-(+)-2-méthyl butanoïque doux, fruité</p>	 <p>Acide (R)-(-)-2-méthyl butanoïque fromage, transpiration</p>
 <p>(S)-(-)-limonène citron, térébenthine</p>	 <p>(R)-(+)-limonène orange</p>
 <p>(S)-(-)-(E)-α-ionone boisée, bois de cèdre</p>	 <p>(R)-(+)-(E)-α-ionone fruitée, framboise</p>

Tableau 1. Exemples d'énantiomères ayant des odeurs différentes. Source : Meierhenrich et al., 2005

Plusieurs théories ont été avancées pour expliquer l'interaction entre molécules odorantes et système olfactif. La théorie de la vibration avancée par Dyson (1938) essaie d'expliquer ce phénomène par la diffusion des molécules odorantes à travers la membrane olfactive. Selon une seconde théorie, dite de la polarisation ou piézo-électrique, la manifestation d'un signal électrique est émise lors de la détection d'une ou de plusieurs molécules odorantes par la protéine réceptrice présente sur le cil du neurone olfactif. Les signaux convergeraient alors vers le bulbe olfactif pour être transmis jusqu'au cortex olfactif afin de les décoder (Rouaï et Trapes, 2006). **Le**

système olfactif transformerait, coderait alors les molécules odorantes en odeurs. Malgré le fait que notre système olfactif soit moins développé par rapport à d'autres êtres vivants, il « **se révélerait néanmoins être un détecteur des molécules odorantes plus sensible que la plupart des capteurs physico-chimiques connus** ».

Les chimistes s'intéressent donc entre autres à la compréhension des interactions entre les molécules odorantes et notre système olfactif. Voyons à présent, via des travaux d'historiens, leur apport à cette thématique, et notamment comment les odeurs ont été présentes et ressenties au fil du temps.

1.1.5 Les odeurs au fil du temps

A la **préhistoire**, les odeurs nauséabondes seraient selon les chercheurs « paradoxalement » quasi absentes. Les hommes préhistoriques n'avaient pas de problème de déchets, car ces déchets sont « des silex cassés, des cendres de bois, des restes de nourriture, des armes devenues inutilisables, ils les abandonnent dans leurs grottes quand bien même ils encombrant peu à peu leurs espaces de vie. Lorsque ces derniers en sont envahis, ils partent à la recherche de nouveaux abris » (De Silguy, 1996). Ce n'est qu'au Néolithique, avec la sédentarisation, que les déchets commencent à poser problème. Plusieurs techniques sont déjà utilisées comme l'enfouissement, le brûlage, tandis que certains déchets sont donnés en pâture aux animaux domestiqués (Béguin, 2013). Généralement, à cette époque, les déchets générés par les êtres humains se décomposent facilement dans la nature.

L'antiquité est connue pour l'émergence de villes, notamment en Orient, dans le courant du IV^{ème} millénaire av. J.-C. Plusieurs milliers d'habitants commencent à se regrouper au sein d'un espace limité. Avec la sédentarisation, mais surtout avec la concentration humaine en un même lieu, le problème des déchets et de leur gestion apparaît sous la forme de détritiques alimentaires, de matières fécales, d'eaux usées. Des espaces particuliers vont être dévolus à cette fonction tels que par exemple la ville de

Çatal Höyük en Turquie qui sert de dépotoir public, tandis qu'à Jérusalem la vallée du Kidron est utilisée comme décharge pour les ordures. À Athènes, au Vème siècle avant J.C, la loi de la Cité interdisait le dépôt de déchets à moins de 2 Km de l'entrée de la ville. C'est également à cette époque que les toilettes publiques sont inventées. La Rome antique a fait face au problème des déchets par l'adoption d'une loi par le sénat, il y a environ 2 000 ans, selon laquelle « *Aerem corrumpere non licet* », c'est-à-dire : « L'air pollué n'est pas autorisé » (Makra et Brimblecombe, 2004). Les habitants avaient la possibilité de se débarrasser de leurs rejets dans des vases en terre cuite, qui étaient ensuite vidangés par des ouvriers (Béguin, 2013). Rome disposait aussi d'un réseau de canalisations d'évacuation des eaux usées vers le « *Cloaca Maxima* », le grand égout (Béguin, 2013). Malgré ces efforts, nous trouvons des descriptions de la pollution qui touche Rome dans les poèmes d'Horace (65 a.v. J.C - 8 a.v. J.C) où il écrit que « les bâtiments romains devenaient de plus en plus sombres de la fumée, et ce phénomène aurait pu être observé dans de nombreuses autres villes anciennes » (Makra et Brimblecombe, 2004).

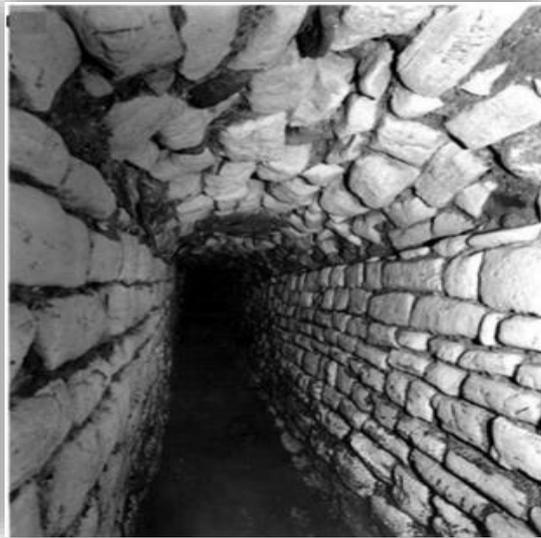


Figure 4. Égout romain (à Narbonne), d'une largeur de 0.70 m, sur 72 m de long, et une hauteur variant entre 1.30 et 1.80 m. Source : Dellong et *al.*, 2003

Le Moyen Âge est connu comme l'époque du « tout à la rue » et par une hygiène quasi-nulle : ordures, excréments, évacuation des eaux usées se font dans les rues, dans une tranchée creusée au beau milieu de celle-ci. Ce net recul de la propreté contribue à la propagation d'épidémies comme la peste noire (1346-1353) qui fut la plus meurtrière (25 millions de morts), (Barry et Gualde, 2008). Philippe Auguste ordonne en 1184 de paver les rues afin de diminuer la stagnation des eaux, des boues, et des excréments, ce qui va un peu atténuer les odeurs nauséabondes dans Paris (De Silguy, 1996). Selon un édit de 1324 dans la ville de Périgueux, « *pour le bon ordre de la ville, il a toujours été observé qu'on ne jetait pas par les fenêtres des eaux fétides et putréfiées qui empoisonnent l'air et les gens du voisinage* » (Leguay, 1999). En outre, **nous trouvons déjà à cette époque des plaintes déposées surtout par les nobles contre des métiers insalubres**. Ainsi, les notables de Béziers demandent en 1345 « qu'une enquête d'*incommodo* soit conduite contre les artisans de la coyaterie » (Leguay, 1999).

En 1506, Louis XII organise, le ramassage des immondices de la capitale et leur évacuation, financés par un impôt spécial qui rencontra l'hostilité de la population. Mais, ce n'est qu'à l'époque moderne que l'intérêt pour l'étude des odeurs et de leurs origines débute véritablement avec les avancées dans le domaine de la chimie et les travaux de Lavoisier (1743-1794), considéré comme le père de la chimie moderne, qui s'intéresse dès 1772 à l'étude de l'air, mais également avec la découverte du chlore par Scheele en 1774 (Lafont, 2007), l'invention de l'eau de Javel par Berthollet en 1777 (Dorveaux, 1929), et celles du masque respiratoire, et de la vaccination contre la variole en 1796 (Riedel, 2005).

Avec la pensée vitaliste de Théophile de Bordeu (1722-1776) et de Paul-Joseph Barthez (1734-1806) « chaque partie organique du corps vivant à sa manière d'être, d'agir, de sentir et de se mouvoir : chacune a son goût, sa structure, sa forme intérieure et extérieure, son odeur, son poids et sa manière de croître » (de Bordeu, 1774). **Chaque organe du corps humain aurait ainsi une odeur spéciale**, « le foie teint de sa bile tout ce qui l'entourne », mais aussi les reins : « prenez garde à l'odeur urineuse qui exhalent les environs des reins » (de Bordeu, 1774).

À la même époque, la pensée sensualiste de John Locke (1632-1704) et d'Étienne Bonnot de Condillac (1714-1780) tente de montrer les influences de l'odeur sur les désirs, les passions, l'amour, la haine, l'espérance, la crainte, et même la volonté. Dans son ouvrage « Traité des sensations », Condillac (1754) étudie chaque sens séparément. Sept chapitres de la première partie sont consacrés à l'odorat.

La lutte contre les odeurs fétides commence par l'identification des lieux les plus odorants qui, à cette époque, sont les hôpitaux et les prisons : l'Hôtel-Dieu notamment dans lequel, s'entassaient en 1788 « 583 malades répartis en 3 salles avec 5 lunettes seulement » (Corbin, 1982). L'hygiène quasi-nulle entraîne de forts taux de mortalité. Face à cette situation, une commission d'enquête (Tenon, Lavoisier, Bailly, Laplace) s'organise sous l'ordre du roi en 1785 et visite les hôpitaux de Paris. Elle conclut dans son bilan que les hôpitaux ne sont pas en mesure de recevoir des malades.

Les prisons sont également dans un état lamentable. Elles ne sont pas entretenues et souffrent d'une surpopulation permanente. Les détenus vivent dans les ordures, souffrent de la faim et du froid. Les taux de mortalité sont très élevés, notamment à cause de la fièvre (le typhus que l'on appelle d'ailleurs la fièvre des prisons) (Petit, 1995). La Commission de l'Académie Royale des Sciences en 1780, conduite encore par Lavoisier, inspecte la prison de Saint-Martin et de Fort l'Évêque, et en déduit que ces lieux sont infectés et putrides (Corbin, 1982).

Dans les rues du centre-ville de Paris s'installent plusieurs métiers qui exhalent des odeurs nauséabondes, telles que les tueries (abattage des bêtes) qui étaient une source continue de saleté et d'émanations nauséabondes jusque dans les rues environnantes, et le long du parcours des troupeaux. En 1770, « Paris dévore quotidiennement 200 à 250 bœufs ou vaches, et 800 à 850 moutons » (Reynald, 1998). À cela, s'ajoutent les teintureries qui utilisent « l'urine putréfiée mélangée au vinaigre pour fixer les couleurs des étoffes et des cuirs » (Poiret, 1998), et le métier de chiffonnier qui ramasse tous les déchets (papiers, os, cuirs) et les entasse dans des entrepôts, ce qui génère des odeurs intolérables contre lesquelles les riverains se révoltent déjà (Poiret, 1998).

Au XVIII^{ème} siècle, la population commence à prendre conscience de son milieu de vie, de son alimentation, et s'inquiète des risques de maladies. En effet, l'idée dominante à cette époque est que les maladies et les pestes mortelles sont le résultat des miasmes et des odeurs fétides émanés par les cadavres, les marécages, les fosses d'aisances. En 1771, le dictionnaire de Trévoux (t. 4, p. 916) définit l'hygiène comme une « partie de la médecine qui traite de la manière de conserver la santé par l'usage convenable des six choses non naturelles bien conditionnées » qui sont :

1. l'air et l'atmosphère en général,
2. les comestibles, et notamment « les aliments tant solides que liquides, pain, viande, eau, vin etc. »,
3. l'activité physique d'une manière générale,
4. le sommeil et la veille,
5. la propreté du corps,
6. et enfin, les loisirs ou « les passions de l'âme ».

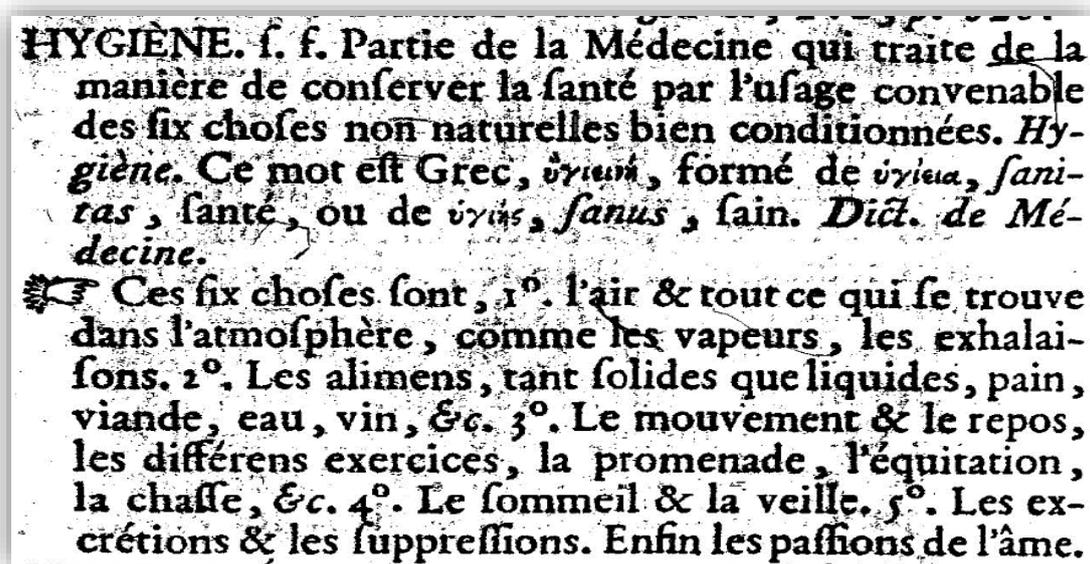


Figure 5. Extrait du dictionnaire de Trévoux 1771 (t. 4 p. 916)

À partir de cette époque, avec « l'intensification des procédures d'alarme mises en œuvre par les spécialistes et destinées à lutter contre l'infection », le seuil de tolérance

olfactive de la population diminue (Poiret, 1998). Les habitants commencent à montrer leur mécontentement face aux odeurs nauséabondes. La lutte contre ces nuisances débute par le déplacement des lieux « puants », tels que les cimetières qui sont à l'origine de plaintes de la part des riverains. Par exemple, le cimetière parisien de la Trinité est à partir de 1672 « devenu si étroit, les inconvénients des sépultures trop nombreuses pour la salubrité du voisinage sont tels, les plaintes des habitants si pressantes, qu'il est décidé d'agir vigoureusement » (Foisil, 1974). La législation Grenobloise agence même les métiers depuis le XVI^{ème} siècle selon leurs émanations olfactives : « boulangers, épiciers, herbiers, imprimeurs, aubergistes, charrons, tonneliers et orfèvres tiennent leur boutique au cœur de la ville, tandis que les faubourgs accueillent les métiers encombrants, bruyants, dangereux, susceptibles d'incommoder par les odeurs, de polluer les eaux, et ainsi de répandre les épidémies : les peausseries, les teintureries, les blanchisseries, les filatures de chanvre, les faïenceries, les scieries et les tuileries-briqueteries » (Poiret, 1998). En 1758, à Paris, pour lutter contre les odeurs puantes des boucheries, les autorités municipales déplacent beaucoup de dépotoirs à l'extérieur de la ville (Watts, 2004).

Dans les années qui suivent, toutes ces découvertes vont jouer un rôle crucial dans l'hygiène de l'intérieur (les établissements, les habitations), et même l'hygiène de l'extérieur (les rues, les jardins). Plus tard (deuxième moitié de 19^{ème} siècle), Louis Pasteur élabore la théorie du germe : les germes en suspension dans l'air sont à l'origine des micro-organismes nouvellement apparus dans les milieux en fermentation, ce qui anéantit la doctrine de la génération spontanée, notion aristotélicienne expliquant la formation des organismes vivants sans ascendants, à partir de matières inertes ¹⁶.

Dans la ville, à **l'époque contemporaine**, de nouveaux plans d'aménagement facilitent l'aération et diminuent les ordures et les eaux usées : Haussmann crée de grands espaces verts tels que le Bois de Boulogne et recommande l'eau potable à chaque étage ; Rambuteau installe 478 vespasiennes en 1834 à Paris ; Poubelle (1883), préfet de la Seine,

¹⁶ <https://www.universalis.fr/encyclopedie/louis-pasteur/3-le-debat-sur-la-generation-spontanee/>

signe le fameux arrêté qui oblige les propriétaires parisiens à fournir à chacun de leurs locataires un récipient muni d'un couvercle qui prendra son nom. En 1894, il ordonne le raccordement obligatoire à l'égout.

La lutte contre les odeurs nauséabondes continue dans les décennies suivantes, notamment avec les progrès scientifiques (chimie, médecine) et les réglementations (des lois qui visent directement les sources d'odeurs) comme la loi de 1976, qui fait la séparation entre les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les installations non classées, et la loi LAURE, en 1996, qui exige un environnement propre et sain pour chaque citoyen. Nous y reviendrons dans la partie sur la réglementation qui s'applique au domaine des nuisances olfactives (Des odeurs et des lois).

Les historiens se sont donc intéressés à l'évolution des odeurs dans le temps. Cela a permis par comparaison l'émergence de la prétendue « désodorisation » de notre environnement urbain (Poiret, 1998). Des géographes étudient quant à eux les odeurs dans les villes.

1.1.6 Smelly maps, une cartographie des odeurs dans les villes

En 1947, lors d'une conférence à l'École des Beaux-Arts de Paris, André Siegfried, de l'Académie Française, évoque la **géographie des odeurs**. Selon lui, chaque peuple, chaque civilisation, chaque ville est caractérisée par une odeur spécifique : « il existe des zones d'odeurs répondant à des civilisations, à des régions, avec des frontières quand on passe de l'une à l'autre ». Il donne des exemples de villes comme le « Caire (parfum arabe,

chameaux dans les rues annonçant l'Inde) » et « Constantinople (parfum turc annonçant la Russie) » (Dulau et Pitte, 1998)¹⁷.

De nos jours, **avec le développement d'instruments (météorologie) et l'utilisation de logiciels de type SIG (Système d'Information Géographique), la cartographie des odeurs dans les villes est devenue possible**. Une partie de notre travail de thèse est d'ailleurs dévolue à cet aspect.

Un groupe des chercheurs de l'Université de Cambridge a ainsi mené avec des volontaires locaux une campagne de mesures d'odeurs dans 7 villes : Amsterdam, Pampelune, Édimbourg, Glasgow, Newport, New York et Paris. En se basant sur les données collectées, les scientifiques ont élaboré un dictionnaire d'odeurs qui compte 285 mots. L'étape suivante consistait à cartographier les odeurs de Londres et de Barcelone (figures 6 et 7). Ils ont exploité les photos et les mots-clefs géoréférencés publiés sur les réseaux sociaux (Twitter, Flickr, Instagram...) afin de repérer les rues, les parcs, les différents lieux d'activités de chaque ville et la répartition des odeurs en leur sein (Quercia et *al.* 2015). Sur le site de ce projet ¹⁸ nous trouvons les cartes des odeurs de 12 villes européennes et américaines.

Les chercheurs ont réparti les odeurs en 5 catégories : émissions (fuel, poussières...), nature (terre, plantes ...), nourriture (grillade, pain...), animales (excréments), ordures (poubelles...). Généralement, les odeurs de type nature (en vert) sont répandues près des parcs. Pour les odeurs de type émissions (en rouge), elles s'observent près des axes routiers caractérisés par une circulation dense.

Ces cartes donnent des précisions sur les endroits qui sentent mauvais, ce qui permet aux décideurs et aux urbanistes de les aménager, de les modifier avec la création de parcs et de zones piétonnes par exemples.

¹⁷ Les géographes qui s'intéressent aux odeurs doivent beaucoup aux travaux pionniers de Siegfried, Duleau et Pitte en la matière

¹⁸ <http://goodcitylife.org/smellymaps/>



Figure 6. Les odeurs de Barcelone. Source : *Smelly maps*



Figure 7. Les odeurs de Londres. Source : *Smelly maps*

Dans la ville de Barcelone, les odeurs émises par la circulation automobile (en rouge) sont localisées, notamment au niveau des trois axes routiers qui traversent la ville du nord au sud, tandis qu'à Londres ces odeurs sont ramassées dans le centre de la ville. Mais la principale différence entre les 2 villes réside dans les odeurs de type nature (en vert), plus présentes à Londres du fait de l'abondance des parcs dans la partie occidentale de la ville, en comparaison de Barcelone, ville méditerranéenne beaucoup plus minérale.

Nous consacrons nous-même une partie de notre travail à cartographier les odeurs gênantes d'origine industrielle, urbaine et même agricole à fine échelle, comme nous le verrons plus loin. Au point où nous en sommes, il convient de donner quelques définitions, notamment de distinguer odorant et odeur, et de voir précisément comment fonctionne le système olfactif.

1.2 Odorant, odeur, système olfactif

1.2.1. Définitions

Au sens le plus trivial **un odorant** est un élément « qui a, qui répand une odeur », que cette odeur soit jugée plaisante ou nauséabonde. Cet odorant, peut être composé d'une seule, ou de plusieurs molécules. Il se caractérise généralement par « un poids moléculaire modéré, une polarité faible, une certaine solubilité dans l'eau, une pression de vapeur et un caractère lipophile élevés » (Meierhenrich et *al.*, 2005). L'odorant est véhiculé par l'inspiration vers le cerveau qui décrypte le stimulus, ou encore par la voie rétronasale vers le système olfactif (Martin, 1991). « Lors de la mastication, par déstructuration des aliments et augmentation de la chaleur, de nouvelles molécules sont libérées, elles sont conduites vers les récepteurs se situant dans l'arrière de la gorge. Nous ressentons alors les arômes » ¹⁹.

¹⁹ http://www.irepspdl.org/aventuresensorielle/pdf/Livret_odorat_IREPSDL.pdf

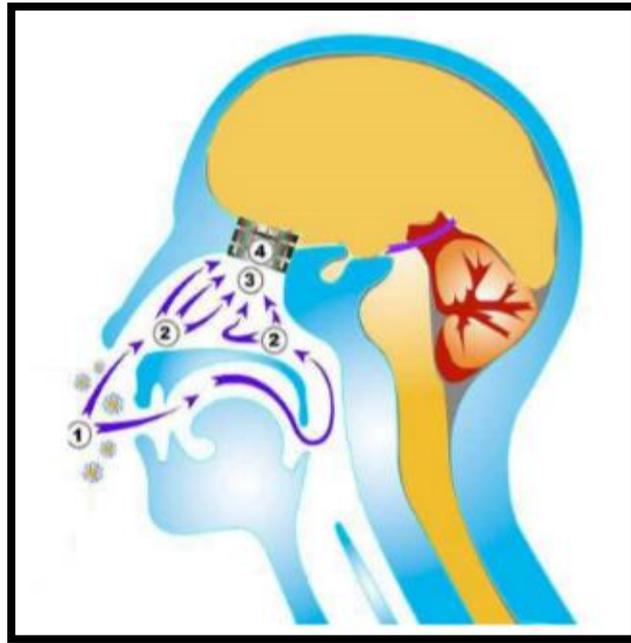


Figure 8. La circulation d'une molécule odorante. Source : Poncelet, 2010

- 1) L'air inspiré peut emprunter la voie orthonasale (par les narines) ou bien rétronasale (par la bouche) ;
- 2) L'air circule dans la cavité nasale ;
- 3) L'air arrive au niveau des capteurs olfactifs ;
- 4) L'information olfactive est codée puis envoyée vers le cerveau

L'odeur quant à elle est une sensation que l'individu perçoit lors d'une stimulation de son système olfactif par un odorant. Le sens de l'olfaction dépend de l'interaction entre les stimuli odorants (substances odorantes) et l'épithélium olfactif. **Ainsi, l'odeur serait l'effet de l'odorant.** Elle est la « représentation cognitive de l'odorant » (Candau, 2016). L'appréciation de cette odeur connaît une variabilité importante en fonction de la concentration ou seuil de détection, de l'intensité qui se trouve entre le seuil de détection et la saturation, de la qualité, et de la tonalité hédonique ou affective qui considère les odeurs agréables ou désagréables. Ces points seront développés plus loin dans la sous partie « Sources, prélèvements et mesures des odorants ».

Dans *Les mots de la géographie* (1993), « l'odeur est identifiée comme l'un des éléments signalétiques de l'espace, d'un lieu, d'un pays : « de l'Arabie entière s'exhale une odeur divinement suave » (Hérodote, L'enquête, III, 113) [...] L'odeur est associée à certaines productions (les porcheries, les distilleries, les sucreries, les raffineries de pétroles...), à certains dispositifs naturels tels que les marécages, plus ou moins fétides) et

au sentiment (ah l'odeur de la terre natale...), voire à la détestation de l'autre dans le racisme ordinaire ».

La norme européenne 13725 [AFNOR, 2003] définit quant à elle l'odeur comme étant l'**attribut organoleptique**, c'est-à-dire qui agit sur la **perception sensorielle**, quand on respire des substances organiques, ou des substances minérales volatiles.

1.2.2 La physiologie du système olfactif

Le système olfactif est composé de la muqueuse olfactive, du bulbe olfactif et des projections olfactives centrales.

1.2.2.1 La muqueuse olfactive

Cette muqueuse occupe chez l'homme une surface de 2 à 3 cm² sur les parois latérales et médianes du toit de la cavité nasale (Lledo, Vincent, 1999), elle joue le rôle d'interface entre le milieu aérien et le reste de l'épithélium olfactif. Ce dernier est constitué des cellules glandulaires telles que les cellules de soutien, les cellules à microvillosités, les cellules basales, et les neurorécepteurs olfactifs, et d'autre part la *lamina propria* qui contient les glandes de Bowman qui relient la muqueuse olfactive au bulbe olfactif (Plailly, 2005).

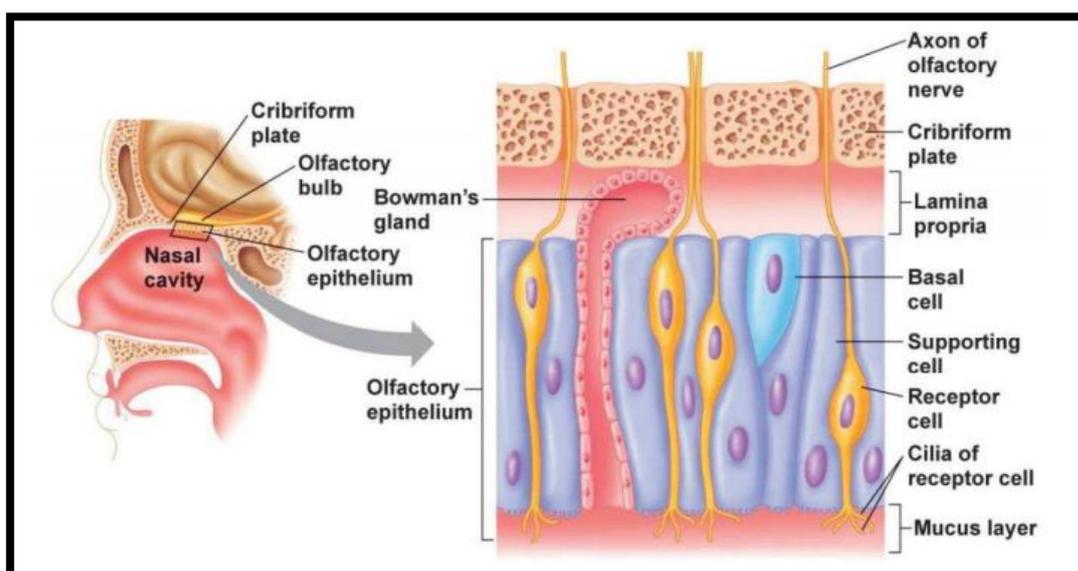


Figure 9. La muqueuse olfactive. Source : Medjkoune, 2018

1.2.2.2 Le bulbe olfactif

Ce bulbe représente le premier relais de l'information olfactive (Bonfils, 2014). Il est le plus souvent ovoïde chez l'animal, et cylindrique chez l'homme. Il est composé de deux grands types cellulaires : les deutoneurones et les interneurones. Les deutoneurones sont composés des cellules mitrales et des cellules à panaches, alors que les interneurones sont composés de trois types de cellules : les cellules granulaires, les cellules péri-glomérulaires et les cellules à axones courts (Griff et *al.*, 2000).

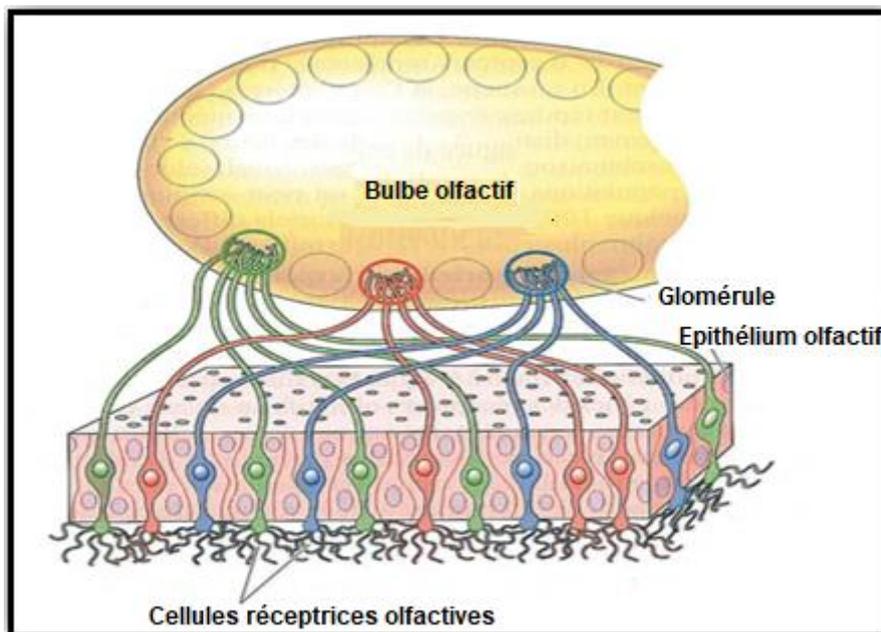


Figure 10. Le bulbe olfactif. Source : Poncelet, 2010

1.2.2.3 Les projections olfactives centrales

Elles concernent un faisceau d'axones appelé Tractus Olfactif Latéral (TOL), qui connectent le cortex piriforme, le tubercule olfactif, le cortex entorhinal, le cortex périamigdalien, et enfin le cortex insulaire. L'ensemble de ces structures forme le cortex olfactif primaire. Les aires de projections du cortex olfactif primaire constituent le cortex olfactif secondaire composé de différentes parties telles que : le cortex insulaire, le cortex cingulaire, le cortex orbito-frontal, l'hippocampe, le thalamus, et le striatum vital. **Le cortex est le siège de la mémoire dans laquelle l'être humain enregistre de nouvelles**

odeurs qu'il peut retenir toute sa vie (l'homme peut mémoriser 50 000 odeurs différentes) (Plailly, 2005).

La complexité du système olfactif se présente à travers ces multitudes de composants que nous venons de citer, auxquels il faut ajouter d'autres systèmes qui aident à décrypter les molécules odorantes : le nerf trijumeau et le système olfactif accessoire.

1.2.2.4 Le nerf trijumeau

Dans les muqueuses olfactives, nous trouvons les fibres périphériques de ce nerf (Popka et Matulionis, 1983). Il permet de capter les différentes sensibilités douloureuses, thermiques et de pressions. Par conséquent, il traite des sensations somesthésiques de frais, chaud, brûlant, piquant, irritant (Plailly, 2005). Des études ont montré que les sujets anosmiques peuvent percevoir des odeurs par cette voie trigéminal (Doty et *al.*, 1978).

1.2.2.5 Le système olfactif accessoire

Il est composé du nerf terminal qui est un plexus ganglionnaire (Johnston, 1914), et de l'organe voméronasal (ou l'organe de Jacobson). Ce système est bien décrit, chez l'animal. Il permet de détecter les molécules phéromonales (Plailly, 2005). Chez l'homme le rôle de ce système reste controversé, car la réponse de l'être humain aux molécules phéromonales n'est pas définitivement déterminée malgré la multitude des travaux sur le sujet (Bensafi et *al.*, 2004).

Après avoir décrit les principaux mécanismes physiologiques permettant l'olfaction, voyons à présent comment est traitée l'information olfactive au sein de ces mécanismes.

1.2.3 Le traitement de l'information olfactive

1.2.3.1 Le traitement de l'information olfactive : du point de vue physiologique

Le système olfactif est le système sensoriel dévolu à la détection, la discrimination et l'identification des odeurs. **L'olfaction est un sens chimique contrairement aux autres sens physiques tels que l'ouïe ou le toucher, ou bien encore la vue.**

Les molécules odorantes empruntent deux voies :

- **L'inhalation directe** à travers les narines jusqu'au fond de la cavité nasale.
- La **voie rétronasale**, nous l'avons vu, à travers la bouche (les molécules sont libérées lors d'une dégustation).

Les molécules sont véhiculées par ces deux voies vers une seule zone : la muqueuse olfactive. Dans cette zone, nous trouvons les neurorécepteurs qui baignent dans un mucus ce qui intensifie le signal. **Pour faciliter leur traitement, les molécules odorantes doivent être généralement : volatiles, hydrosolubles (pour se solubiliser dans le mucus) et liposolubles (pour se solubiliser dans la couche lipidique des cils olfactifs)** (Amoore, 1970). Des recherches, plus récentes, ont montré que les molécules odorantes peuvent être captées par d'autres molécules solubles, nommées protéines de transfert (les « odorant binding proteins »), mécanisme qui leur permet de voyager dans le mucus jusqu'aux récepteurs olfactifs (Archunan, 2018).

La caractéristique principale du système olfactif est la réalisation d'analyses chimiques. Il est capable de détecter une faible quantité de molécules odorantes, et de décrypter les qualités de ces molécules (Holley et Le Magnen, 2018, Song et *al.*, 2008). Un sujet moyen peut détecter l'odeur de l'œuf pourri si nous lui présentons 10 millilitres de sulfide d'hydrogène dilués dans 10 000 litres d'air ; pour un parfum d'ail, un millilitre suffit (Beguin, Costermans, 1994).

La liaison des molécules odorantes avec des récepteurs olfactifs qui sont des protéines transmembranaires, traversent donc la membrane des cils que l'on trouve à l'extrémité

des neurones olfactifs, côté dendrites, autrement dit à l'opposé des axones, (qui eux sont situés côté bulbe olfactif), dont le nombre avoisine le millier chez les rongeurs et 396 chez l'homme (Schaal et Candau, 2019), déclenche l'activation de protéines G pour stimuler l'enzyme adénylyl cyclase qui contrôle la production d'adénosine mono phosphate cyclique (AMPC) à partir de l'adénosine triphosphate (ATP). La concentration d'AMPC dans les cils augmente, ouvrant un canal cyclique nucléotidique, entraînant un afflux de sodium (Na) et de calcium (Ca). Ces actions provoquent la dépolarisation des membranes (Holley et Le Magnen, 2018, Ronnett et Moon, 2002) qui permet la transformation du signal chimique en signal nerveux dans un délai de quelques centaines de millisecondes (ms) (Legouis, 1995).

Les molécules odorantes excitent les neurorécepteurs, lesquels effectuent une transduction grâce à une série de phénomènes enzymatiques, puis ioniques qui sont à l'origine de messages nerveux qui vont être transmis par le bulbe olfactif puis interprétés par le système nerveux central.

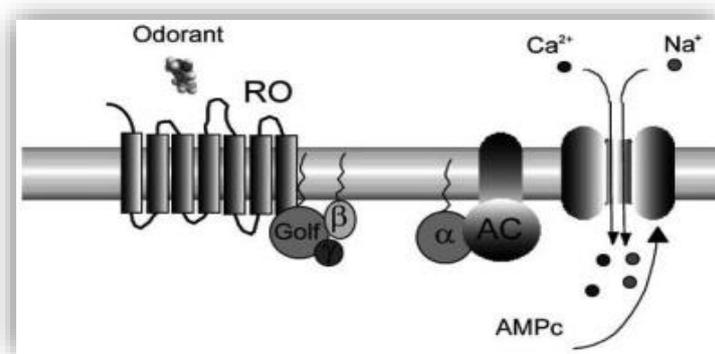


Figure 11. Représentation schématique du mécanisme de transduction d'un récepteur olfactif.

Source : Le Bon et *al.*, 2009

Les neurones, en fonction de leur position vont être spécifiques pour une odeur particulière et tous les neurones qui reconnaissent une même odeur sont à côté les uns des autres. Ce codage spatial de l'information s'appelle la chimiotope (Holley et Le Magnen s. d.), (Mori et al., 1999).

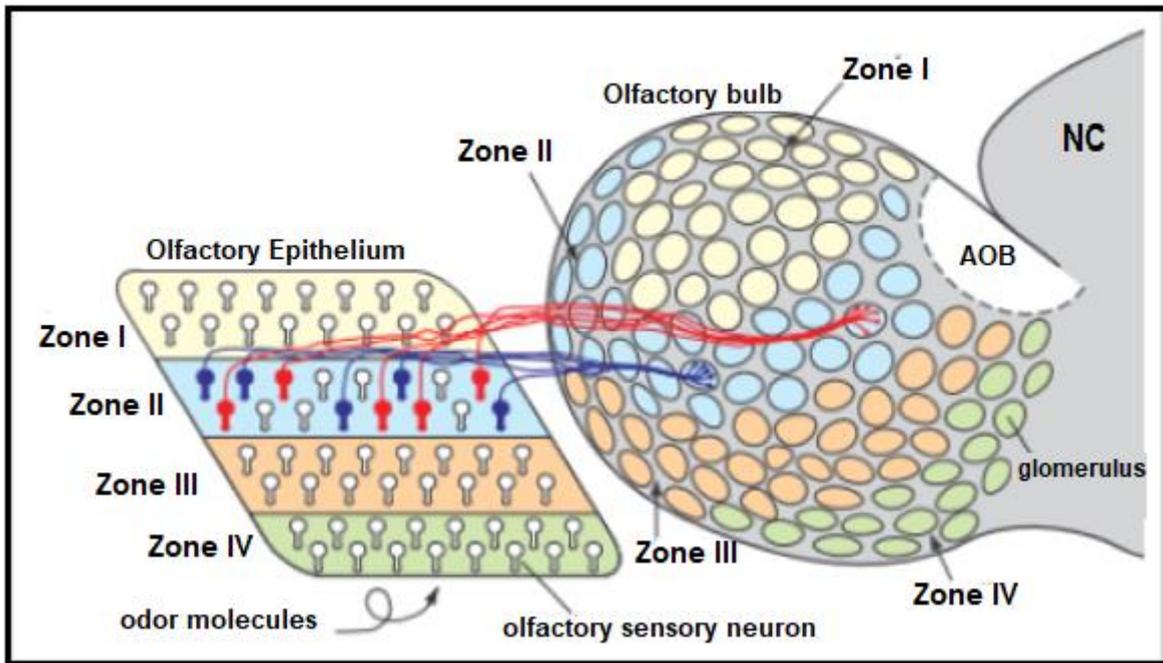


Figure 12. Schéma illustrant la chimiotopie chez la souris. Source : Mori et *al.*, 1999

Les travaux de Buck et Axel (1991) ont montré que les protéines dites G font la liaison entre les odorants et les récepteurs, ce qui catalyse la production des messages intracellulaires (Holley, 1997). Après le traitement des molécules odorantes par le bulbe olfactif, l'information se déplace vers le cortex olfactif, où elle s'intensifie. Elle sera alors transmise vers d'autres parties régulatrices, notamment vers le paléocortex et vers le système limbique, siège des émotions, ce qui nous amène au plan cognitif.

1.2.3.2 Le traitement de l'information olfactive du point de vue cognitif

Le traitement de l'information olfactive du point de vue cognitif consiste à reconnaître ou à identifier une odeur et à la classer dans une catégorie selon son intensité, sa qualité et sa valence hédonique. Nous pouvons appeler cette étape l'étape de « traduction » ou « d'interprétation » des stimuli chimiques en émotions et souvenirs. Cette traduction peut être sous la forme de reconnaissance ou bien d'identification d'une odeur.

Il faut noter que **la reconnaissance reste moins compliquée que l'identification**, car avec la reconnaissance le sujet fait appel à sa mémoire olfactive, contrairement à l'identification qui demande un effort de la part du sujet pour donner un nom à cette nouvelle odeur, ceci alors que le lexique olfactif nous l'avons vu est dans de nombreuses langues plutôt pauvre. Ainsi, beaucoup d'**odeurs restent à un niveau infraverbal** (Candau, 2015) en raison de ce lexique olfactif peu élaboré et précis (Kleiber, 2011). Dans une expérience réalisée par Trygg Engen en 1982, on demanda à 60 sujets de nommer, le plus rapidement possible, 10 odeurs et 10 couleurs qui leur venaient à l'esprit. Le temps moyen nécessaire aux sujets pour produire dix mots relatifs aux odeurs fut de 48 secondes alors que seulement 12 secondes furent nécessaires pour produire les dix mots relatifs aux couleurs (Beguin, Costermans 1994).

Dans les deux cas, reconnaissance ou identification, les odeurs sont liées aux émotions, elles peuvent par exemple susciter du stress, de la peur.

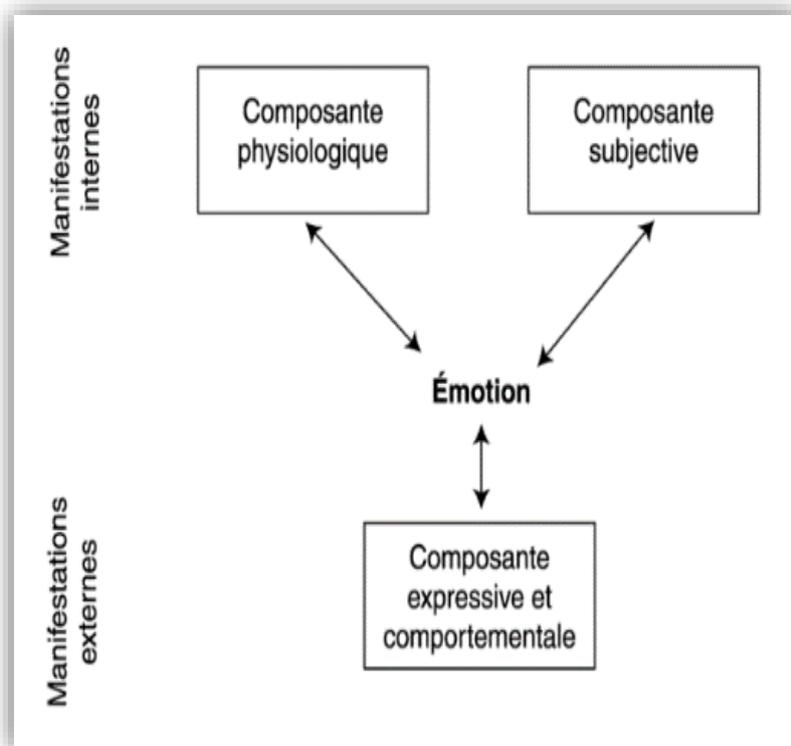


Figure 13. L'effet des odeurs. Source : Salesse et Gervais, 2012

Nous nous intéressons dans ce travail de thèse aux odeurs gênantes de sources industrielles (nous ne traitons pas des odeurs hédoniques). Ces odeurs peuvent induire des émotions et des sentiments tels que la colère, être perçues comme des nuisances, et amener le riverain à déposer plainte. Dès lors, il s'avère nécessaire de mesurer ces odorants, pour que les pouvoirs publics, les industriels puissent réagir.

1.3 Sources, prélèvements et mesures des odorants

1.3.1 Les sources d'odorants

D'une manière générale, les sources d'odeurs gênantes se répartissent entre :

- Les sources **naturelles** issues par exemple de la décomposition des matières organiques provenant de l'agriculture traditionnelle, dans des eaux qui deviennent eutrophisées,
- Et les sources **artificielles** provenant de la fermentation aérobie ou anaérobie de déchets minéraux ou végétaux ou bien d'usines (fonderies, pétrochimiques, agro-alimentaires...) (Popescu et *al.*, 1998).

Plus précisément, il existe quatre sources principales d'odeurs dans l'environnement (Tableau 2, ci-après). Ces sources appartiennent aux domaines industriel, municipal, agricole, et domestique pour celles relatives à l'air intérieur.

Domaine	Type d'activité	Type de contaminant responsable des odeurs
Industriel	Pâtes et papiers (Procédé Kraft, procédé acide au sulfite)	Composés soufrés (H ₂ S, SO ₂ , disulfure de diméthyle, méthyle mercaptan), térébenthine
	Raffineries de pétrole	SO ₂ et autres composés soufrés, composés organiques volatils (COV) variés
	Fonderies	Solvants organiques volatils divers (SOV)
	Industrie alimentaire : Boulangerie, aliments frits, café, distillerie, fumoir, équarrissage	Variables
	Traitement des surfaces métalliques	Acide sulfurique, acide nitrique, etc.
	Ateliers de peinture	Méthyl éthyl cétone, acétone, toluène, xylène
	Plastiques (moulage, fibres de verre, extrusion)	Styrène, SOV divers
	Stockage de déchets dangereux	Variables
Municipal	Épuration des eaux usées	Composés soufrés (H ₂ S, mercaptans, etc.), Composés azotés (NH ₃ , amines, etc.), Autres (acides gras volatiles, aldéhydes, etc.)
	Enfouissement sanitaire	Composés soufrés (disulfure de diméthyle, H ₂ S, etc.)

Agricole	Bâtiments d'élevage Structures d'entreposage des fumiers (et autres fertilisants organiques) Épandage de fumier	NH ₃ , H ₂ S et autres composés sulfurés, amines, acides gras volatils, indols, scatols, phénols, etc.
	Épandage de pesticides	Variables selon le produit utilisé, solvants divers
Air intérieur	Occupants	Effluves biologiques
	Tabac	~ 5 000 produits chimiques
	Matériaux	Formaldéhyde et divers autres COV
	Ventilation	Substances générant des odeurs

Tableau 2. Les principales sources d'odeur. Source : Gingras et *al.*, 2003

1.3.1.1 Le domaine industriel

Ce secteur émet comme odorants des composés soufrés, des Composés Organiques Volatils (COV), des solvants et des acides (sulfurique, nitrique, chlorhydrique, fluorhydrique), *via* les papeteries, les raffineries, les fonderies et l'industrie agro-alimentaire, comme nous l'approfondirons plus loin.

1.3.1.2 Le domaine municipal

Le domaine municipal émet des odeurs à travers la gestion des déchets et l'épuration des eaux usées. Plus de 500 gazs ont été recensés dans les décharges d'ordures ménagères tels que les soufrés réduits, les aldéhydes, les composés chlorés, les acides carboxyliques, les chlorobenzènes... Dans le secteur du compostage, les gazs émis sont principalement l'ammoniac, les COV tels que le xylène, des alcanes et des terpènes. Enfin,

dans le secteur de l'épuration les composés émis sont surtout les hydrogènes sulfurés, le méthyl mercaptan, et les composés azotés (ammoniac, amines, indol, scatol) ²⁰.

Composé	H ₂ S	Sulfure organique	Mercaptans	Amines	Acides organiques	Scatol	Alcool
Concent.	0.0047	0.07	0.003	0.4	1.5	0.2	20.3

Tableau 3. La concentration en mg/m³ de quelques composés émis lors de fermentations anaérobies d'ordures ménagères. Source : Popescu et *al.*, 1998

1.3.1.3 L'agriculture

À travers notamment l'élevage et le stockage des déjections animales, l'agriculture génère des odeurs liées à la propagation de molécules telles que l'ammoniac (NH₃), les composés sulfurés, l'indol (C₈H₇N), le phénol (C₆H₆O). Ce type de nuisances s'est aggravé au fil du temps parallèlement au développement de l'élevage intensif, sans oublier les odeurs issues des produits phytosanitaires épandus sur les champs.

1.3.1.4 L'air intérieur

La dernière source d'odeurs concerne cette fois l'air intérieur, qui engendre lui aussi de **multiples odeurs qui vont interagir, se combiner, de plus dans un volume réduit** : odeurs de cuisson, produits ménagers, bougies, encens, vernis des meubles (formaldéhyde, composés organiques volatils). C'est la raison pour laquelle il est particulièrement recommandé d'aérer régulièrement son logement.

²⁰ https://record-net.org/storage/etudes/03-0808-0809-1A/synthese/Synth_record03-0808-0809_1A.pdf

Nous reviendrons bien entendu plus loin dans le travail de thèse sur ces aspects, et notamment sur les odeurs émises par ces différentes sources et leurs effets sur la santé des riverains.

Pour l'instant, voyons comment les flux odorants peuvent être prélevés dans l'environnement, selon quels procédés ?

1.3.2 Le prélèvement des odorants

Le prélèvement reste une étape délicate dans la mesure et l'analyse des odeurs, car l'air se compose à 78 % d'azote, à 21 % de dioxygène et les 1 % restants représentent tous les autres gazs présents dans l'atmosphère dont font partie les molécules odorantes. C'est pourquoi, il faut :

- avoir un échantillon représentatif,
- éviter les adduits,
- utiliser une méthode de prélèvement le plus simple possible pour éviter les erreurs de mesure (Dettmer, 2002), si possible automatisable et à moindre coût (Scotto, Fernandez, 2017).

Dans notre travail, les plaintes représentent une source d'information importante puisque nous pouvons appréhender les caractéristiques des odeurs (intensité, qualité...) à partir du *corpus* qui contient les observations des plaignants. Dès lors, **le prélèvement et la mesure pourraient devenir des moyens de vérification de la gêne occasionnée par l'odorant.**

Il existe plusieurs types de prélèvement. Le choix de l'un d'entre eux est dicté par la technique d'analyse qui sera ensuite exploitée. **L'analyse olfactométrique**, réalisée par des sujets, exige un prélèvement sans pré-concentration préalable. En revanche, dans le cadre de **l'analyse physico-chimique**, réalisée par des instruments tels que le nez électronique, une pré-concentration de l'odorant est obligatoire si la concentration est inférieure ou proche du seuil de sensibilité de l'appareil de mesure. En France, les différents prélèvements sont décrits dans la norme européenne EN

13725 (octobre 2003). Elle précise les conditions de transport et de stockage des échantillons collectés. Cette norme détermine également les différentes étapes des analyses olfactométriques (sensorielles) et physico-chimiques.

1.3.2.1 Les méthodes de prélèvement des odorants

Le prélèvement peut se faire soit :

Avec concentration, les molécules odorantes sont alors captées par l'intermédiaire d'un solide, qui peut être un tube ou un filtre. Le prélèvement se fait alors selon le principe de l'adsorption qui consiste à faire passer un volume de gaz odorant dans un tube qui contient l'adsorbant.

Le tableau ci-dessous recense les principaux adsorbants utilisés afin de retenir les molécules odorantes.

Produit ou famille de composés	Adsorbants
Acides minéraux	Na ₂ – CO ₃ 5% sur Chromosorb
Acides organiques	Carbotrap ou XAD ou Tenax
Composés organiques	Charbon actif
Mercaptans et Alkypoly sulfures	Charbon actif ou Tenax
Ammoniac	Na ₂ – CO ₃ 5% sur Chromosorb
Amines	Silica gel activé
Alcools	Silica gel activé
Formaldéhyde	2-hydroxyméthyl piperdine sur Supelpack 20N
Acroléine	2-hydroxyméthyl piperdine sur Supelpack 20N
Gaz d'échappement	Silica gel

Tableau 4. Adsorbants utilisés pour le piégeage de molécules odorantes. Source : (Popescu et al., 1998)

La phase de désorption qui vient ensuite peut être quant à elle réalisée soit en exposant le matériau à un choc thermique rapide (on passe de 30 à 400 °C en 26 s ± 2) ce qui produit la libération des molécules odorantes, soit en séparant les corps adsorbés par lavage progressif du matériau avec un solvant (principe de l'élution), tel l'hexane s'il s'agit de récupérer des composés hydrocarbonés (Le Cloirec et Perrin, 1991). Le piégeage des odorants peut aussi se faire selon le principe de l'absorption (gaz liquide). Cette méthode est souvent utilisée dans les études environnementales. Il existe plusieurs modèles d'absorbants : absorbeur de Lamn, de Schaw, barboteur de type Durand, etc. (Le Cloirec et Perrin, 1991).

Le choix d'un absorbant se fait également en fonction des composés odorants à piéger (tableau ci-dessous), le temps de prélèvement doit être bien ajusté afin d'obtenir des analyses précises. Par exemple, pour un centre d'équarrissage, le temps de prélèvement est de 1 à 2 heures, pour une station d'épuration de 5 à 10 heures, suivant le lieu de la prise d'échantillon (atmosphère confiné ou libre) (Le Cloirec et Perrin, 1991).

Produit ou famille de composés	Absorbants
Acidités (SO ₂ ...)	H ₂ O ₂
Ammoniac	HCl 0,1 N ou Acide Borique 0,5%
Amines	HCl 0,1 N
Aldéhydes et cétones	Bisulfite de sodium 4‰
H ₂ S et mercaptans	Hg Cl ₂ à 4‰ en solution aqueuse

Tableau 5. Exemples de solutions de barbotage pour l'absorption de famille de composés odorants. Source : Popescu et *al.* (1998)

L'adsorption et l'absorption sont utilisées afin de réaliser des analyses physico-chimiques dans le but de déterminer les différents composants du produit capté.

Sans concentration, l'échantillon est alors directement prélevé dans un récipient.

Les récipients qui servent au prélèvement doivent être constitués de matériaux inertes vis-à-vis des COVs et être peu adsorbants (Teflar, téflon, verre, récipients métalliques inoxydables). Leur volume ne doit pas être inférieur à 15 litres (Vigneron et al. 1994).

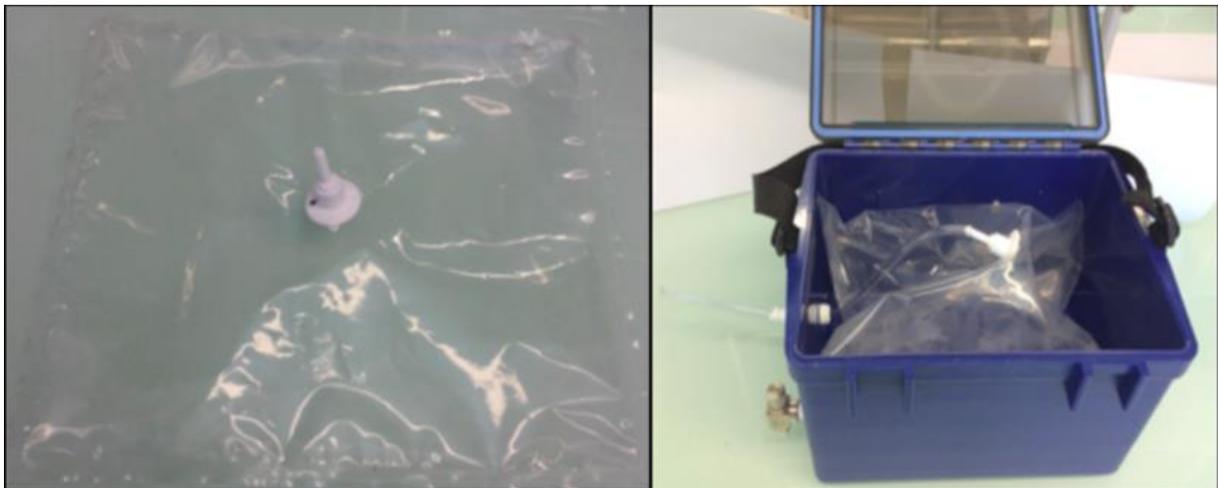


Figure 14. Sac Teflar. Source : Scotto, Fernandez (2017)

Les sources d'odeurs peuvent être issues de **relargages intempestifs**, ou bien être régulières. On dit alors dans ce dernier cas qu'il s'agit de **sources canalisées**. Il s'agit par exemple des torchères, des extracteurs, des cheminées, des parties supérieures des tours de lavage, etc. Le prélèvement dans les sources canalisées se fait sur les flux de gaz pollués par piquage. Le technicien pique le canal qui achemine les flux odorants afin de récupérer un échantillon de ces flux, conformément aux prescriptions des normes AFNOR NF X 10-112 (septembre 1977) et ISO 10780 (novembre 1994). Étant donné la hauteur des installations, les zones d'émissions sont souvent difficiles d'accès, et les gaz sortent à des températures élevées. En outre, la

hauteur des points d'émission (cheminées) complique le prélèvement puisque les gaz rejetés sont sensibles aux vents porteurs ²¹.

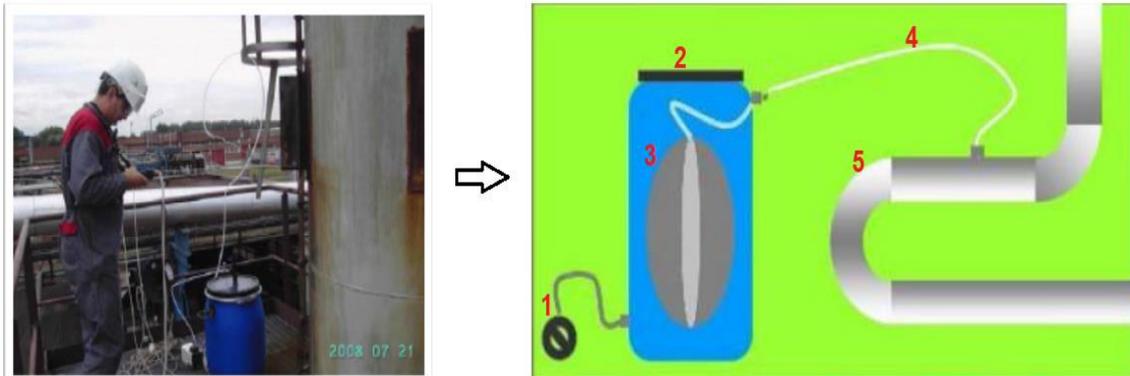


Figure 15. Prélèvement d'une source canalisée. Source : Antea groupe (2016)

1 : pompe, 2 : caisson, 3 : sac d'échantillonnage, 4 : tuyauterie en téflon, 5 : canalisation

À ces sources d'émissions il faut ajouter celles qui sont émises non pas depuis des rejets de type cheminées, mais qui émanent d'une surface. Ce sont les **sources surfaciques**. Elles sont nombreuses. Nous pouvons citer les centres d'enfouissement techniques, les décharges, les centres de compostage, les bassins d'épuration.

Il existe deux façons de prélever les odeurs sur ces surfaces. La première concerne les surfaces actives, c'est-à-dire traversées par un débit d'air (Gouronnec, 2000). Un biofiltre ou une lagune aérée sont des sources surfaciques actives, dans ce cas une cloche munie d'une cheminée doit être utilisée, elle doit couvrir une surface de la source significative (1 m² par exemple). L'air s'échappant de la surface étudiée est alors véhiculé vers la cheminée où le prélèvement et la mesure de vitesse de flux sont réalisés hors dilution aléatoire du vent. Un maillage des cloches peut être établi afin de couvrir toute la surface. Chaque maille représente alors un point d'échantillonnage ²².

²¹https://www.record-net.org/storage/etudes/03-0808-0809-1A/rapport/Rapport_record03-0808-0809_1A.pdf

²² http://www.drome.gouv.fr/IMG/pdf/4-annexe_13.pdf

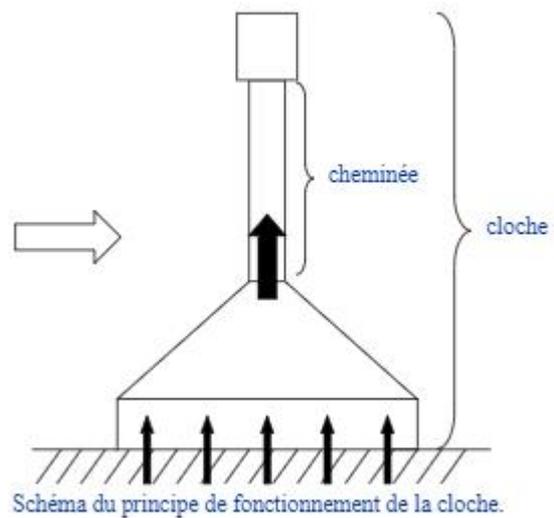


Figure 16. Schéma d'une cloche munie d'une cheminée. Source : <https://docplayer.fr/40428989-Irh-ingenieur-conseil-etude-des-emissions-odorantes.html>

Le deuxième type de prélèvement concerne les surfaces passives, ou diffuses passives, telles qu'un front d'enfouissement, un andain de compostage ou encore une lagune non-aérée. La pompe met le caisson poumon, qui abrite un sac d'échantillonnage, sous dépression, dans la chambre à flux, la surface est balayée par de l'air pur ou de l'azote, à une vitesse contrôlée par un rotamètre (débitmètre) en acier inoxydable ou en verre (Norme EN13725). L'air est ensuite conduit vers le sac d'échantillonnage de 60 l.

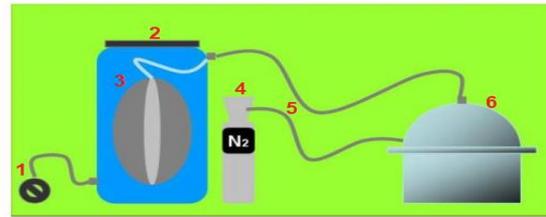


Figure 17. Chambre de flux pour un prélèvement surfacique

Source : http://www.drome.gouv.fr/IMG/pdf/4-annexe_13.pdf

1 : pompe, 2 : caisson, 3 : sac d'échantillonnage, 4 : bouteille d'azote, 5 : tuyauteries en téflon, 6 : chambre de flux

Il existe d'autres outils de prélèvement tels que la seringue à gaz qui permet de prélever seulement quelques millilitres de gaz (Scotto, Fernandez, 2017).

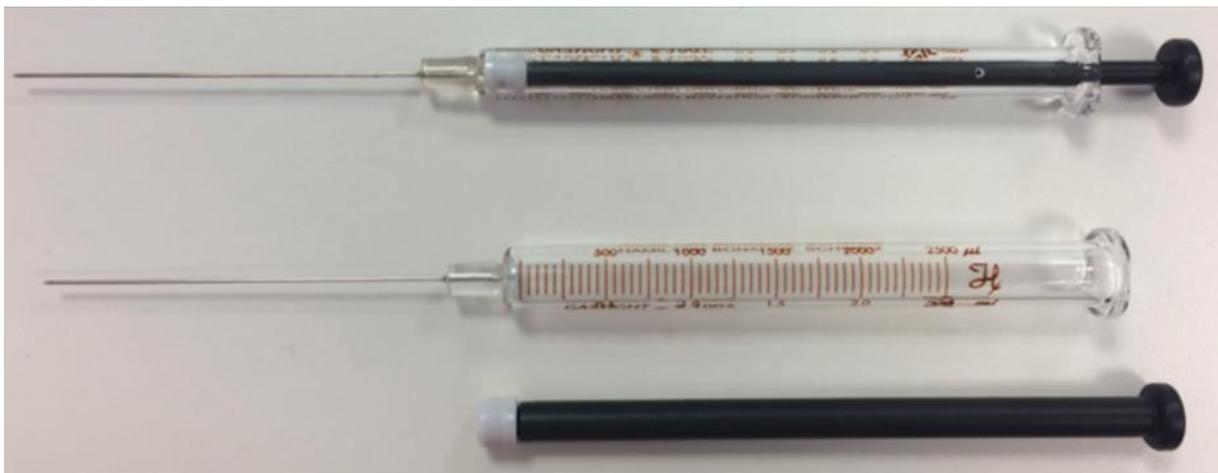


Figure 18. Une seringue à gaz. Source : Scotto, Fernandez (2017)

Un prélèvement est une opération délicate et complexe à effectuer en raison de la multitude des sources existantes, ce qui exige d'utiliser des méthodes différentes et des outils appropriés. De plus, le prélèvement a une influence directe sur les résultats de la mesure : plus les consignes de prélèvement sont respectées, plus les résultats sont proches de la réalité.

1.3.3 La mesure des odeurs

Les odeurs sont mesurées en vue de l'information que l'on cherche à recueillir. Ainsi, la mesure olfactométrique (sensorielle) permet de quantifier l'odeur, de la qualifier, et de lui associer un caractère agréable ou désagréable. Mais si nous souhaitons décrypter plus précisément les composés odorants, nous devons nous orienter vers la mesure physico-chimique.

La figure ci-dessous présente clairement les deux types de mesure. L'analyse des composés odorants peut se faire par analyse physico-chimique (fine ou spécifique), ou bien par des capteurs de type nez électronique. Ces derniers peuvent définir les différentes catégories d'odeurs, en discriminant les types de gaz les générant.

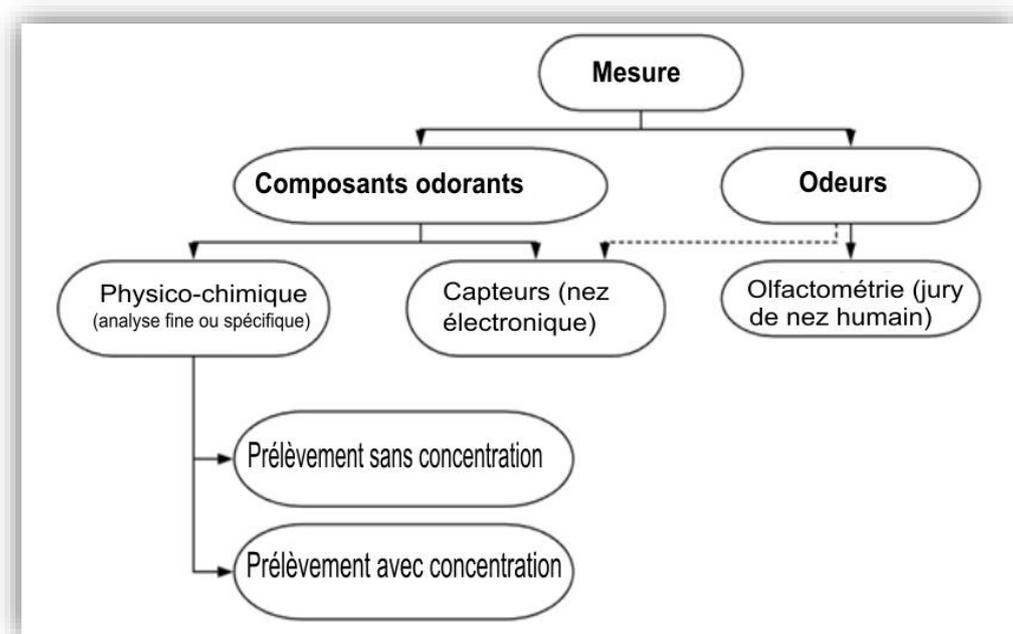


Figure 19. Les différents types de mesures. Source : https://www.record-net.org/storage/etudes/03-0808-0809-1A/rapport/Rapport_record03-0808-0809_1A.pdf

1.3.3.1 La mesure olfactométrique (sensorielle)

Les odeurs que nous identifions dans l'espace autour de nous sont le résultat de l'interaction entre les molécules émises par l'odorant et notre système de perception olfactive. Celui-ci reste un « outil » très efficace pour réaliser des mesures et des analyses d'odeurs issues des activités industrielles, agricoles ou autres. Il entre pleinement dans ce que l'on appelle l'**analyse sensorielle qui consiste à évaluer les qualités organoleptiques d'un élément perçu**. L'analyse sensorielle fait intervenir les organes des sens de l'être humain : le goût, l'odorat, la vue, le toucher et l'ouïe. Elle permet de décrire et de quantifier de manière systématique l'ensemble des perceptions humaines. Elle s'est développée dans les années 1960 avec l'industrie alimentaire (Lefebvre et Bassereau, 2003). Les réactions des individus face à une odeur vont différer selon des caractéristiques quantitatives (concentration et intensité de l'odorant), qualitatives (reconnaissance de l'odeur) et son caractère hédoniste (appréciation) (Gingras et *al.*, 2003).

La mesure olfactométrique est réglementée par des normes européennes qui évoluent avec le temps en élaborant de nouvelles méthodes et en faisant appel à toutes les techniques instrumentales qui aident à décrypter les composés odorants. Il convient de préciser que les normes décrivent les méthodes de mesure et ne mentionnent pas de limites de valeurs de rejets ou d'exposition, car cela dépend de la réglementation. En effet, différents pays peuvent utiliser la même méthode de mesure mais fixer des critères de qualité de l'air différents (Guillot et Luillery, 2017).

- Au Danemark, les critères de réglementations des odeurs sont fixés à $< 5-10 \text{ uoE/ m}^3$
- En Irlande, les critères de réglementations des odeurs sont fixés à $1.5-6 \text{ uoE/ m}^3$
- Et, en Allemagne, à $< 1 \text{ uoE/ m}^3$ (Deshmukh et *al.*, 2015).

Numéro	EN 13725 (EN 13725 révisé)	EN 16841 partie 1	EN 16841 partie 2	Projet instruments (en cours d'élaboration)
Nom	Détermination des odeurs par olfactométrie dynamique et du taux d'émission d'odeurs de sources fixes	Détermination des odeurs par mesure de terrain – Partie 1 : méthode de la grille	Détermination des odeurs par mesure de terrain – Partie 2 : méthode du panache	Mesure instrumentale des odeurs
Grandeur Mesurée	Concentration d'odeur (unité d'odeur/m ³)	Exposition aux odeurs dans une zone d'évaluation définie	Étendue du panache odorant sous le vent d'une source	Intensité odorante et/ou qualité qui pourront être représentées par l'équipement
Application	Source fixe	Dans l'environnement	Dans l'environnement	Air ambiant, air intérieur, émissions

Tableau 6. Les différentes normes européennes pour la mesure des odeurs et des composés odorants. *Source* : Guillot et Luillery (2017)

Un groupe de travail « WG2 » est chargé d'élaborer des normes européennes sur les odeurs. Ce groupe est formé par l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, l'Italie, les Pays-Bas, le Royaume-Uni ²³.

La norme européenne EN 13725 (octobre 2003) a remplacé la norme française NF X 43 - 104 (de juillet 1995). Elle précise deux types d'olfactométrie :

²³ https://record-net.org/storage/etudes/03-0808-0809-1A/synthese/Synth_record03-0808-0809_1A.pdf

- **L'olfactométrie en ligne** où l'olfactomètre est relié directement au point de prélèvement avant d'être présenté à un jury de nez. Ce type de mesure est efficace notamment pour les sources canalisées ou canalissables (rejets en cheminée, respiration des bacs de stockage, biofiltres), (Le Cloirec et Perrin, 1991). L'avantage est que l'échantillon risque d'être moins modifié que par une réaction chimique, ou bien par adsorption. Mais, l'isolation du local dans lequel on souhaite mesurer l'odeur ambiante est très difficile. De plus, ce type de mesure est onéreux, car il implique le déplacement d'une équipe d'experts.
- **L'olfactométrie en différé** se déroule quant à elle dans les laboratoires. Elle est efficace pour toutes les sources (ponctuelles, surfaciques, diffuses). Les gaz odorants sont stockés et transportés dans des récipients spéciaux. Il convient de respecter les conditions de stockage et de transport afin de conserver la représentativité de l'échantillon. L'avantage de ce type de mesure est l'isolation complète de l'odeur ambiante du site (conditions de laboratoire) et le faible coût (pas de déplacement d'experts), (Le Cloirec et Perrin, 1991).

Type d'olfactométrie	Type de source concernée	Protocole	Contraintes
En ligne	Sources canalisées ou canalissables avec concentration de composé odorant constant dans le temps	Atmosphère directement recueillie à l'aide d'une sonde dans l'olfactomètre	Les accessoires utilisés doivent être en matériaux inertes, résistants à la corrosion, inodores et peu absorbants (ex : acier inoxydable) Isoler les membres du jury de l'air ambiant
En différé	Sources canalisées ou diffuses dont l'odeur est fluctuante	Remplissage du sac avec atmosphère odorante par dépression	24 heures maximum entre le prélèvement et la mesure

Tableau 7. Caractéristiques des deux types d'olfactométrie. Source : Bour et *al.*, 2005

La mesure olfactométrique sensorielle repose sur l'étude des sensations de plusieurs individus que l'on va qualifier de jury de nez. Le jury de nez peut être composé de riverains du site ou des salariés, qui sont généralement non formés, ce qui pose le problème de la subjectivité des résultats due aux différences de tolérance et de sensibilité d'un individu à un autre, ou bien il peut être composé d'experts qui ont suivi des formations. Ces formations sont déterminées par les différentes normes françaises et européennes. La norme française NF X 43-101 (Afnor, 1986) définit le nombre de personnes nécessaire pour former un jury, la mesure étant d'autant plus reproductible et fiable que le nombre de sujets composant le jury est élevé, (Gouronnec, 2004). La norme exige d'avoir recours à au moins :

-16 sujets pour 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.

Les personnes qui composent le jury de nez doivent avoir une capacité olfactive dite " standard ", afin d'être représentatives de la population. La norme EN 13725 précise les démarches de sélection de ces personnes qui vont composer une équipe de jury de nez. La qualification des sujets se fait par la détection de cinq produits purs (butan-1-ol, hexan-2-one, pyridine, acide propionique, tétra-hydrothiophène). Le seuil de chaque sujet doit être entre 0,1 et 10 fois le seuil moyen donné en référence, pour chacun des produits testés (Gouronnec, 2004). Cette qualification doit être vérifiée régulièrement. Afnor exige que la vérification se fasse toutes les 12 mesures. De plus, des règles doivent être respectées par l'équipe pendant les mesures telles que l'absence d'activité physique moins de 30 minutes avant les mesures, des mesures effectuées loin des repas, pas d'excès de parfum ou d'odeurs de tabac (Gouronnec, 2004).

L'analyse olfactométrique *via* les jurys de nez cherche aussi à déterminer **les 4 dimensions d'une odeur**, à savoir sa *concentration*, son *intensité*, sa *qualité* et sa *tonalité* hédonique (*affective*).

a) La concentration d'une odeur

En France, l'article 29 de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux ICPE prévoit que « **Le niveau d'une odeur ou concentration d'un mélange odorant est défini conventionnellement comme étant le facteur de dilution qu'il faut appliquer à un effluent pour qu'il ne soit plus ressenti comme odorant par 50 % des personnes constituant un échantillon de population** ».

Le **débit d'odeur** est défini conventionnellement comme étant le produit du débit d'air rejeté, exprimé en m^3/h , par **le facteur de dilution ou seuil de perception**.

L'arrêté préfectoral d'autorisation d'une ICPE fixe, le cas échéant, le débit d'odeur des gaz émis dans l'atmosphère par l'ensemble des sources odorantes canalisées, canalissables et diffuses à ne pas dépasser. L'utilisation d'un olfactomètre dynamique (figure ci-après) est nécessaire afin de diluer l'échantillon avec un gaz inodore. Cet appareil peut jouer deux rôles : le premier est de diluer l'échantillon avec le gaz inodore d'un facteur de 10 à 10 000, le second est de présenter le mélange aux membres du jury. Le débit de sortie est de l'ordre de $2\text{m}^3/\text{h}$ (Gouronnec, 2004). La dilution se poursuit jusqu'à ce que l'effluent soit ressenti par 50% du jury constituant un échantillon de la population, c'est le facteur de dilution au seuil de perception, noté K_{50} (Rognon et Pourtier, 2001).

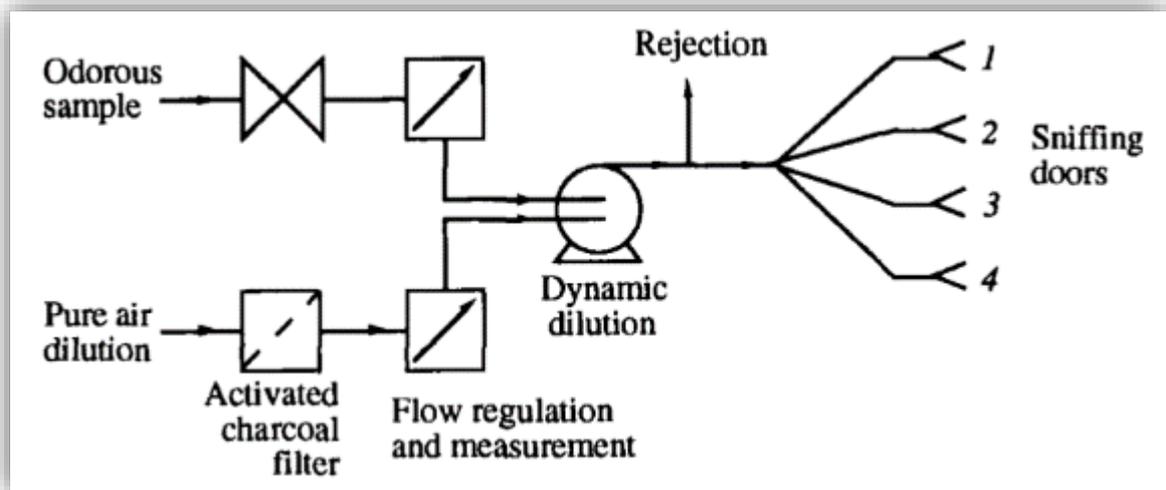


Figure 20. Olfactomètre à dilution dynamique. Source : Vigneron et al., 1994

En Europe, la **norme CEN** introduit une unité pour mesurer la concentration notée : uoE/m^3 . Elle désigne la quantité d'air odorant évaporée dans $1 m^3$ d'air neutre et détectée par le jury (seuil de détection). Cette quantité est équivalente 1 EROM (Afnor).

$$1 \text{ EROM} = 123 \mu\text{g}/m^3 = 1 \text{ uoE}/m^3$$

Il existe là encore **plusieurs méthodes pour mesurer le seuil de perception**, citons :

- **La méthode des limites**, où les stimuli sont présentés dans des suites ascendantes et descendantes ; **pour la suite ascendante, les stimuli vont *crescendo* jusqu'à ce que la personne perçoive l'odeur, pour la suite descendante les *stimuli* s'arrêtent jusqu'à la non-perception de l'odeur. Cette méthode est souvent utilisée dans les études environnementales sous l'appellation « séquentielle ascendante »** (Salesse et Gervais, 2012, Kôster, 1991).
- **La méthode par paliers** ressemble à la méthode des limites ascendantes puisque l'expérimentateur augmente progressivement la concentration jusqu'à ce que l'odeur soit perçue. Par contre, il n'y a pas d'engagement d'une nouvelle suite de stimuli comme nous l'avons vu dans la méthode précédente, mais à la place l'expérimentateur commence à stimuler avec une concentration plus faible. Si le

stimulus est ressenti il descendra d'un échelon, s'il n'est pas ressenti il augmentera d'un échelon. Cette procédure se poursuit généralement sur trois ou quatre changements successifs ce qui permet d'établir un seuil à mi-chemin entre ces réponses alternées (Kôster, 1991).

- **La méthode des stimuli constants** ou *méthode au hasard* se base quant à elle sur la sélection de 5 ou 7 stimuli de différentes concentrations, de manière à ce que le plus faible soit perçu dans 10% des cas, et le plus fort dans 90% des cas. Ces stimuli sont présentés plusieurs fois au jury (au moins 50 fois) dans un ordre aléatoire. Pour éviter l'adaptation et la fatigue, l'intervalle entre deux stimuli doit être au moins d'une minute (Salesse et Gervais, 2012, Kôster, 1991).
- **La méthode du choix forcé** nécessite un olfactomètre dynamique qui contient plus de 3 canaux (entre 3 et 5) (Kôster, 1991). L'un de ces canaux est alimenté par une substance odorante, tandis que les autres sont alimentés uniquement par de l'air inodore. Le sujet doit trouver le canal porteur de la substance odorante. En cas d'hésitation, il peut répondre au hasard (Gouronnec, 2004).
- Enfin, **la méthode de détection du signal**, élaborée par Green et Sweet en 1960, est un modèle mathématique utilisé en psychophysique qui consiste à étudier les performances de la mémoire au niveau de la reconnaissance. L'intérêt est de pouvoir évaluer d'une part les capacités de discrimination du sujet entre éléments à reconnaître (distinguer les éléments anciens des éléments nouveaux), et la stratégie qu'il adopte pour prendre sa décision, ou critère de réponse (être prudent/conservateur ou être libéral/prendre des risques). Cette méthode n'a jamais été utilisée en environnement en raison de la distorsion de réponse possible (le sujet peut être dans une situation d'hésitation s'il rencontre un signal faiblement détectable : il n'est alors pas sûr de sa réponse, et celle-ci pourrait varier), (Kôster, 1991).

Dans les études environnementales la méthode des limites est souvent employée afin d'obtenir un encadrement de la valeur brute du seuil de détection (Kôster, 1991).

b) L'intensité d'une odeur

L'intensité c'est la force, la puissance de quelque chose. La norme AFNOR NF X 43-103 définit l'intensité d'une odeur comme la grandeur de la sensation pour un stimulus supérieur à celui correspondant au seuil de perception. Elle est une fonction croissante de la concentration du mélange odorant jusqu'à la saturation (Gouronnec, 1993), c'est-à-dire, **qu'elle se situe entre le seuil de détection et celui de saturation** (loi de puissance selon Steven, ci-après).

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

Avec :

I = intensité perçue

C = concentration du mélange odorant dans l'air inhalé

C_0 = concentration au seuil de perception

I_0 = intensité odorante au seuil de détection (par définition $I_0 = 1$)

n = coefficient de l'accroissement odorant, compris entre 0,1 et 1 selon les odorants

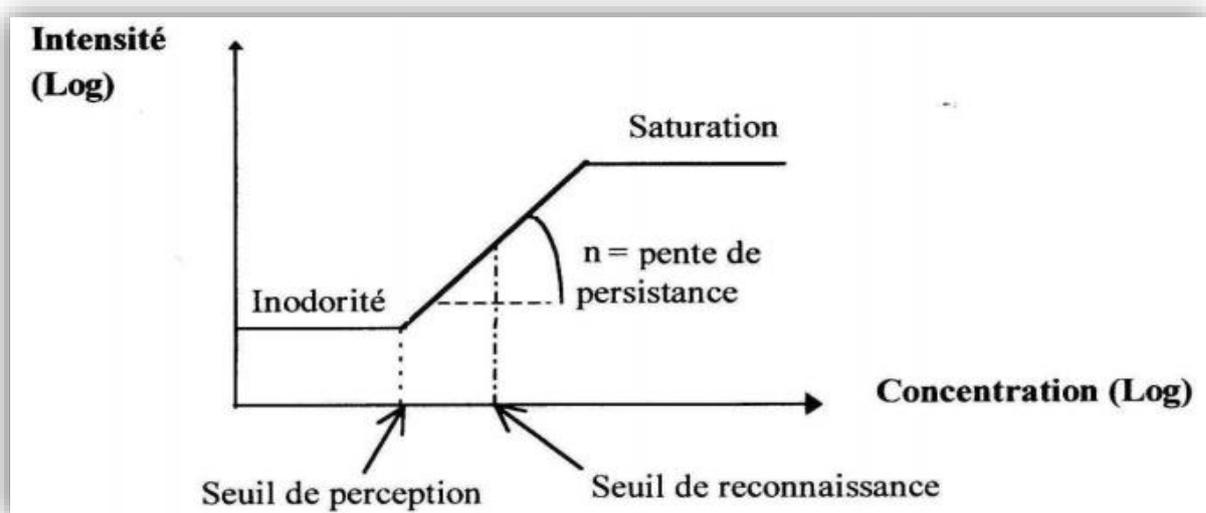


Figure 21. Loi de puissance selon Stevens. Source : Medjkoune, 2018

Nous savons que chaque augmentation de la concentration produit une augmentation de la sensation, jusqu'à la saturation. Il est donc possible d'en déduire une échelle d'intensité.

Là encore, plusieurs méthodes permettent de construire une **échelle d'intensité**.

- La **méthode des catégories**, comme son nom l'indique, est composée de 9 catégories qui vont d'extrêmement faible à extrêmement fort. Cependant, pour faciliter la tâche du jury le nombre de catégories a été diminué à 5. L'échelle qui suit montre les catégories supprimées (en rouge) (Kôster, 1991).

Description	Evaluation
Extrêmement faible	1
Très faible	2
Faible	3
Moyennement faible	4
Moyen	5
Moyennement fort	6
Fort	7
Très fort	8
Extrêmement fort	9



Ces catégories varient selon les normes des pays. Par exemple, la directive allemande VDI3882-1 fournit un canevas rigoureux de cette approche, en proposant une échelle à 7 niveaux, allant de « non perceptible » à « extrêmement fort » (Nicolas et *al.*, 2008).

- La **méthode d'équivalences olfactives** est souvent préférée, elle est normalisée en France (AFNOR X-43-103) ou aux USA (ASTM E 544-75) (Nicolas et *al.*, 2008). Elle se base sur la comparaison d'un échantillon à une gamme étalon. Celle-ci

forme une échelle d'intensité constituée de plusieurs échantillons gazeux composés de butanol-1 ou de pyridine, dilués dans une seule substance de référence. Cette substance peut être de l'air désodorisé ou de l'eau bi distillée inodore (Rognon et Pourtier, 2014).

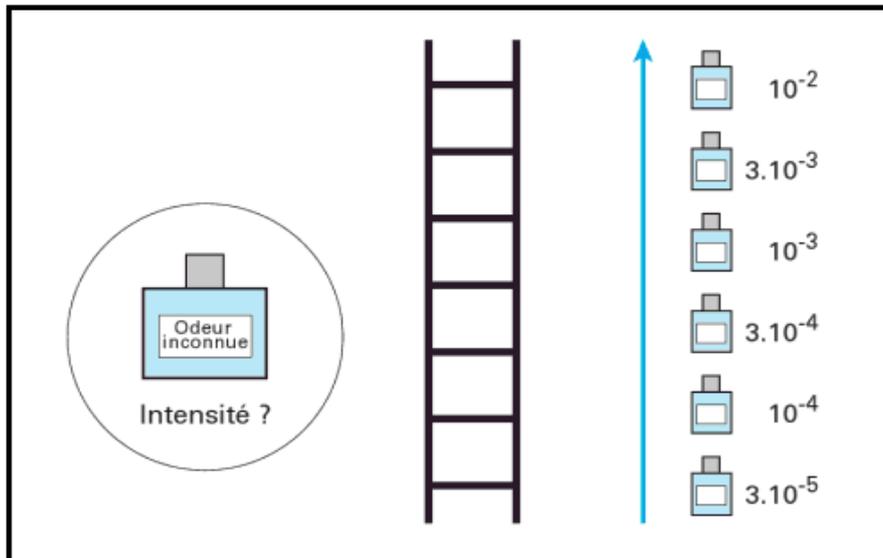


Figure 22. La mesure de l'intensité d'une odeur par la méthode des équivalences olfactives.

Source : Gouronnec, 2004

- **La méthode d'évaluation directe** : la plus directe de toutes, car elle laisse au jury le choix d'établir sa propre échelle de sensation en attribuant autant de valeurs qu'il le désire, y compris des décimales (Kôster, 1991).
- **La méthode d'équivalence** avec une autre modalité sensorielle : repose sur la comparaison de l'intensité d'un stimulus avec une sensation de même intensité pour une autre modalité sensorielle (Kôster, 1991).

La norme française NF X 43-103 recommande la méthode des " équivalences olfactives " afin de déterminer l'intensité d'une odeur.

Les outils utilisés pour réaliser la mesure de l'intensité odorante d'une atmosphère diffèrent selon le lieu : en **laboratoire**, l'olfactomètre réalise les dilutions calibrées des substances, alors que sur **le terrain** les échantillons sont présentés dans des sacs munis

d'un dispositif de flairage, ou dans des fioles de Fourneau qui sont des fioles cylindro-coniques de 250 ml dont le diamètre intérieur du col est de 30 ml (Rognon et Pourtier, 2010).

La mesure du seuil de détection ou la détermination de l'échelle d'intensité peuvent être influencées par plusieurs facteurs, tels que :

- *L'adaptation* : la sensibilité du système olfactif atteint à un moment un niveau de saturation où l'individu n'arrive plus à décrypter l'odeur et son intensité. Par exemple, en entrant dans un local fermé depuis longtemps, nous sentons des odeurs mais après un certain temps notre système olfactif s'y adapte et nous oublions ces odeurs exceptionnelles, même si nous n'aérons pas le local (Fanlo et Carre, 2006). Afin d'éviter l'adaptation des jurés aux odeurs, il est recommandé que les flairages soient espacés d'au moins 120 secondes (Kôster, 1991).
- *La distorsion de réponse* : pour éviter cette contrainte les membres du jury sont obligés de choisir une réponse. C'est la méthode du choix forcé.
- *Les maladies* : telles que les rhumes, les gripes, toutes les maladies qui touchent le système olfactif.
- *Les rythmes diurnes* : il est conseillé de ne pas effectuer des mesures entre 00h00 et 8h00, de même que l'après-midi.
- *La satiété* : les expériences doivent être réalisées avant les repas, car le seuil olfactif chez l'humain est plus élevé s'il a faim (Foguem, 2016).
- *La fatigue* : il est recommandé d'effectuer une seule séance d'une heure dans la journée, de préférence le matin.
- *L'âge* : le vieillissement diminue la sensibilité olfactive (Dubois et Rouby, 1997) (Stevens et Dadarwala, 1993).

- *L'Influence hormonale* : les femmes sont en moyenne plus sensibles que les hommes, mais cette sensibilité peut être affectée par le cycle ovarien (Beguin et Costermans, 1994).

c) La qualité d'une odeur

Elle correspond à son identification par l'individu avec des mots qui la décrivent. **Mais à la différence du goût, pour lequel nous distinguons 5 classes (amer, salé, sucré, acide, umami), il est difficile de déterminer des classes d'odeurs, et ce, malgré de multiples essais.**

Les premières classifications d'odeurs remontent au XVI^{ème} siècle. Elles ont été utilisées comme critères de classification dans les descriptions des plantes. Ce sont surtout les propriétés aromatiques des plantes qui sont alors utilisées comme référence, et non les odeurs en elles-mêmes (à cette époque l'odeur et le goût étaient dévalués, car ils étaient considérés comme des critères subjectifs).

Entre 1755 et 1798, 6 classifications différentes d'odeurs sont recensées : on peut citer la classification du Père Polycarpe Poncelet (1755) qui contient 3 catégories, et la classification de Linnaeus (1764) composée quant à elle de 7 catégories (Lazorthes, 1992), (Dubois, 2006).

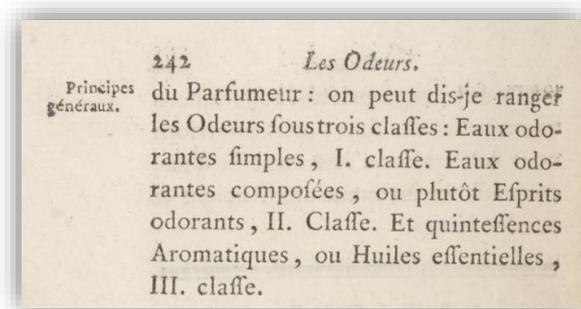


Figure 23. Les trois classes d'odeurs selon le Père Polycarpe Poncelet. Source : Chimie du goût et de l'odorat (1755)

La classification d'odeurs, **fondée sur les propriétés aromatiques des odeurs** en elles-mêmes, sera réalisée plus tard, en 1898, par le hollandais Zwaardemaker (1857-1930). Elle est composée de 9 groupes d'odeurs : l'odeur **éthérée** (les fruits), **aromatique** (les amandes...), **caprylique** (fromage, graisse, sueur...), **flagrante** (fleur...), **ambrosiaque** (musc...), **alliacé** (ail, soufre, chlore...), **empyreumatique** (odeur de brûlé), **répulsive** (punaise...), **nausée** (chair, ou végétaux putrides, matière fécale) (Havelock, 1933).

À partir des progrès faits dans la description des molécules dans les années 1950, John Amoore a proposé une théorie impliquant 7 catégories d'odeurs, **fondées sur la forme et la taille moléculaires**. Ces catégories sont les odeurs « **éthérées** », « **camphrées** », « **florales** », « **menthées** » ou « **musquées** », auxquelles s'ajoutent deux classes construites sur les paramètres physico-chimiques : « **électrophilie** » et « **nucléophilie** », associées respectivement à « **pungent** » et « **putride** ». En élaborant cette théorie, Amoore a placé la notion de récepteur moléculaire des substances odorantes au cœur des réflexions sur la catégorisation des odeurs (Candau, 2000, Dubois, 2006).

Mais, la classification la plus répandue est celle qui contient 10 classes d'odeurs, réalisée à partir de « *l'Atlas of odor character profiles* » d'Andrews Dravnieks, datant de 1985, qui contient 144 odeurs. Cette classification et réduction (de 144 à 10) est obtenue grâce aux travaux de Jason Castro et *al.* (2013) qui a utilisé la factorisation en matrices non-négatives (NMF) qui est « similaire à une compression d'un fichier numérique, dont la taille réduit sans sacrifier les informations utiles ».

W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
FRAGRANT	WOODY, RESINOUS	FRUIT, OTHER THAN CITRUS	SCKENING	CHIMICAL	MINTY, PEPPERMINT	SWEET	POPCORN	SCKENING	LEMON
FLORAL	MUSTY, EARTHY, MOLDY	SWEET	PUTRID, FIOUL, DECAYED	ETHERISH, ANAESTHETIC	COOL, COOLING	VANILLA	BURNT, SMOKY	GARLIC, ONION	FRUITY, CITRUS
PERFUMERY	CEDARWOOD	FRAGRANT	RANCID	MEDICINAL	AROMATIC	FRAGRANT	PEANUT BUTTER	HEAVY	FRAGRANT
SWEET	HERBAL, GREEN, CUT GRASS	AROMATIC	SWEATY	DISINFECTANT, CARBOLIC	ANISE (LICORICE)	AROMATIC	NUTTY (WALNUT ETC)	BURNT, SMOKY	ORANGE
ROSE	FRAGRANT	LIGHT	SOUR, VINEGAR	SHARP, PUNGEANT, ACID	FRAGRANT	CHOCOLATE	OILY FATTY	SULFIDIC	LIGHT
AROMATIC	AROMATIC	PINEAPPLE	SHARP, PUNGEANT, ACID	GASOLINE, SOLVANT	MEDICINAL	MALTY	ALMOND	SHARP, PUNGEANT, ACID	SWEET
LIGHT	LIGHT	CHERRY (BERRY)	FECAL (LIKE MANURE)	PAINT	SPICY	ALMOND	HEAVY		COOL, COOLING
COLOGNE	HEAVY	STRAWBERRY	SOUR MILK	CLEANING FLUID	SWEET	CARAMEL	WARM	PUTRID, FIOUL, DECAYED	AROMATIC
HERBAL, GREEN, CUT GRASS	SPICY	PERFUMERY	MUSTY, EARTHY, MOLDY	ALCOHOLIC	EUCALIPTUS	LIGHT	MUSTY, EARTHY, MOLDY	SWEER	HERBAL, GREEN, CUT GRASS
VIOLETS	BURNT, SMOKY	BANANA	HEAVY	TURPENTINE (PINE OIL)	CAMPHOR	WARM	WOODY, RESINOUS	BURNT, RUBBER	SHARP, PUNGEANT, ACID

Tableau 8. Les 10 classes d'odeurs. Source : Castro et *al.*, 2013

Fruité	Floral	Végétal	Boisée	Empyreu- matique	Épicé	Fermentaire	Animal	Minéral	Chimique
Abricot	Œillet	Herbacé	Balsa	Cacao	Cake	Brioche	Cuir	Craie	Alcool
Pomme	Rose	Buis	Pin	Pain grillé	Miel	Mie de pain	Fourrure	Fer	Rance
Figue	Violette	Poivron	Cèdre	Pain d'épices	Nougat	Biscuit	Gibier	Iode	Pétrole
Cerise	Lilas	Humus	Résine	Tabac	Cannelle	Levure	Jus de viande	Pierre à fusil	Goudron
Cassis	Jasmin	Romarin	Vanille	Thé	Cardamom e	Cire d'abeille	Musc		Chlore
Fraise	Camomille	Champig non	Eucalyptus	Café	Poivre	Beurre	Faisandé		Soufre
Mûre	Tilleul	Truffe	Chêne	Caramel	Girofle	Bonbon anglaise	Bouc		Œuf pourri
Noisette	Verveine	Sous- bois	Santal	Torréfié	Thym		Venaison		Colle
Banane	Géranium	Menthe	Teck	Fumée	Laurier				Carton mouillé
Litchi	Muguet	Basilic	Sous-bois	Brulé	Réglisse				Vinaigre

Tableau 9. Les 10 classes d'odeurs. Source : Vignerons, 2010

d) La tonalité « affective » ou « hédonique »

Les odeurs sont « agréables » ou « désagréables », très peu nous paraissent complètement neutres. Cet aspect s'appelle la tonalité « affective » ou « hédonique ».

La tonalité affective est un champ d'étude qui a attiré l'attention de plusieurs chercheurs. Certains ont essayé de comprendre la réaction des nouveau-nés et leurs réponses faciales aux valeurs hédoniques de différents arômes alimentaires (Steiner, 1979), (Rosenstein et Oster, 1988, Rotstein et *al.*, 2015), tandis que d'autres études ont fait la relation entre les odeurs mémorisées et les souvenirs d'enfance. Ainsi, par exemple une étude réalisée auprès de 500 étudiants de l'Université de Nice Sophia Antipolis a montré que la plupart des souvenirs olfactifs plaisants sont souvent rattachés à l'enfance (Candau, 2016), ou syndrome de Proust. Les souvenirs associés au son et à la vision font plus fréquemment référence à l'adolescence et au début de l'âge adulte (11-20 ans) (Plailly et *al.*, 2016).

La tonalité d'une odeur dépend de plusieurs facteurs :

- Tels que l'histoire, la culture de l'individu. Par exemple l'odeur du durian, qui est un fruit d'origine sud-est asiatique est accepté par les autochtones, mais elle « pue » : « la mort », « le vomi », « les chaussettes mal lavées » ou « les excréments », c'est un fruit qui a « l'odeur de l'enfer » ... pour les occidentaux (Mariani, 2014).
- **Une odeur agréable devient désagréable à de très fortes concentrations. Il y a donc un seuil qui fait basculer du caractère agréable à désagréable** (Bonnefoy, 2007).
- L'aversion pour une odeur peut se produire suite à un évènement désagréable. Dans ce cas, l'individu essaie d'éviter cette odeur de manière à éviter l'évènement associé. Par contre, si l'odeur est liée à un évènement agréable l'individu n'évite pas l'odeur, au contraire il essaie de reproduire cet évènement en la recherchant

(Razafindrazaka, et *al.*, 2016). **Cependant, la préférence de l'individu pour l'odeur diminuera avec le temps, contrairement à l'aversion** (Kôster, 1991).

- **Certaines substances changent d'odeur en fonction de la concentration** (Fanlo et Carre, 2006), c'est le cas de l'eugénol ($C_{10}H_{12}O_2$) qui est un produit chimique connu pour son odeur de géranium. Cependant, à forte concentration, il prend l'odeur du clou de girofle (Kôster, 1991).

Une odeur désagréable peut potentiellement provoquer une gêne olfactive. La puissance de cette gêne est en relation avec la concentration, l'intensité et la qualité de l'odeur concernée : plus la concentration et l'intensité sont fortes, plus la gêne peut potentiellement être ressentie.

Il existe cinq méthodes pour mesurer les gênes olfactives et remonter à leurs sources d'émission :

- ***Les plaintes ou les réclamations*** sont des indicateurs d'une nuisance olfactive ressentie par le public. En France, ces plaintes sont généralement déposées soit auprès des Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), soit à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), ou bien encore à la Préfecture de police lorsqu'il s'agit de la région parisienne.
- ***La réalisation de modèles de dispersion*** : cette méthode se base sur le prélèvement d'échantillons à la source. Une fois la concentration connue, les chercheurs déterminent des modèles de dispersion qui tiennent compte des conditions climatiques dominantes et des particularités géographiques. Ces modèles permettent d'estimer la puissance odorante à différentes distances de la source (Kôster, 1991).

Nous pouvons distinguer deux types de modèle de dispersion, la modélisation “directe” de dispersion et la modélisation de “rétro-dispersion” ou “rétro-traçage” de déplacement des molécules odorantes.

- **La modélisation de dispersion “directe”** des composés odorants a pour but d’appréhender les dimensions d’intensité, de fréquence, voire de durée de l’odeur, et de reproduire les processus atmosphériques qui sont pour la plupart basés sur l’équation d’advection-diffusion qui représente un bilan de matière effectué dans l’atmosphère sur un champ scalaire par les processus d’advection par le vent et de diffusion turbulente et moléculaire (Barnéoud, 2010). Ceci dans le but de déterminer l’impact des émissions odorantes sur les riverains. Ce type de modélisation se heurte à différentes difficultés telles que, la multitude des sources et la nature des rejets (sources ponctuelles, surfaciques parfois de grandes tailles, rejets intermittents par bouffées) composés multiples, conditions météorologiques telles que la vitesse du vent, la stabilité thermique de l’atmosphère, la turbulence et l’occupation du sol (rugosités, couverts végétaux, surfaces humides), les obstacles, les reliefs, (Schmitt-Foudhil, 2010).

La gêne dépend du niveau d'odeurs constaté, mais aussi de la durée pendant laquelle il opère. **Des odeurs très désagréables auront un seuil de tolérance faible auprès des populations, et la gêne sera avérée même si l'odeur persiste pendant des temps très courts.** La question de l'information recherchée est donc très subjective, ce qui singularise la donnée obtenue par la mise en œuvre de modèles de dispersion (Rouil, 2014).

Modèle	Caractéristiques
Modèle de panache	- Calcul du déplacement vertical et du devenir du panache dans la phase initiale de dispersion. - Formulations semi-empiriques ou plus élaborées.
Modèle gaussien	- Modèle le plus commun en pollution atmosphérique. - Modèle basé sur l'hypothèse selon laquelle la concentration dans le panache suit des lois

	<p>de distribution gaussienne indépendantes dans chacune des directions de l'espace.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Possibilité de prendre en compte des sources surfaciques ou volumiques, ainsi que la modélisation dans le sillage d'un immeuble.
Modèle lagrangien	<ul style="list-style-type: none"> - Calcul des trajectoires des particules de fluide (volumes élémentaires de fluide) dans un écoulement turbulent. - Décomposition des panaches en éléments tels que des segments ou des particules. - Utilisation d'un certain nombre de particules factices pour simuler la dynamique d'un paramètre physique choisi.
Modèle eulérien	<ul style="list-style-type: none"> - Division du domaine de calcul en volumes élémentaires. - Résolution numérique des équations dans chacun des volumes à partir des valeurs contenues dans les volumes voisins.
Modèle stochastique	<ul style="list-style-type: none"> - Modèle basé sur des techniques statistiques ou semi-empiriques qui analysent les tendances, les périodicités et les corrélations entre la qualité de l'air et les mesures atmosphériques. - Prévision de l'évolution des épisodes de pollution. - Utilisation de plusieurs techniques : analyse de distribution de fréquence, analyse de séries chronologiques, modèle de Box-Jenkins, analyse spectrale. - Modèle limité car ne permettant aucun établissement de rapport de cause à effet. - Modèle utilisé dans les situations telles que des prévisions à court terme.
Modèle semi-empirique	<ul style="list-style-type: none"> - Existence de plusieurs types de modèles développés principalement pour des applications pratiques. - Différences conceptuelles considérables entre les modèles. - Modèle caractérisé par de nombreuses simplifications et un degré élevé de paramétrisations empiriques.
Modèle d'immission	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de concentrations observées en un point pour chercher à établir la contribution des différentes sources. - Approche basée sur la connaissance de la composition chimique des produits d'émissions des différentes sources et des produits d'immission.

	<ul style="list-style-type: none"> - Modèles basés sur les équations de conservation de la masse et intrinsèquement statistiques dans le sens où ils n'incluent pas de rapport déterministe entre les émissions et les concentrations. - Développement de modèles couplés dispersion-immission qui paraissent très prometteuses.
--	--

Tableau 10. Les différents types de modèles de dispersions. Source : Riesenmey, 2013

Le deuxième type de modélisation, que nous appelons **modélisation de “rétro-dispersion” ou “retro-traçage”** a pour but de tracer le déplacement des molécules odorantes en croisant les bases de données de gêne olfactive (des plaintes, des observations de jury) avec la météorologie et la cartographie (Mesbah et Selvanizza, 2017). C’est le cas d’**Odotrace** qui est un outil d’investigation pour déterminer les sources d’odeurs à l’origine des nuisances olfactives et qui extrait les données de la station météorologique la plus proche. Ensuite, il trace trois cônes (1 cône chaque 15 mn) pour tenir compte des odeurs émises pendant les 45 mn précédant l’observation (figure ci-après). **Ces cônes permettent de délimiter la zone la plus probable dans laquelle a été émise l’odeur**, ils facilitent l’identification de la source odorante. Cet outil est utilisé par plusieurs établissements : site de Lavéra (Martigues), Arcelor Mittal (Fos-sur-Mer) (Béal et *al.*, 2006).

Pour plus de précisions, notamment dans les zones présentant un relief important, l’exploitation du logiciel **Iquart** est indispensable. Il permet à Odotrace de disposer en plus des données météorologiques des 40 stations de la région d’un maillage de données interpolées (stations fictives).

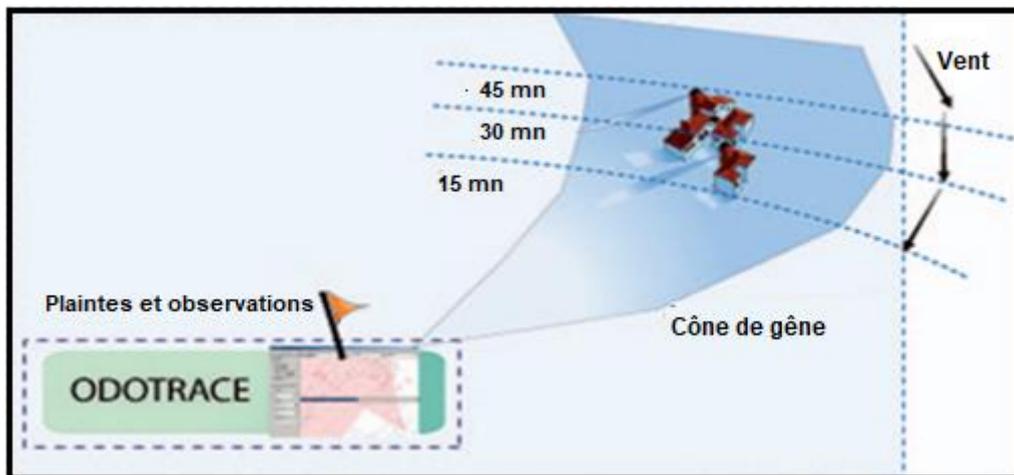


Figure 24. Cône de gêne tracé à partir de la direction et de la vitesse du vent.
Source : Odotrace

- **La réalisation de sondages** : dans cette méthode les riverains doivent faire appel à leur mémoire pour identifier quand et avec quelle intensité et gêne ils ont ressenti la nuisance (sur quelques jours à plusieurs semaines). Cela pose un problème de sous-estimation ou de surestimation de la fréquence des nuisances et/ou de leur intensité, et donc du degré de gêne produit : l'objectivité est mise en question (Gouronnec, 1993).
- **Les jurys de nez** : cette méthode est développée par une équipe de chercheurs de l'Université d'Utrecht (Kôster, 1991). Ce sont des personnes bénévoles riverains des sites étudiés. Elles sont invitées à répondre à des questionnaires concernant la qualité de l'air qu'elles respirent à un moment bien déterminé et sur une période qui peut durer des mois (Perrin et al., 1994). L'échelle verbale précédée par une question « filtre » (sentez-vous une odeur ? si oui, êtes-vous gêné ?) semble être la plus fiable (Kôster, 1991).

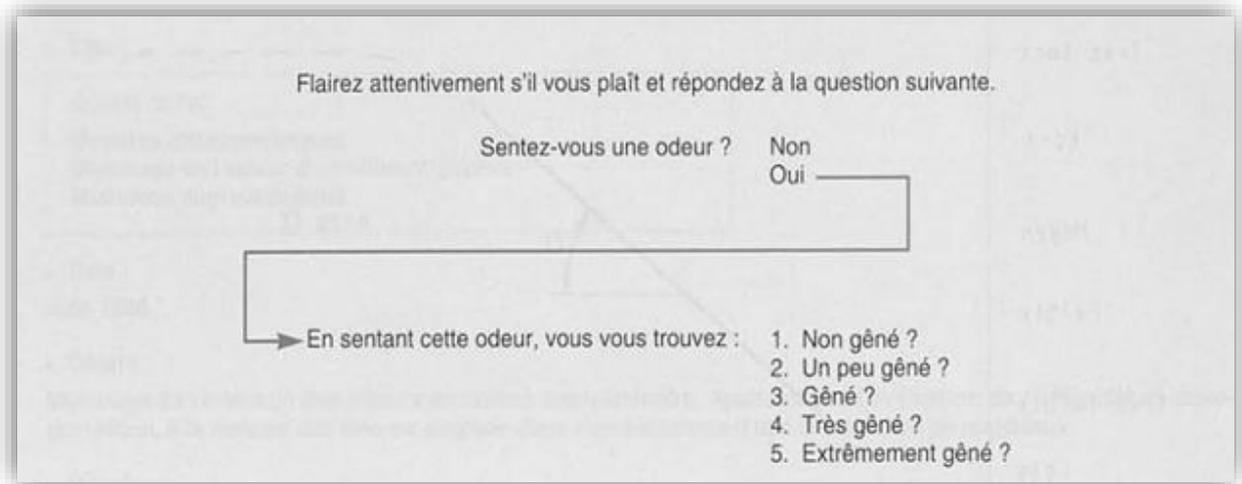


Figure 25. Échelle verbale précédée par une question « filtre ». Source : Kôster, 1991

Des réponses des jurys, un **Indice de Nuisance Odorante (INO)** peut être établi en utilisant la formule suivante (Kôster, 1991) :

$$\text{INO} = 0N_0 + 0N_1 + 25N_2 + 50N_3 + 75N_4 + 100N_5 / N_{\text{total}}$$

Avec :

N_0 : nombre des personnes ayant répondu : « pas d'odeur ».

N_1 : nombre des personnes ayant répondu : « non gêné »

N_2 : nombre des personnes ayant répondu : « un peu gêné »

N_3 : nombre des personnes ayant répondu : « gêné »

N_4 : nombre des personnes ayant répondu : « très gêné »

N_5 : nombre des personnes ayant répondu : « extrêmement gêné »

L'INO est compris entre 0 et 100, il est nul quand les jurys ne sont pas gênés, et égal à 100 lorsque les jurys sont extrêmement gênés. L'utilisation de cet indice permet de connaître le niveau de gêne dans un quartier, dans une commune. Il peut être visualisé sur des courbes en fonction du temps ou de l'espace (Gouronnec, 1993).

Dans le tableau ci-dessous, nous avons le niveau de gêne cité par les plaignants dans notre zone d'étude. Nous allons l'exploiter pour calculer l'Indice de Nuisance Odorante (INO) : dans ce cas, le niveau « extrêmement gêné » manque. En conséquence, nous avons utilisé des coefficients différents de ceux utilisés dans la formule (33, 67, 100).

$$\text{INO} = ((0 \times 63) + (0 \times 139) + (33 \times 602) + (67 \times 5752) + (100 \times 14312)) / 20864$$

$$= 88.003 \%$$

Nous constatons que l'INO est très élevé (88 %) : nous pouvons comprendre cette situation car une plainte est généralement déposée lors d'une extrême gêne.

Niveau de gêne	Nombre de plaintes
NR	63
Pas gêné	139
Peu gêné	602
Gêné	5 752
Très gêné	14 312
	20 868

Tableau 11. Le nombre de plaintes par niveau de gêne

Lorsque ces niveaux de nuisances olfactives ou de gêne sont élevés, les pouvoirs publics peuvent alors commander des mesures physico-chimiques pour déterminer précisément les odorants responsables de ces odeurs gênantes.

1.3.3.2 La mesure physico-chimique

Le recours à la mesure physico-chimique permet aux chercheurs de décrypter plus précisément les composés odorants émis par les sources. Comme nous l'avons vu précédemment (dans les mesures et les prélèvements), ce type de mesure nécessite, surtout, un prélèvement par absorption et/ou adsorption. Certains polluants étant très réactifs (ex. H₂S), il est conseillé de réaliser leur mesure et analyse directement sur site, et rapidement (en quelques heures).

La mesure physico-chimique est complexe, car les effluents gazeux odorants contiennent des centaines de composés plus ou moins connus. De plus, les masses molaires sont très diverses et les concentrations relatives très variables (Ramel, 1996).

a) Les molécules étudiées

Voici à présent les principales familles de composés qui peuvent être à l'origine de nuisances olfactives :

<u>Composé</u>	<u>Formule</u>	<u>Odeur</u>	<u>Limite de détection (ppm)</u>
<u>Composés soufrés</u>			
Hydrogène sulfuré	H ₂ S	Œuf pourri	0.5
Disulfure de carbone	CS ₂	Désagréable	7.7
Diméthyl sulfure	CH ₃ -S- CH ₃	Légumes pourris	1.0
Diméthyl disulfure	(CH ₃) ₂ -S ₂	Légumes pourris	0.026
Diméthyl trisulfure	(CH ₃) ₂ -S ₃	Légumes pourris	1.2
Méthyl mercaptan	(CH ₃)-SH	Légumes pourris	0.02
Éthyl mercaptan	C ₂ H ₅ -SH	Légumes pourris	0.01
Alkyl mercaptan	C ₃ H ₅ -SH	Aillé	0.1
Propyl mercaptan	C ₃ H ₇ -SH	Déplaisante	0.1
Amyl mercaptan	C ₅ H ₁₁ -SH	Putride	0.02
Benzyl mercaptan	C ₆ H ₅ -CH ₂ -SH	Déplaisante	0.3
Thiophénol	C ₆ H ₅ -SH	Putride, aillé	0.3
Dioxyde de soufre	SO ₂	Irritant	449
Diéthyl sulfure	(C ₂ H ₅) ₂ -S	Éthérée	4.4
<u>Composés azotés</u>			
Ammoniac	NH ₃	Irritant	38.3
Méthylamine	(CH ₃)NH ₂	Poisson, âcre	19.5
Diméthylamine	(CH ₃) ₂ NH	Poisson, urine	46.0
Triméthylamine	(CH ₃) ₃ N	Poisson, âcre	0.046
Éthylamine	C ₂ H ₅ NH ₂	Acres	950
Indole	C ₈ H ₆ NH	Fécal, nauséabond	0.6
Scatole	C ₉ H ₈ NH	Fécal, nauséabond	0.14
Cadavérine	NH ₂ (CH ₂) ₅ NH ₂	Viande avariée	0.18

<u>Acides gras volatiles</u>			
Acide formique	HCOOH	Vinaigre	24
Acide acétique	CH ₃ COOH	Rance	1019
Acide propionique	CH ₃ CH ₂ COOH	Rance	27.8
Acide butyrique	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	Déplaisant	0.3
Acide valérique	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	Désagréable	0.6
<u>Alcools</u>			
Méthanol	CH ₃ OH	Alcool	9950
Éthanol	C ₂ H ₅ OH	Alcool	342
Butanol	C ₄ H ₉ OH	Alcool	1.8
Phénol	C ₆ H ₅ OH	Médicinale	46
Crésol	C ₆ H ₅ CH ₂ OH	Médicinale	0.28
<u>Esters</u>			
Acétate de propyle	CH ₃ COO(CH ₂) ₂ CH ₃	Fruit (poire)	670
Acétate de butyle	CH ₃ COO(CH ₂) ₃ CH ₃	Caoutchouteux	320
cétate d'éthyle	CH ₃ COOCH ₂ CH ₃	Herbeux	3900
<u>Aldéhydes</u>			
Acétaldéhyde	CH ₃ CHO	Fruit	0.1
Formaldéhyde	HCHO	Acre	100
Butyraldéhyde	C ₃ H ₇ CHO	Rance	13
Propionaldéhyde	CH ₃ CH ₂ CHO	Rance	72
Isovaleraldéhyde	Iso C ₄ H ₉ CHO	Fruit pomme
<u>Cétones</u>			
Acétone	CH ₃ COCH ₃	Sucré, mentholé	464
Butanone	CH ₃ CO(CH ₂) CH ₃	Sucré, mentholé	250
2-pentanone	CH ₃ CO(CH ₂) ₂ CH ₃	Sucré	7970

Méthylisobutylcétone	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	Fruit doux	5400
<u>Benzéniques</u>			
Benzène	C_6H_6	Douceâtre	2300
Toluène	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	Naphtalénique	82
Xylène	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	Aigre	5.1
1.3.5 triméthylbenzène	$\text{C}_6\text{H}_3(\text{CH}_3)_3$	Aigre	40
Ethylbenzène	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_3$	Aigre	2300
<u>Composés chlorés</u>			
Trichloréthylène	CHClCCl_2	Solvant	28000
<u>Terpènes</u>			
Limonène	$\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	Citron	500
Pyrène	$\text{C}_{16}\text{H}_{10}$	Forêt	10000

Tableau 12. Les composés odorants sources de nuisances olfactives. Source :

https://www.record-net.org/storage/etudes/03-0808-0809-1A/rapport/Rapport_record03-0808-0809_1A.pdf

b) Les instruments de mesure

Jean-Henri Fabre, dans ses " Souvenirs Entomologiques " (L'odorat, 1900, série VII, chapitre 25) souhaitait disposer d'un « radiographe » des odeurs : « Que la science, instruite par la bête, nous dote un jour du radiographe des odeurs, et ce nez artificiel nous ouvrira tout un monde de merveilles ».

Le « nez électronique », ou le « nez artificiel », permet une analyse facile, rapide et mobile d'un mélange de gaz (De Vito et *al.*, 2015), grâce à un couplage d'un grand nombre de capteurs reliés à des colonnes chromatographiques et éventuellement à des spectromètres de masse ce qui lui donne la spécificité d'un " analyseur objectif des odeurs " (Laffort, 1991). Il est composé de trois couches, le premier étage étant représenté par un système d'échantillonnage, le second correspondant au réseau de capteurs chimiques et le troisième au système de reconnaissance de formes (De Vito et *al.*, 2015).

Grâce à ses capacités chimiométriques performantes, cet outil a été appliqué dans plusieurs domaines dans le but de fournir des capacités de détection, d'identification et de quantification de mélanges chimiques (Pearce et *al.*, 2007). Parmi ces domaines, le domaine médical : le nez électronique est utilisé pour détecter les composés organiques volatils spécifiques (COV) qui sont des bio-indicateurs efficaces de la maladie, présents par exemple, comme nous l'avons vu précédemment, dans l'haleine humaine (Wilson, 2012, Pajot, 2019). Ils sont également utilisés dans le domaine de l'environnement afin de mesurer des polluants tels que : le benzène (C₆H₆), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO₂), etc. (De Vito et *al.* 2009), ainsi que l'intensité des odeurs d'origine industrielle, car le nez électronique permet une mesure en temps réel (Deshmukh et *al.*, 2015). Dans la figure 26, les capacités du nez humain et du nez électronique sont comparées, la différence se manifeste dans le résultat. Le nez électronique discrimine plus les odorants.

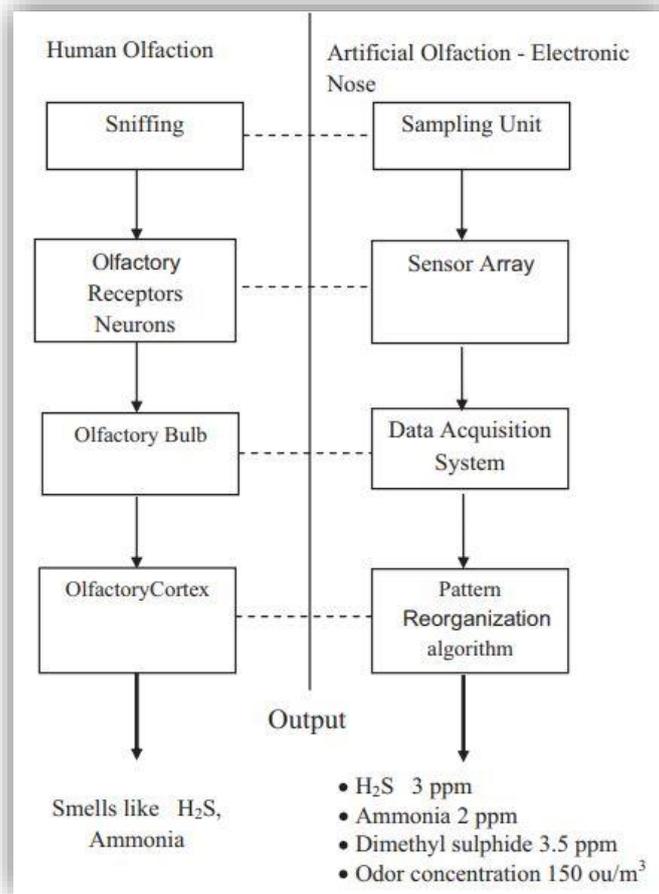


Figure 26. Comparaisons entre le fonctionnement d'un nez humain et un nez électronique.

Source : Deshmukh et *al.*, 2015

Ces mesures, qu'elles soient sensorielles et encore plus physico-chimiques vont permettre d'élaborer des lois et réglementations afin de surveiller la qualité de l'air.

1.4 Des odeurs et des lois

Plusieurs activités peuvent être sources de mauvaises odeurs : la fabrication d'engrais, le stockage et le traitement des déchets, la fabrication de pâte à papier, le raffinage, l'épuration, l'équarrissage... Ces activités sont soumises à des lois afin de minimiser leurs impacts olfactifs sur les riverains. La plupart de ces activités sont soumises à la réglementation sur les installations classées.

1.4.1 La surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air et son caractère odorant concernent trois acteurs : les établissements, les pouvoirs publics, et les riverains.

1.4.1.1 Les établissements (les émetteurs)

La volonté d'intégration dans un espace et le souci environnemental mènent de plus en plus les établissements à surveiller leurs différents rejets. La surveillance des odeurs a pour objectifs :

- D'agir pour prévenir, sur la base d'études antérieures et de l'identification de toute nuisance olfactive.
- D'avertir la population en cas de risque, et d'identifier les zones qui pourraient être touchées (dans ce cadre plusieurs établissements utilisent Odotrace afin de déterminer le déplacement de la « pollution » olfactive).
- De contrôler l'efficacité des systèmes mis en place (désodorisants, nez électroniques).

- De respecter la réglementation, car les législations exigent que les établissements effectuent un certain nombre de contrôle d'odeurs.

1.4.1.2 Les pouvoirs publics

Les pouvoirs publics à l'interface entre les émetteurs et les récepteurs, surveillent la qualité de l'air qui doit rester neutre. Cette surveillance est assurée *via* différentes lois. Les pouvoirs publics veillent au respect de ces réglementations. En France, suite à la loi LAURE la surveillance de la qualité de l'air a été rendue obligatoire et permanente.

1.4.1.3 Les riverains (les récepteurs)

Toute personne a le droit de vivre chez elle sans nuisance. Mais **les odeurs peuvent s'inviter dans les habitations, à n'importe quel moment, ce qui est ressenti comme une intrusion dans l'espace des riverains.** Les riverains par leurs plaintes font en quelque sorte office de vigie, ils peuvent également faire partie d'un jury de nez. Ils fournissent eux aussi des informations en temps réel, mais qui restent subjectives en raison de la variabilité interindividuelle (facteurs socio-culturels et autres).

1.4.2 Les réglementations

1.4.2.1 En France

Afin de gérer le territoire et appliquer les lois qui assurent une bonne qualité de l'air pour les riverains, les pouvoirs publics se sont engagés à faire appliquer les réglementations qui doivent être respectées par les établissements (émetteurs). Le décret du 15 octobre 1810 représente l'un des actes inaugurant le contrôle de la pollution olfactive malgré le fait qu'il vise des secteurs définis (la fabrication de soude, des acides et du chlore). La deuxième moitié de XX^{ème} est caractérisée par la promulgation de la loi du 2 août 1961 qui fixe dans son premier article les lignes principales de cette loi : « les immeubles, établissements industriels, commerciaux, artisanaux ou agricoles, devront être construits, exploités ou utilisés de manière à satisfaire aux dispositions prises en

application de cette loi **afin d'éviter les pollutions de l'atmosphère et les odeurs qui incommode la population, compromettent la santé ou la sécurité publique** ».

Cette loi est suivie par la loi du 19 juillet 1976 qui est fondamentale dans la préservation de l'environnement, car elle prévoit un classement rigoureux des installations selon le degré de nuisances, de dangers ou d'inconvénients qu'elles présentent. Elle classe les établissements industriels en deux types : **les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les installations non classées.**

- **Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)**

La **loi du 19 juillet 1976** représente le **fondement des prescriptions sur les nuisances olfactives**. Elle envisage un classement de tout type d'installation selon le degré de nuisances ou d'inconvénients qu'elle présente « ***soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publique, soit pour l'agriculture, la protection de la nature et de l'environnement, ou la conservation des sites et des monuments*** ». Le classement des ICPE constitue une nomenclature qui contient 200 rubriques.

La France compte en 2019 environ 500 000 établissements relevant de la législation des installations classées selon leur activité ²⁴, la nature et la quantité de produits stockés ou mis en œuvre :

- Environ 450 000 installations sont soumises à déclaration, tandis que seuls 3 120 établissements sont soumis à un simple enregistrement.
- 41 400 établissements comprennent au moins une installation soumise à autorisation dont 6 500 établissements relevant de la directive IED, soit les installations les plus polluantes, et 1 205 établissements relevant de la directive Seveso, parmi lesquels 657 sont classés « Seveso seuil haut ».

²⁴ <https://www.actu-environnement.com/ae/news/ICPE-statistiques-chiffres-cles-inspection-23816.php4>

- **Les installations non classées**

Les installations non classées ne sont pas concernées par la législation des ICPE, elles sont soumises au règlement sanitaire départemental, relevant de la compétence des maires. Celui-ci est composé d'un ensemble de règles et décrets visant essentiellement à réduire les causes de pollution. Les odeurs sont prises en compte dans ce règlement au travers de mesures qui concernent la salubrité des habitations, des agglomérations, et de tous les milieux de vie de l'homme.

Selon l'article L 514-4 du Code de l'Environnement, **« lorsque l'exploitation d'une installation non comprise dans la nomenclature des installations classées présente des dangers ou des inconvénients graves pour les intérêts mentionnés à l'article L 511-1 (dont la « commodité du voisinage »), le préfet, après avis – sauf cas d'urgence – du maire et de la commission départementale consultative compétente, met l'exploitant en demeure de prendre les mesures nécessaires pour faire disparaître les dangers ou les inconvénients dûment constatés »**. Faute de quoi l'exploitant s'expose aux sanctions administratives fixées à l'article L 514-1 du Code (versement d'une somme correspondant au montant des travaux jusqu'à exécution de ces derniers, exécution d'office des travaux ou suspension du fonctionnement de l'installation jusqu'à exécution des travaux).

Activité non classée	Activité classée ICPE
<ul style="list-style-type: none"> • Réglementation sanitaire départementale 	<ul style="list-style-type: none"> • Décret du 15 octobre 1810 relatif aux manufactures et ateliers insalubres, incommodes ou dangereux (Chemin, 1996). • Loi 1917-12-19 du 19 décembre 1917 relative aux établissements insalubres ou incommodes (Chemin, 1996). • Décret 53-577 du 20 mai 1953 et ses modifications (NOMENCLATURE). • Un article du livre I (L.142-2) et plusieurs articles du livre V, titre 1 (art.L.51z-w) (Code Env.) ex-loi 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

<p>Ou</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si nuisance importante art.L.514-4 du Code de l'environnement (ex art. 26 de la loi 76-663 du 19 juillet 1976) 	<ul style="list-style-type: none"> • Décret 77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi 76-663. 		
<p>ICPE soumise à déclaration</p>	<p>ICPE soumise à autorisation</p>	<p>ICPE soumise à Enregistrement</p>	
<p>Prescriptions générales fixées dans</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrêtés-types, chapitre 6 alinéa 1 (avant la refonte de la nomenclature, en 1992). • Arrêtés ministériels, chapitre n° 6 de l'annexe I (après la refonte de la nomenclature, en 1992). <p>Plus prescriptions spéciales : fixées par le préfet.</p>	<p>Étude d'impact contenu fixé dans :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Décret 77-1133 du 21 septembre 1977, art.3 <p>Prescriptions générales fixées dans :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrêté du 1^{er} mars 1993 ANNULE. • 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" • Arrêtés sectoriels pour les dix activités non 	<p>loi n° 2009-179 du 17 février 2009 pour l'accélération des programmes de construction et d'investissement publics et privés.</p>	

		<p>visées par l'arrêté de février 1998, à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Installation de combustion • Cimenterie • Carrières • Papeteries • Verreries, cristallerie • Installation de traitement, stockage, transit de résidus • Élevage • Incinérations de cadavres d'animaux de compagnie • Installations de traitement de surface • Préparation et conditionnement du vin. <p>Plus prescriptions spéciales : fixées par le préfet.</p>		
--	--	---	--	--

Tableau 13. Récapitulatif des textes applicables en fonction du type d'activité. Source : Gouronnec, 2001

Exemples d'Arrêtés

- **ICPE** soumise à déclaration :

L'arrêté du 7 janvier 2002 concerne les établissements de fabrication d'« engrais et supports de culture à partir de matières organiques » qui utilisent la transformation biologique aérobie (compostage). Cet **arrêté est très important, car il fixe la distance entre des tiers et la source, selon le niveau de l'odeur** (tableau ci-après).

Éloignement des tiers (Mètres)	Niveau d'odeur sur site (UO/m ³)
100	250
200	600
300	2 000
400	3 000

UO = unité d'odeur.

Tableau 14. La distance entre des tiers et la source selon le niveau de l'odeur

Source : https://aida.ineris.fr/consultation_document/5359

- **ICPE** soumise à autorisation :

L'arrêté 29 de l'annexe à la circulaire du 17 décembre 1998 prise en application de l'arrêté du 2 février 1998 indique que le débit d'odeur perçue doit évoluer avec la hauteur d'émission (tableau ci-après) :

Hauteur d'émission (m)	Débit d'odeur (m ³ .h ⁻¹)
0	1 000.10 ³
5	3 600.10 ³
10	21 000.10 ³

20	180 000.10 ³
30	720 000.10 ³
50	3 600.10 ⁶
80	18 000.10 ⁶
100	36 000.10 ⁶

Tableau 15. Le débit d'odeur maximum conseillé en fonction de la hauteur d'émission.

Source : https://aida.ineris.fr/consultation_document/7983

1.4.2.2 Les réglementations dans le monde

La conférence de Stockholm en 1972 a mis en avant l'environnement et l'importance de le protéger et de gérer les ressources non renouvelables. Dans ce cadre, plusieurs pays se sont engagés dans la lutte contre les nuisances olfactives en décrétant des lois. Généralement, les pays développés sont bien avancés dans ce domaine à la fois sur les niveaux juridique et scientifique, contrairement aux pays les moins avancés.

État	Secteur d'application	Limite	Méthode quantitative	Remarques complémentaires
Allemagne	Centre de Compostage	<ul style="list-style-type: none"> Distance minimale à la première habitation : site ouvert : 500 m ; site fermé : 300 m Émissions maximales de 500 uo/m³ à la source 	Olfactométrie, modélisation	
	Général	<ul style="list-style-type: none"> 10% de la fréquence horaire en zone d'habitat 15% de la fréquence horaire en zone industrielle 		<ul style="list-style-type: none"> La fréquence horaire est le pourcentage d'heures-odeur par an Une heure-odeur est chaque heure pendant laquelle une odeur est perçue pendant 6 minutes en continu.
Autriche	CET	<ul style="list-style-type: none"> 500 uo/m³ à la source Distance à la résidence la plus proche : 500 m 	Olfactométrie	
	Centre de compostage	<ul style="list-style-type: none"> 300 uo/m³ à la source Émissions totales maximales de 5000 uo/s 	Olfactométrie	
Danemark	Général	<ul style="list-style-type: none"> Distance minimale à la première habitation de 500 m 5 à 10 uo/m³ au voisinage le plus proche 	Olfactométrie	
Finlande	Centre de compostage	<ul style="list-style-type: none"> 250 uo/m³ à la source 	Olfactométrie	
France	Général	<ul style="list-style-type: none"> 250 uo/m³ à la source si la 1ère habitation est à 100 m ou moins 600 uo/m³ si la 1ère habitation est à 200 m 2000 uo/m³ si la 1ère habitation est à 300 m 3000 uo/m³ si la 1ère habitation est à 400 m 	Olfactométrie	
Irlande	Général	<ul style="list-style-type: none"> 3 uo/m³ au percentile 98 pour les nouvelles installations 6 uo/m³, p. 98 pour les installations existantes 	Olfactométrie	
Italie	Industrie chimique	Plusieurs contrôles, notamment : <ul style="list-style-type: none"> Détection de composés chimiques (ex: méthyl mercaptan) Fermeture d'étapes de procédés trop intensives Olfactométrie 		
Norvège	Général	<ul style="list-style-type: none"> 5 à 10 uo/m³ à la 1ère habitation 	Olfactométrie	
Pays-Bas	Centre de compostage	<ul style="list-style-type: none"> 1,5 uo/m³ au percentile 98 	Olfactométrie	
Royaume-Uni	Général	<ul style="list-style-type: none"> 6 uo/m³ au percentile 98 	Olfactométrie	
Canada (Manitoba)	Général	<ul style="list-style-type: none"> 2 à 7 uo/m³ 	Olfactométrie, modélisation	
Canada (Ontario, Québec)	Général	<ul style="list-style-type: none"> max. 1 uo/m³ aux limites de la propriété pour le 1er maxima annuel 	Olfactométrie, modélisation	
États-Unis (Connecticut, Kentucky, Missouri, Wyoming)	Général	<ul style="list-style-type: none"> 7 uo/m³ 	Olfactométrie, modélisation	
Etats-Unis (Massachusetts)		<ul style="list-style-type: none"> 5 uo/m³ 	Olfactométrie, modélisation	

Tableau 16. Les réglementations dans différents pays européens et nord-américains.

Source : Otte et Nicolas, 2005

C'est grâce à cette surveillance de la qualité de l'air que nous pouvons acquérir un ensemble de données qui vont nous permettre de spatialiser les odeurs au sein d'un espace géographique déterminé.

2. Les données

Les données pour notre travail sont essentiellement composées des plaintes des riverains. Leur collecte et leur mise en forme dans une base de données ont constitué un travail important de la thèse.

2.1 Les plaintes des riverains

2.1.1 Présentation des données

Les données ont été obtenues par téléchargement à partir de la Surveillance Régionale des Odeurs (SRO), mis en place par AtmoSud. À ce jour, nous disposons de plus de **20 868** plaintes pour la région Sud qui s'étendent de 2003 à 2016 ²⁵.

Les plaintes sont déposées volontairement par les riverains en utilisant les différents moyens mis à leur disposition. Par exemple, dans la région Sud les habitants peuvent déposer une plainte par :

- téléphone:04.42.02.45.75
- Internet: www.sro-paca.org.
- application smartphone : « [Signalement](#) Air » sur iPhone ou Android pour signaler tout ce qui est mauvaises odeurs, brûlage de déchets verts, poussières, bruit, incidents industriels, en temps réel, et concernant la région Sud.

²⁵ En fait depuis 2001 pour être précis, mais entre 2001 et 2003 il n'y a eu que très peu de plaintes, du au démarrage du site internet

Les plaintes sont comptabilisées et analysées par le service de Surveillance Régionale des Odeurs (SRO). Dans le cas où leur **nombre dépasse 3** ²⁶ **dans le même jour dans un rayon de 2 km**, elles sont signalées à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (avant 2009 à la DRIRE), qui peut ordonner une enquête, aux exploitants industriels potentiellement concernés et/ou à la mairie.

22 villes ont été retenues au sein de la région Sud, car elles concentrent le nombre le plus élevé de plaintes.

Département	Ville	Nombre de plaintes
Bouches-du-Rhône	Chateaubien	2150
	Martigues	1488
	Port-de-Bouc	1254
	Ensuès la Redonne	1230
	Gardanne	1013
	Tarascon	992
	Vitrolles	858
	Châteauneuf-les-Martigues	786
	Fos sur mer	778
	Marseille	722
	Rognac	703
	Laçon de Provence	598
	Sausset	537
Vaucluse	Saint-Saturnin-Les-Avignon	639
	Le Pontet	461
	Sorgues	439
	Vedène	269

²⁶ Par 3 plaignants différents

	Entraigues	210
Var	Le Cannet des Maures	751
	Le Luc	126
Hautes-Alpes	Ventavon	337
Alpes Maritimes	Grasse	136

Tableau 17. Les 22 villes retenues dans la région Sud

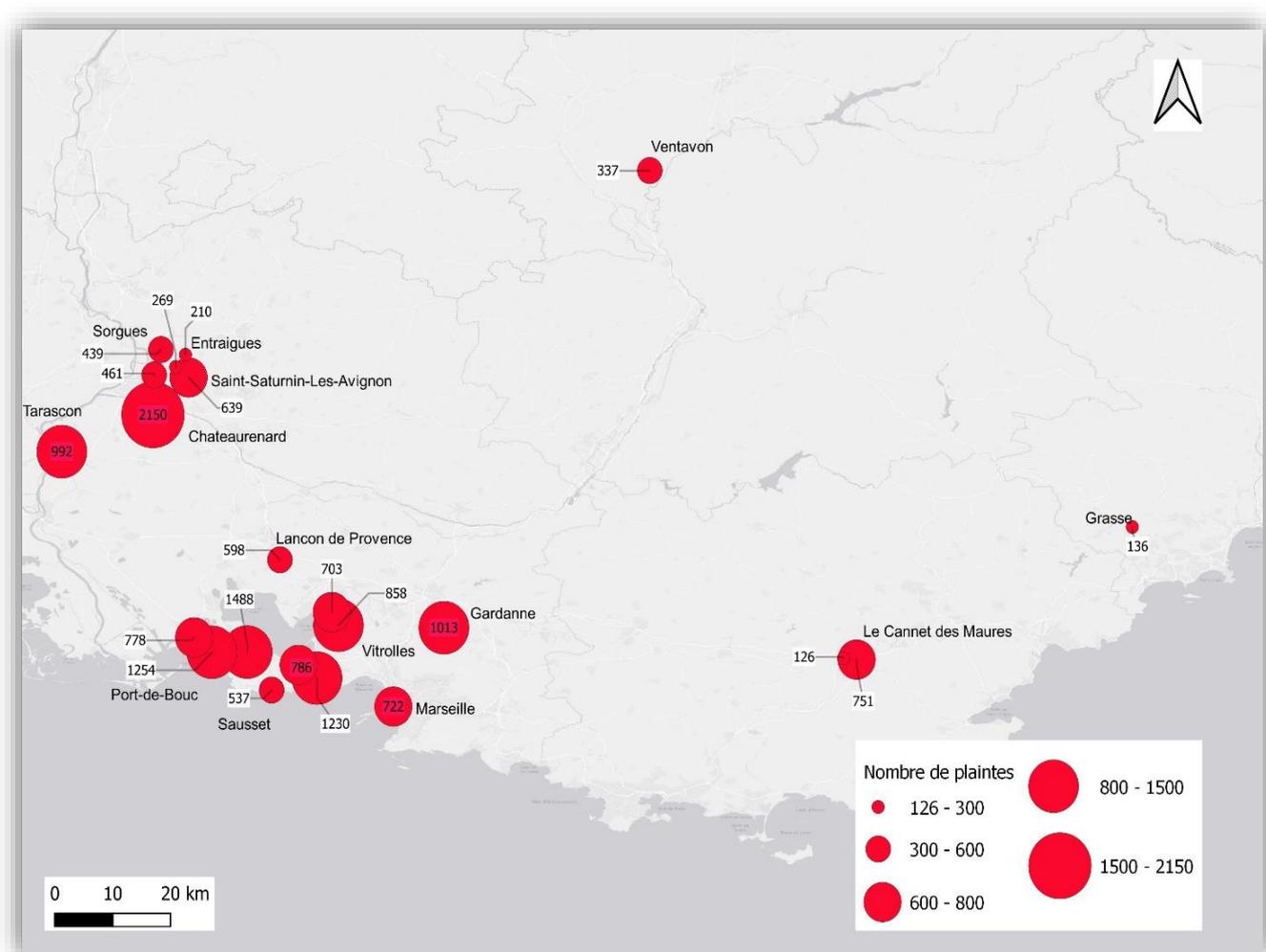


Figure 27. Les 22 villes retenues dans la région Sud

2.1.2 Les éléments constitutifs d'une plainte

Une plainte est composée de plusieurs éléments (Cf. Annexe 3) :

2.1.2.1 L'identifiant

C'est un numéro attribué par l'AASQA à chaque plainte. Il peut remplacer le nom et le prénom pour distinguer les plaintes entre elles.

2.1.2.2 Alerte_flag

Cette variable correspond au nombre de plaintes qui ont abouti à un rapport. **Le SRO transmet nous l'avons vu, un rapport aux services de l'État, aux exploitants industriels, et aux collectivités territoriales si 3 plaintes ont été déposées le même jour dans un rayon de 2 km (Mesbah et Selvanizza, 2017). Cela correspond dans notre base de données à 6 030 plaintes (28.90%).**

2.1.2.3 Date et heure de la plainte

Cette information est très importante, car elle nous aide à déterminer les périodes pendant lesquelles nous observons le nombre le plus élevé de plaintes.

Selon les années, nous constatons une augmentation des plaintes. Ce fut par exemple le cas entre 2006 et 2009. Nous constatons également une stabilisation (entre 2009 et 2012), voire une légère baisse en 2013 (**1 561 plaintes**), baisse qui n'est pas toujours continue (**ex. de 2015 : 2 758 plaintes**) (Cf. figure ci-après).

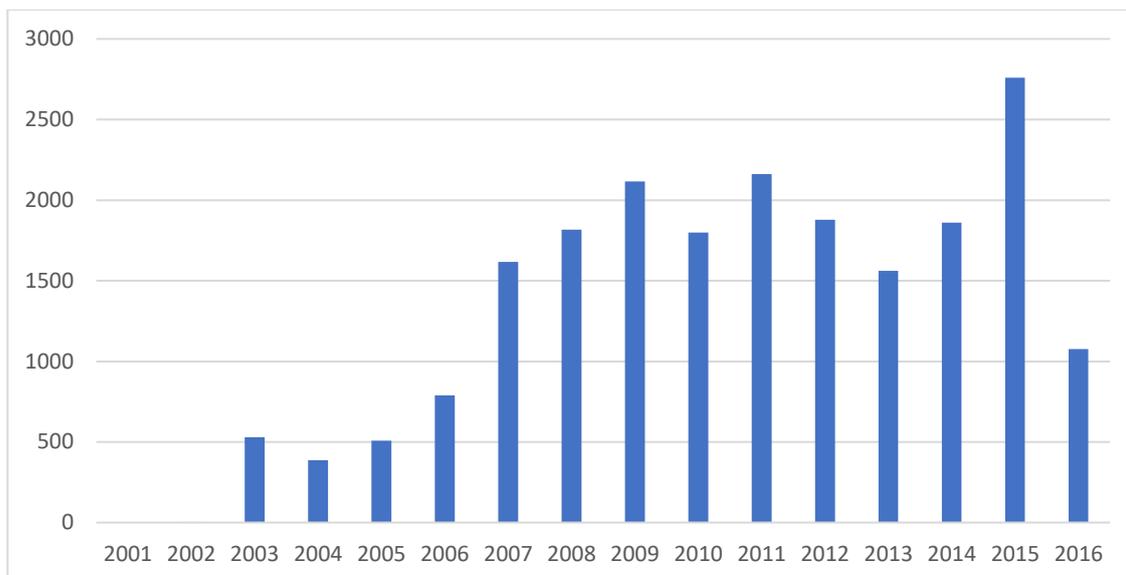
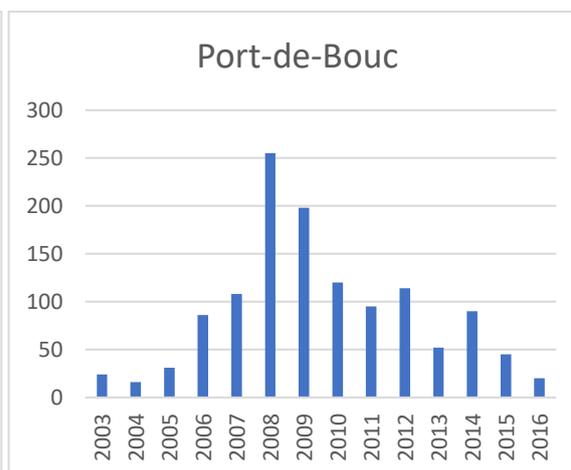
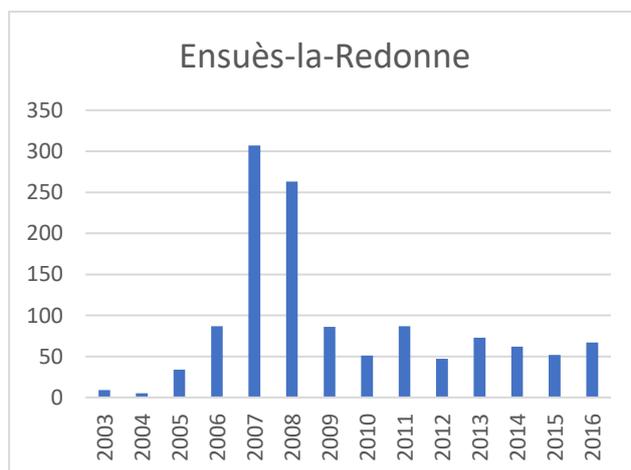


Figure 28. Le nombre de plaintes par an dans la région Sud

La diminution des plaintes dans les villes qui entourent l'Étang de Berre est peut-être due à la surveillance permanente des odeurs, notamment avec le développement du logiciel Odotrace qui est l'outil d'investigation pour déterminer les sources d'odeurs à l'origine des nuisances olfactives.



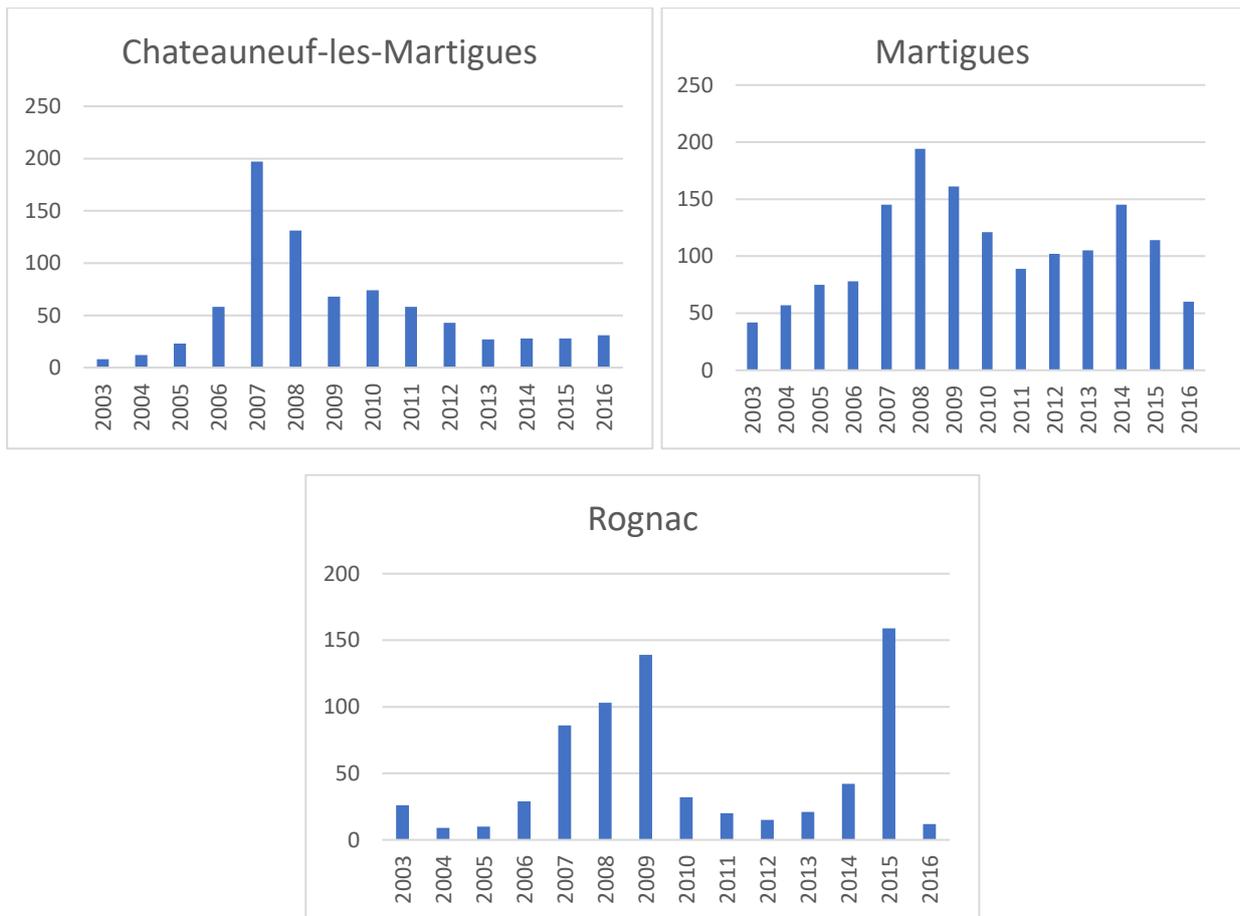


Figure 29. Le nombre de plaintes dans quelques villes autour de l'Étang de Berre

À partir de 2013, nous observons une augmentation du nombre des plaintes, qui passe de 1561 à 2758 en 2015. Cette augmentation peut être due à plusieurs facteurs comme :

- **L'utilisation de l'application - Signalement Air** à partir de juin 2015, qui permet facilement au plaignant de déposer une plainte en temps réel. Au cours du deuxième semestre 2015, 251 plaintes ont été enregistrées *via* cette application (17%)²⁷.
- **L'incident de Berre-L'Étang** qui a eu lieu le 14 juillet 2015 à 3h du matin sur le site pétrochimique a touché trois cuves : deux ont pris feu (l'une était remplie d'essence et l'autre de naphta). La troisième cuve qui n'avait pas pris feu mais dont le toit s'était affaissé a été la source d'une émission importante de COV (Composés

²⁷ airpaca.org/sites/paca/files/atoms/files/160404_bilan_sro_2015_net.pdf

Organiques Volatils, de type hydrocarbures)²⁸. Dans la ville de Rognac qui se trouve (à environ 3 km au sud-est du site pétrochimique), le nombre de plaintes enregistrées entre le 14 et le 31 juillet 2015 a été de 120 (17 % du total des plaintes). Les plaignants mentionnent leur gêne olfactive et des symptômes de type irritatif (Tableau ci-après).

Niveau de gêne	Nombre de plaintes	Niveau d'irritation	Nombre de plaintes
Très gêné	75	Irritante	51
Gêné	42	Très irritante	27
Peu gêné	2	Peu irritante	12
NR	1	Pas irritante	6
		NR	24
	120		120

Tableau 18. Le niveau de gêne et les symptômes irritatifs des plaignants après l'incident de Berre-L'Etang (entre le 14 juillet et le 31 juillet, à Rognac)

Cette explosion a eu des impacts sur la santé des riverains que nous pouvons observer dans les remarques laissées par les plaignants, où il est question de vomissements, céphalées, malaises. À titre d'exemple, deux plaignantes de Rognac rapportent :

- . Le 15/07/2015, à 22h, « *Mal de gorge et toux pour moi, migraine terrible pour mon fils (18 ans).*
- . Le 16/07/2015, à 21h, « *Odeurs horribles, maux de tête énormes et maux de gorge !!* ».

A Velaux, qui se trouve à environ 5 km au Nord-Est du site pétrochimique, le nombre des plaintes enregistrées entre le 15 juillet et le 3 août 2015 représente 30% du nombre total des plaintes (33 plaintes). Il en est de même dans d'autres communes voisines en fonction de la direction et de la vitesse de vent : à Aix en Provence, Coudoux, et Vitrolles.

²⁸ SPPI compte rendu, novembre 2015

De plus, le nombre de plaintes recensées par AtmoSud n'est pas exhaustif, d'autres plaintes ont également été formulées directement auprès des mairies et des services des pompiers des villes concernées (AtmoSud Bilan SRO, 2015) ²⁹.

Plusieurs villes ont enregistré un nombre de plaintes plus élevé en 2015. Ce fut le cas pour le Luc et le Cannet-des-Maures (777 plaintes), Ventavon (195) et Rognac 159 (22.61 %). Nous pouvons expliquer cette augmentation par le fait que pour Ventavon, à partir de 2010, la capacité de la décharge de Beynon ³⁰ est passée de 75 000 t/an à 100 000 t/an après l'accueil d'une fraction des déchets des Alpes-Maritimes. Au Cannet-des-Maures et au Luc, l'augmentation des plaintes peut s'expliquer par les efforts menés par le maire du Cannet-des-Maures qui depuis son élection en 2008 a lancé une expertise judiciaire contre l'existence « *d'une pollution en superficie comme en sous-sol autour de la décharge* ». En outre, il a refusé de renouveler le Plan Local d'Urbanisme (PLU) afin d'empêcher la décharge de s'étendre ³¹. Le maire, soutenu par les habitants de la commune, a organisé des manifestations.

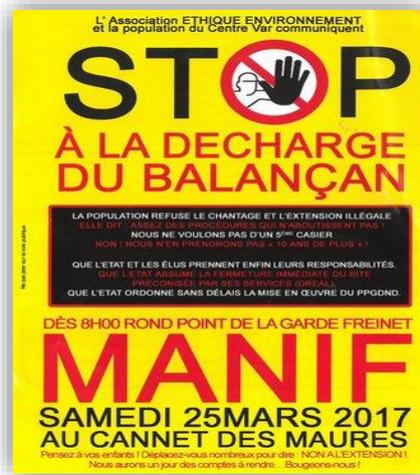


Figure 30. Affiche d'une manifestation au Cannet-des-Maures contre Balançon. Source : <http://www.presseagence.fr/lettre-economique-politique-paca/2017/03/page/28/?print=print-search>.

²⁹ www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/160404_bilan_sro_2015_net.pdf

³⁰ www.zerowastefrance.org/portrait-robot-decharge-beynon-decharge-beynon-hautes-alpes/

³¹ www.francetvinfo.fr/elections/municipales/mon-maire/il-y-avait-des-odeurs-de-cadavre-au-cannet-des-maures-le-combat-du-maire-pour-obtenir-la-fermeture-d-une-decharge-a-ciel-ouvert_3699221.htm

Dans ce cadre, nous pouvons penser que l'augmentation du nombre des plaintes enregistré dans ces communes avait peut-être comme objectif d'attirer l'attention des organismes qui s'occupent de l'environnement (AASQA, DREAL...).

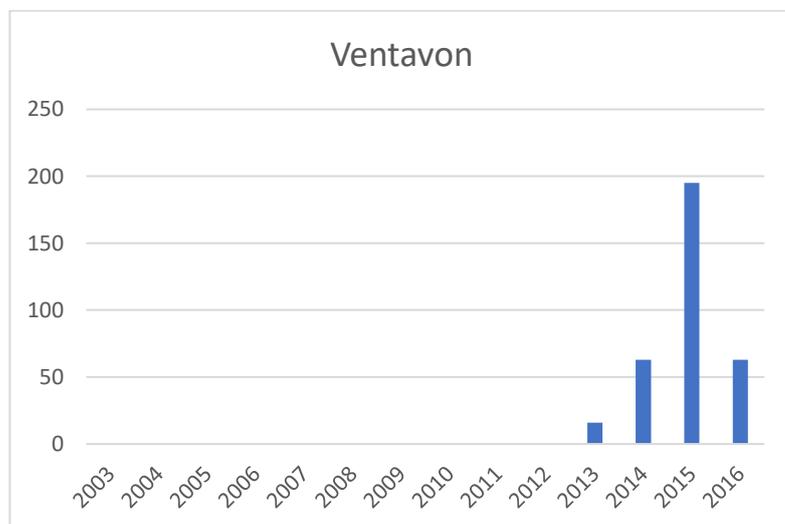
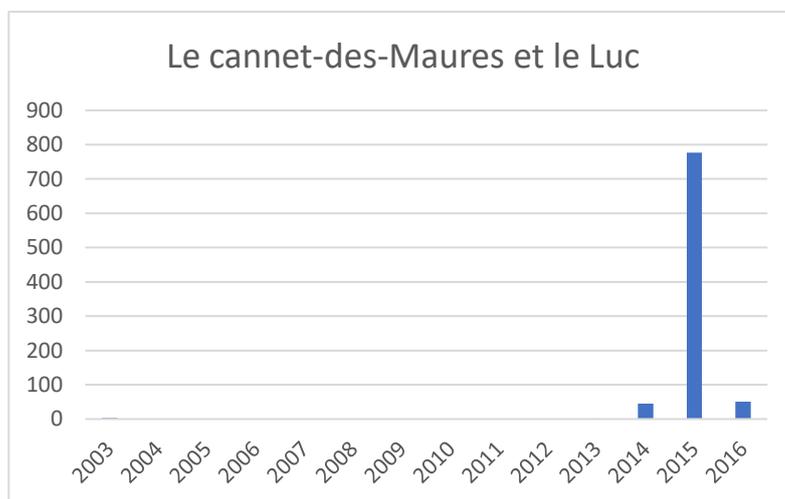


Figure 31. Le nombre de plaintes par an dans les communes du Cannet-des-Maures, du Luc et de Ventavon

Selon les mois, le nombre de plaintes varie, à la baisse pendant les mois de décembre, janvier et février, où le nombre des plaintes ne dépasse pas 1 500. Cela peut s'expliquer par la **diminution de l'activité aérobie** dans les déchetteries et les centres de

compostage, en raison de la baisse des températures. De plus, **les riverains, ont tendance pendant l'hiver à se calfeutrer chez eux et à être moins présents en extérieur. Le pic des plaintes a lieu entre le mois de juin et septembre (8 969 plaintes, 43%).** Cela est peut-être dû au fait que (figures 32 et 33) :

- **Les riverains sont plus souvent dehors**, ils souhaitent alors profiter sans **intrusion malodorante** de leur jardin, etc.
- **L'activité aérobie** dans les centres de compostage s'accélère. Ainsi, à titre d'exemple, la société Sotréco (à Chateaurenard) voit le nombre de plaintes enregistrées à son encontre durant cette période grimper à 720 plaintes (38,58 %). Il en est de même à Ensues-la-Redonne, contre Biotechna, où le nombre de plaintes enregistrées durant l'été est monté jusqu'à 431 (44,75%).
- La **brise de mer** concerne surtout Port-de-Bouc, Martigues, Fos-sur-Mer. Elle véhicule les odeurs rejetées par les sites qui se trouvent sur le littoral : Lavera, Evere, Arcelor Mittal ... Ainsi, 69,97 % des plaintes contre Lavéra à Port-de-Bouc ont été signalées entre avril et septembre, la brise de mer étant plus importante durant ces mois-là.

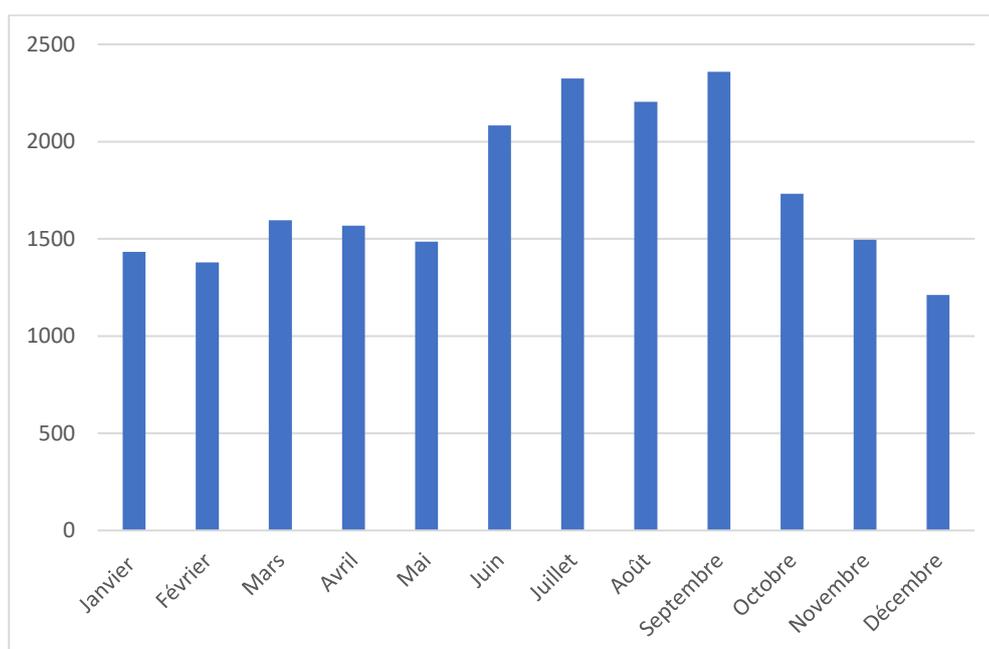


Figure 32. Le nombre de plaintes par mois dans la région Sud (2001-2016)

À noter que **pour certaines villes**, telles que Ventavon, Saint Saturnin les Avignon, Vedène, le **pic** de plaintes est plutôt enregistré en **hiver**, entre octobre et février. Cela peut s'expliquer par leur situation géographique particulière (**fond de vallée**) qui serait favorable à des **inversions thermiques**.

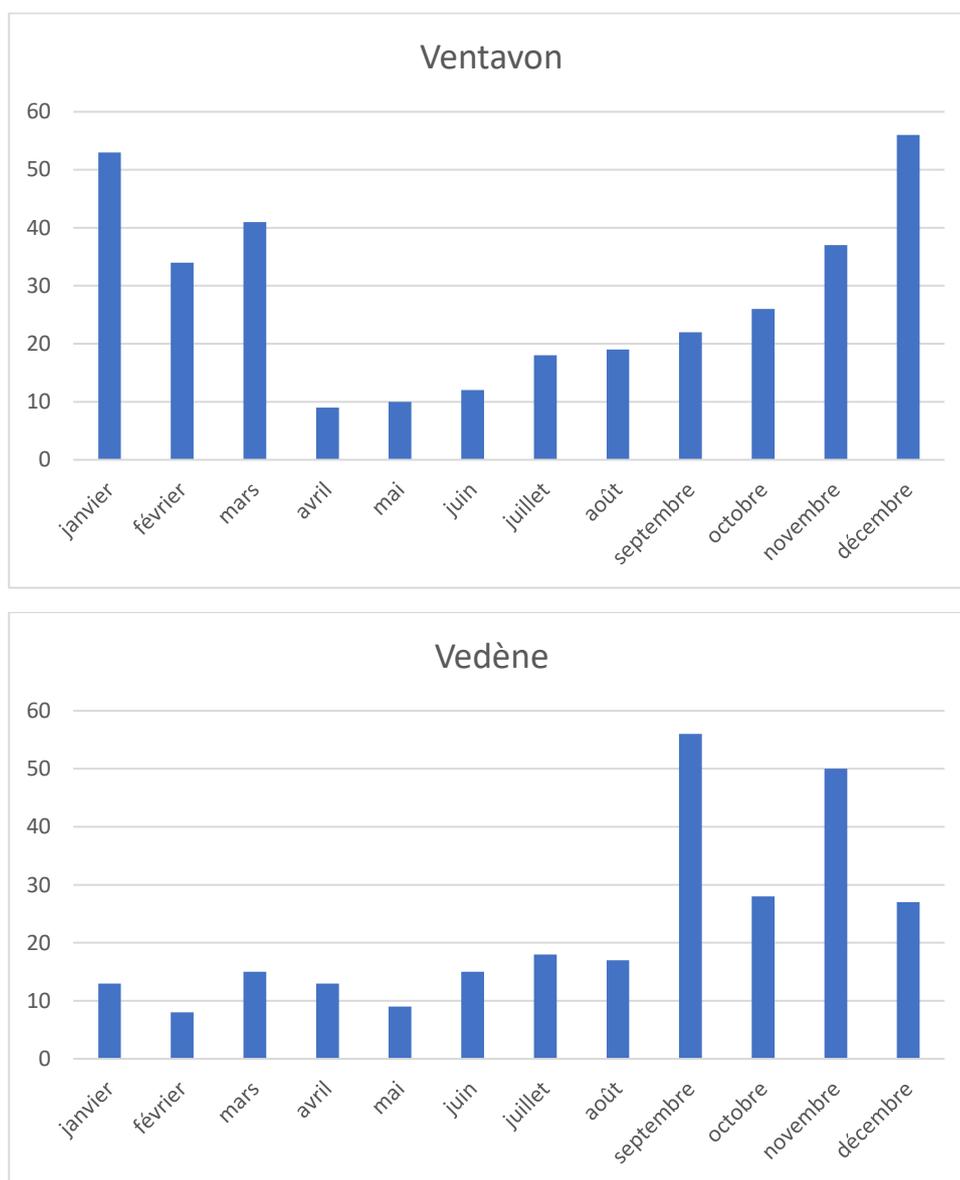


Figure 33. Le nombre de plaintes par mois à Ventavon et Vedène (2001-2016)

Les plaintes se différencient également selon les jours

Le nombre de plaintes signalé est plus élevé durant la semaine avec **2 pics (mardi et jeudi)**, en lien bien entendu avec **l'activité des établissements**. C'est la raison pour laquelle le nombre de plaintes connaît une chute de presque de 50% le week-end (< 1 700 plaintes). À l'exception toutefois de quelques villes comme Fos, Martigues, Gardanne, (figures ci-dessous) caractérisées par la présence de grands établissements : Naphtachimie et Inéos à Martigues, Esso, Everé à Fos, la centrale électrique, la société de l'alumine à Gardanne, où nous remarquons une baisse importante des plaintes le samedi.

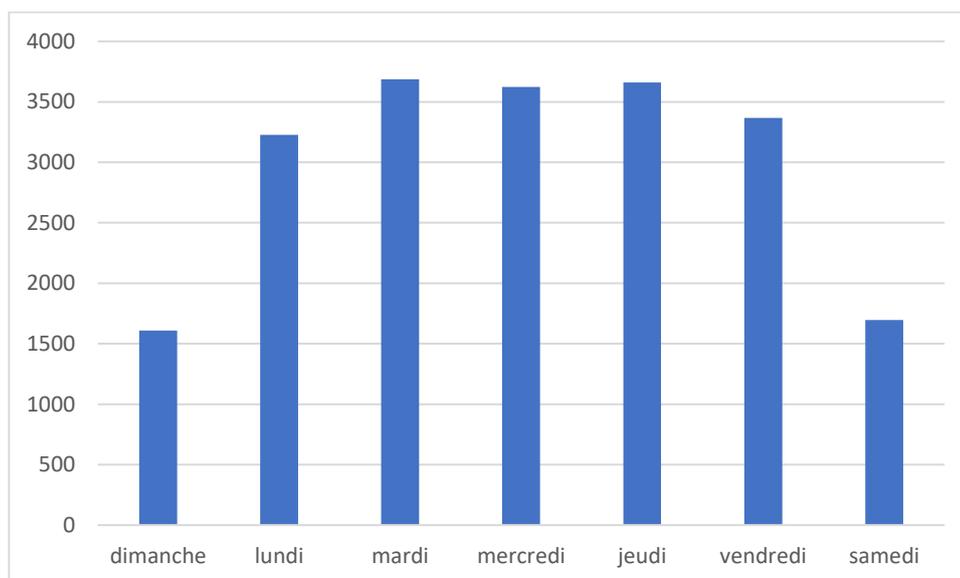


Figure 34. Le nombre de plaintes par jour dans la région Sud (2001-2016)

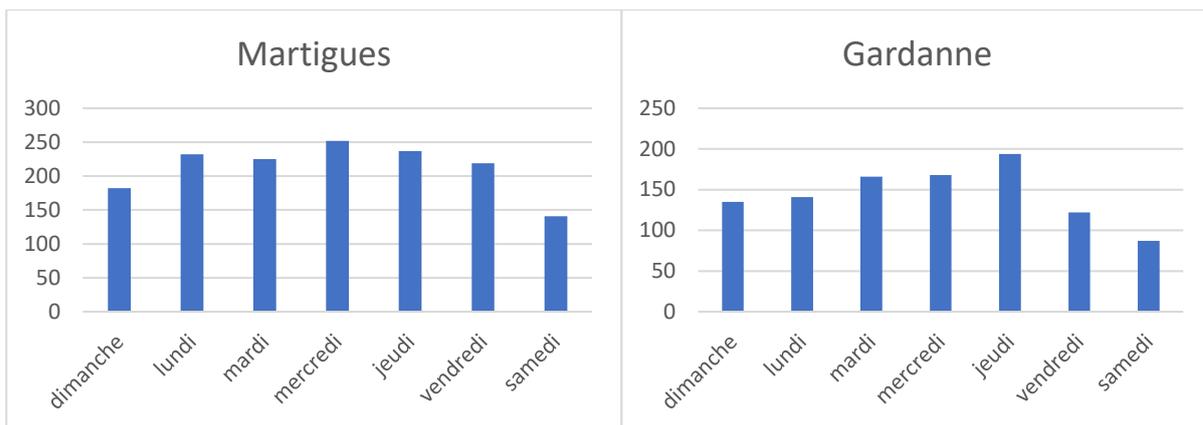


Figure 35. Le nombre de plaintes par jour à Martigues et à Gardanne (2001-2016)

Les plaintes varient selon les heures

C'est entre 7h et 11h du matin que les plaintes sont les plus nombreuses (8 706 plaintes, soit 41,72 % du nombre total des plaintes). Cela correspond au **début de l'activité dans les établissements**, et aux heures durant lesquelles des **inversions thermiques** peuvent avoir lieu. En effet les inversions thermiques se produisent principalement entre les mois d'octobre et de mars lorsque la situation est anticyclonique, et où un vent faible et un ciel clair favorisent le rayonnement nocturne. A ce moment-là, la température en basse couche de l'atmosphère étant plus froide que les panaches sortant des établissements industriels, ces derniers ne peuvent se diluer dans l'air, les odeurs ont alors tendance à stagner sur place, à s'étaler, et à rester plaquées au sol.

Un **autre pic** s'observe entre **14h et 20h** du fait de la **réouverture des établissements après la pause de midi**, et l'augmentation des températures qui favorisent notamment **l'activité aérobie** (7 530 plaintes, 36,09 % du nombre total des plaintes).

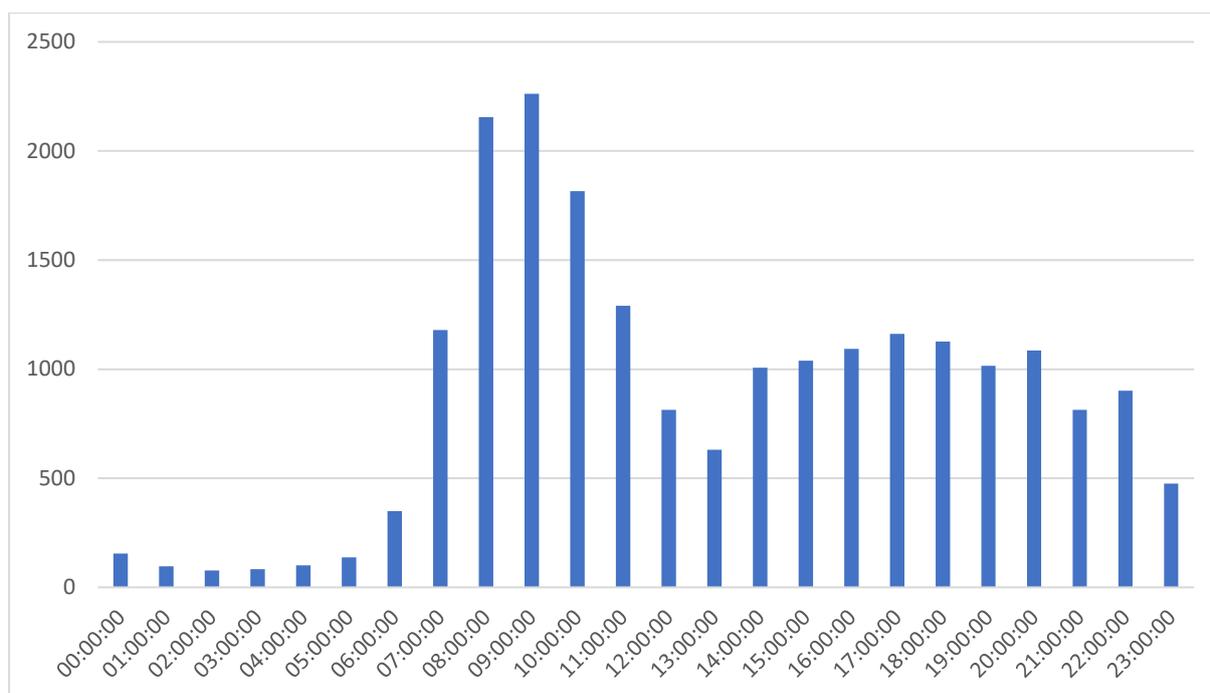


Figure 36. Le nombre des plaintes par heure dans la région Sud (2001-2016)

2.1.2.4 Géolocalisation de la plainte

Il s'agit d'une étape nécessaire pour **spatialiser les odeurs perçues par les plaignants, et les mettre potentiellement en rapport avec les sources d'émissions situées à proximité**. Nous disposons de plusieurs éléments de géolocalisation, tels que le :

- **Numéro de la rue : les plaignants ne donnent pas toujours leurs numéros de rue exacts afin de protéger leur anonymat.** Ainsi, pour 13 107 plaintes (62.83%) le numéro de la rue est absent. Dans ce cas, **nous avons affecté chaque plainte au milieu de la rue ou de l'avenue.**
- **Nom de la rue : 789 plaintes (3.78%) ne contiennent pas non plus le nom de la rue, dès lors, le barycentre de la ville a été affecté pour localiser ces plaintes.**
- **Code postal, nom de la ville : les plaintes sont réparties sur 251 villes de manière inégale, c'est-à-dire, nous trouvons en premier lieu Chateaufrenard avec 2 150 plaintes suivie par Martigues (1 488 plaintes).** Voici le nombre de plaignants dans les 22 villes retenues rangé par ordre décroissant d'importance.

Ville	Nombre de plaignants	Nombre de plaintes déposées par les plaignants	Nombre de plaintes non localisables (ND)	Nombre total de plaintes
Martigues	256	901 (60.55%)	587 (39.45%)	1488
Marseille	230	475 (65.79%)	247 (34.21%)	722
Port-de-Bouc	151	662 (52.79%)	592 (47.21%)	1254
Rognac	148	504(71.69%)	199 (28.31%)	703
Vitrolles	139	493 (57.46%)	365 (42.54%)	858
Fos-sur-Mer	108	402 (51.67%)	376 (48.33%)	778
Cannet-Luc	97	345 (39.34%)	532 (60.66%)	877
Saint-Saturnin	83	429 (67.14%)	210 (32.86%)	639
Chateaurenard	71	1461 (67.95%)	689 (32.05%)	2150
Lançon-de-Provence	70	508 (84.95%)	90 (15.05%)	598
Sausset les Pins	66	352 (65.55%)	185 (34.45%)	537
Châteauneuf-les-Martigues	63	601 (76.46%)	185 (23.54%)	786
Tarascon	60	453 (45.67%)	539 (54.33%)	992
Vedène	59	153 (56.88%)	116 (43.12%)	269
Grasse	46	77 (56.62%)	59 (43.38%)	136
Ensuès la redonne	35	1137 (92.44%)	93 (7.56%)	1230
Gardanne	33	929 (91.71%)	84 (8.29%)	1013
Entraigues	19	98 (46.67%)	112 (53.33%)	210
Sorgues	16	291 (66.29%)	148 (33.71%)	439
Ventavon	11	30 (8.90%)	307 (91.10%)	337
Pontet	3	13 (2.82%)	448 (97.18%)	461
Total (nombre de plaignants différents)	1 764	10 314 (62.60%)	6 163 (37.40%)	16 477

Tableau 19. Le nombre de plaignants dans les 22 villes retenues

Afin de cartographier les adresses, nous avons utilisé <https://dogeo.fr/> qui est un système de géocodage gratuit, où il suffit d'introduire l'adresse complète d'un lieu pour obtenir ses coordonnées géographiques. Voici une brève explication pour déterminer les coordonnées d'une adresse :

- Sur le site <https://dogeo.fr/>, choisir l'application « DEOGEOCODEUR pour le reste du monde ».
- L'importation des données peut se faire sous deux formes différentes : soit des fichiers CSV, soit par « copier, coller ».
- Remplir les champs vides (N°, Rue...) en indiquant le numéro ou le nom dans la colonne.

Importer des données

Importer un CSV | Importer par copier/coller

Charger un fichier CSV

Choisir un fichier | Aucun fichier choisi

Le CSV doit avoir une entête et les champs séparés par une virgule, un point virgule ou une tabulation

Le CSV doit être encodé en UTF-8

N° :

Rue :

CP :

Commune :

pays :

OK Annuler

Figure 37. Importation des données sous DEOGEOCODEUR

Ce qui nous permet d'obtenir la localisation des plaintes sur un fond de carte comme nous pouvons le voir sur la figure ci-après.

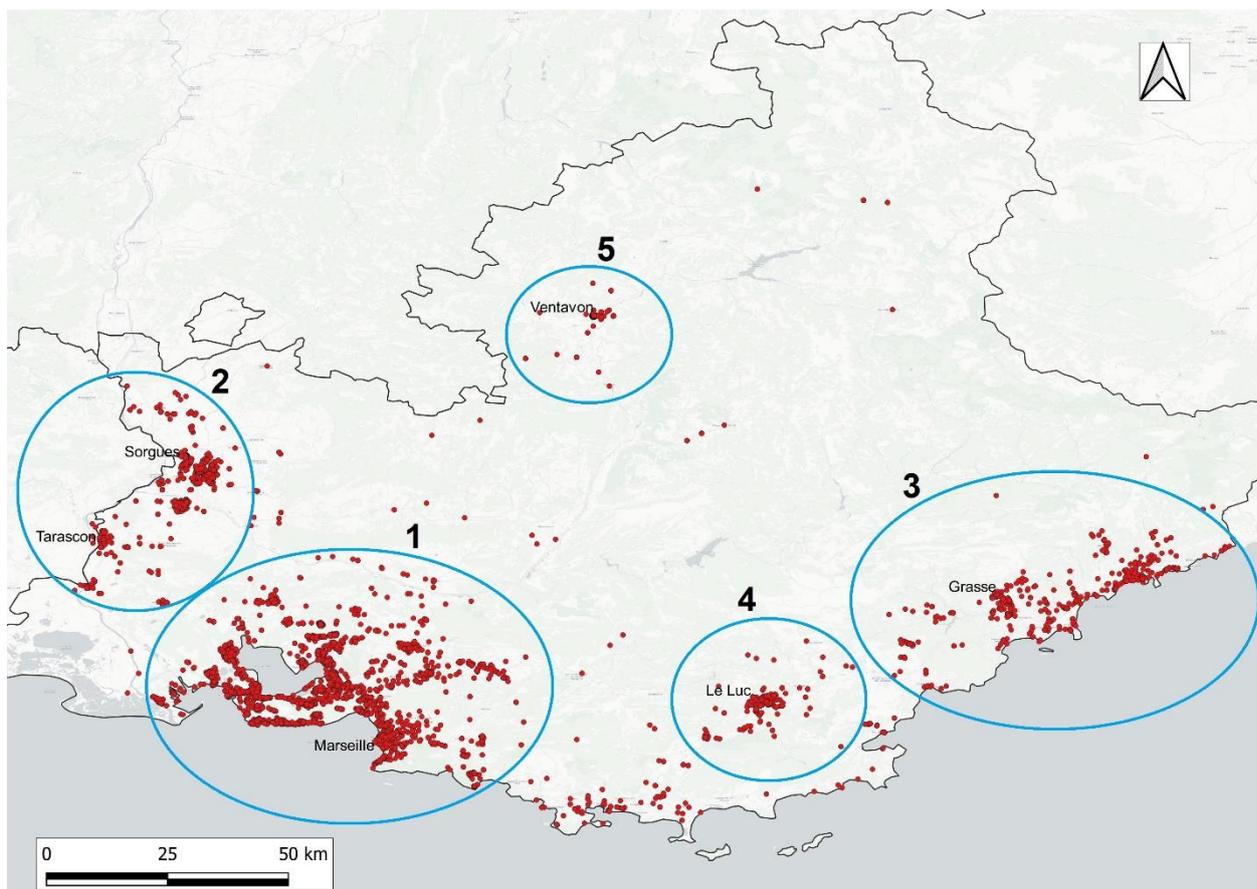


Figure 38. La localisation des plaintes dans la région Sud (2001-2016)

En observant la carte des plaintes dans la région Sud entre 2001 et 2016, ci-dessus, nous distinguons **cinq clusters**. Le plus important est celui qui se trouve autour de l'Étang-de-Berre qui s'étend vers le nord jusqu'à Lançon de Provence, et vers l'est, jusqu'à Marseille. Cette zone est connue pour l'importance de son **secteur industriel**, et notamment pour son **industrie pétrochimique** (Lavéra à Martigues, Esso à Fos, l'usine de l'alumine à Gardanne). Cela concerne **12 917 plaintes** (61.90% du nombre total des plaintes).

Le deuxième cluster se trouve entre **l'axe qui sépare Tarascon d'Avignon en passant par Chateaufort**, avec la présence de la **papeterie Fibre Excellence à Tarascon et de plusieurs centres de décharge et de compostage** (Sita Sud à Vedène, Sotréco, première source de plaintes dans la région Sud - 1867 plaintes). Le troisième se situe cette fois dans les Alpes-Maritimes et correspond à **l'axe qui sépare Nice et Grasse**. Dans la ville de Nice et les villes qui l'entourent les plaintes sont principalement déposées contre **des**

travaux, des restaurants, le brûlage des déchets verts... tandis que dans la ville de Grasse les plaintes sont majoritairement déposées contre les **parfumeries et le brûlage de déchets verts.**

Enfin, deux autres clusters de plaintes ont été identifiés à Ventavon et dans les villes du Cannet-des-Maures et du Luc (ils correspondent aux nuisances émises par les décharges de Balaçan au Luc et au Cannet-des-Maures, et de Beynon à Ventavon, déjà évoquées précédemment).

2.1.2.5 Les remarques : le *corpus*

Les plaignants peuvent ajouter des remarques aux précédents champs, ils sont libres d'écrire ce qu'ils veulent ou bien ils peuvent laisser cette rubrique vide : 1 672 plaintes (8.01%) sont ainsi sans remarques. Nous avons utilisé l'utilitaire « *Voyant Tools* » afin d'analyser ce ***corpus de remarques particulièrement intéressant pour notre recherche.***

- Le *corpus* contient **244.088 mots**
- **La moyenne des mots par phrase est de 14.4, les plaignants vont la plupart du temps à l'essentiel** pour décrire la gêne occasionnée par la nuisance olfactive.

Cette partie est très importante, elle constitue une grande partie du matériau de la thèse. Nous pouvons appréhender, approcher, à travers les ressentis des plaignants, les catégories d'odeurs, l'intensité de ces dernières (forte, faible...), et leurs impacts sanitaires sur les riverains (nausées, maux de tête, irritations diverses).

À partir de la figure 39 et du tableau 20, nous remarquons que le mot « odeur » est comme attendu le plus utilisé (14 563 fois). **Lorsque le terme « odeur » est au singulier cela indique que le plaignant connaît précisément la nature de l'odeur :**

-Le 16/11/2003 à 9h un plaignant qui habite à Aix-en-Provence dénonce une « *odeur de combustion de chaudière (fioul) très forte, déjà remarqué à la même heure la veille* ».

En deuxième position nous trouvons le mot « **provenance** » (7 678), l'importance de ce terme nous indique que le plaignant a une **connaissance parfaite de la source de l'odeur** :

-Le 20/06/2009 à 20h, une plaignante qui demeure à Arles, déclare qu'il y a une « *Odeur de chou* ³² *en provenance de TEMBEC. Beau temps* ».

Ensuite, viennent les deux adjectifs « forte » (6 530) et « fortes » (784), qui décrivent l'intensité élevée des odeurs perçues. « Odeurs » au pluriel (3 014), peut indiquer que **le plaignant est soumis à plusieurs odeurs** :

-Le 22/09/2006 à 10h, un plaignant qui réside à Vitrolles, dénonce de : « *très fortes odeurs de mélange entre l'huile végétale et le goudron, provoque des picotements du nez et des plaques rouges sur le corps, source sté Colace* ».

Dans le tableau 20, les noms de plusieurs décharges et centres de compostage reviennent fréquemment : Biotechna à Châteauneuf-les-Martigues (1 519), Sotréco à Chateaufrenard (1 498), Malespine à Gardanne (556), Balançon, au Cannet-des-Maures (534). De même que les mots suivants : poubelles (1 097), décharge (874), fermentation (678), compost (672), déchets (575).

Nous constatons, aussi, l'utilisation de l'adverbe « matin » (1 225), qui dépasse de 2.56 fois l'utilisation du mot « soir » (478), le pic des plaintes se situant entre 7h et 11h (figure 36). La même chose, pour les adverbes « jour » (643) et « nuit » (501). **Les plaignants sont bien entendu gênés par les odeurs durant la journée comme on pouvait s'y attendre (activités en extérieur), mais plus surprenant également la nuit, où les odeurs continuent de s'introduire dans leur habitat. Cela pourrait être dû à une saturation de l'air, ou bien à des vents faibles empêchant toute dispersion des molécules odorantes qui ont tendance alors à stagner.**

³² Afin de ne pas dénaturer les plaintes, nous rendons compte de celles-ci telles qu'elles sont reportées par le plaignant, y compris avec les fautes d'orthographe

Mots les plus fréquents	
Odeur	14 565
Provenance	7 678
Forte	6 530
Odeurs	3 106
Gaz	1 856
Biotechna	1 519
Sotréco	1 498
Matin	1 225
Vent	1 152
Poubelles	1 097
Décharge	874
Soprema	796
Fortes	784
Pourri	766
Temps	757
Écœurante	729
Provenant	701
Fermentation	678
Compost	672
Jours	643
L'usine	597
Déchets	575
Malespine	556
Balançan	534
Fenêtres	534
Gardanne	521
Brûlé	475

Tableau 20. Les mots les plus fréquemment rapportés dans le *corpus* des remarques des plaignants

Au fil du temps (figure 40), l'intensité des odeurs rapportée dans le *corpus* par les plaignants tend à baisser (fréquence de l'adjectif « forte » qui décroît), de même que le terme « odeur ». Il semblerait que les plaignants soient plus exposés à une odeur particulière qu'à un mélange d'odeurs, ainsi « odeurs » au pluriel tend à être moins fréquent qu'odeur au singulier. Le mot gaz est employé dans les mêmes proportions au cours du temps avec cependant de légères fluctuations, tandis que la fréquence relative de la provenance de la source semble diminuer, ce qui peut être dû à une certaine lassitude des plaignants qui ayant indiqué la provenance de la source au début de leurs plaintes auraient tendance par la suite à moins la mentionner ? Notons toutefois les fluctuations qui révèlent que tout cela reste fragile.

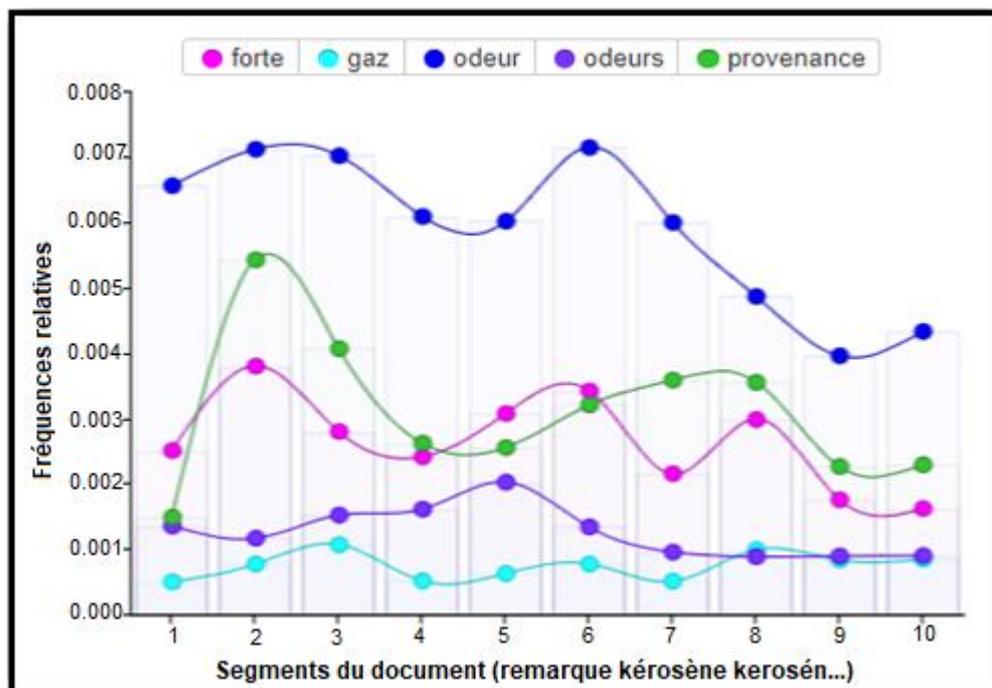


Figure 40. La fréquence relative pour les 5 termes revenant le plus souvent dans le *corpus* de plaintes entre 2001 et 2016

2.1.2.6 Les sources de nuisances olfactives

Afin d'étudier les sources, nous avons retenu 22 villes qui contiennent le nombre le plus élevé de plaintes (16 477 plaintes, 78.95%). Parfois, les sources sont identifiées directement par les plaignants. Lorsque cela n'est pas le cas, nous avons exploité le type

d'odeurs décrit par le plaignant, notre connaissance des sources d'émission dans le voisinage de la plainte, ainsi que la direction du vent au moment de la plainte.

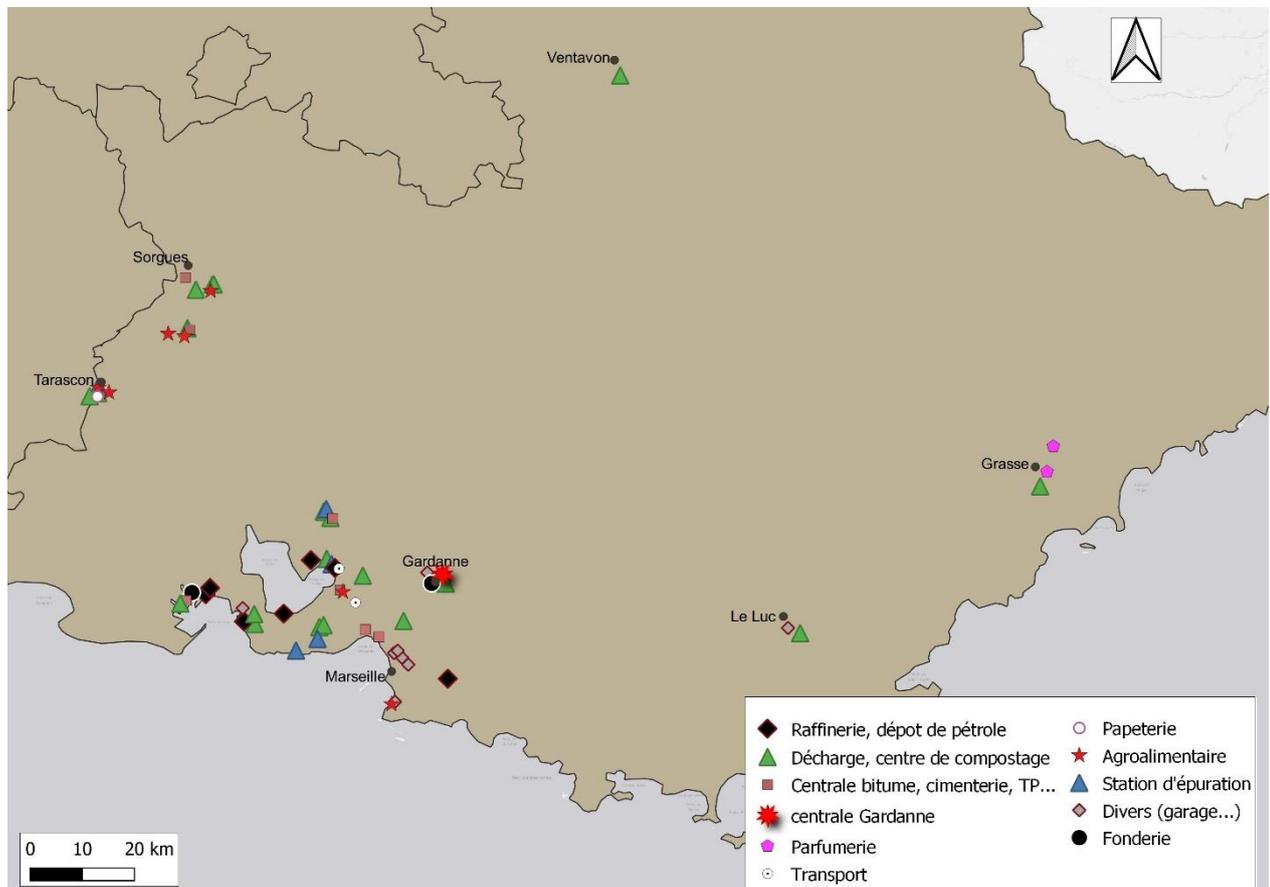


Figure 41. Les principales sources de nuisances olfactives dans nos 22 villes d'intérêt en région Sud

Nous avons identifié 140 sources différentes (voir liste en Annexe). Pour 1 692 plaintes (10.27 %) la source est manquante, car le plaignant ne pointe pas une source exacte dans ses remarques. Cependant, il est possible de la retrouver par **notre connaissance du « terrain » olfactif**.

Nous allons dans un premier temps nous concentrer sur ces sources d'odeurs indiquées par les plaignants dans le *corpus*, au niveau du champ " Remarques ". La plupart relèvent de certains secteurs industriels comme :

a) le traitement des déchets (centres de compostages, centres d'enfouissements techniques, déchèteries, stations d'épuration).

b) le secteur du raffinage et de l'énergie (complexes pétrochimiques, centrale thermique de Gardanne, dépôts pétroliers).

c) le domaine de la papeterie, très impactant (Fibre Excellence à Tarascon).

d) ou d'autres industries (agroalimentaires, centrales de bitumes, usines de parfums, métallurgie).

e) certaines sources ne peuvent pas être classées dans un secteur bien précis. Elles figurent alors dans la catégorie « Autres ». C'est le cas pour les activités de brûlage, de circulation, des émanations de COVs provenant des stations-service, des odeurs d'huile émanant des restaurants, etc....

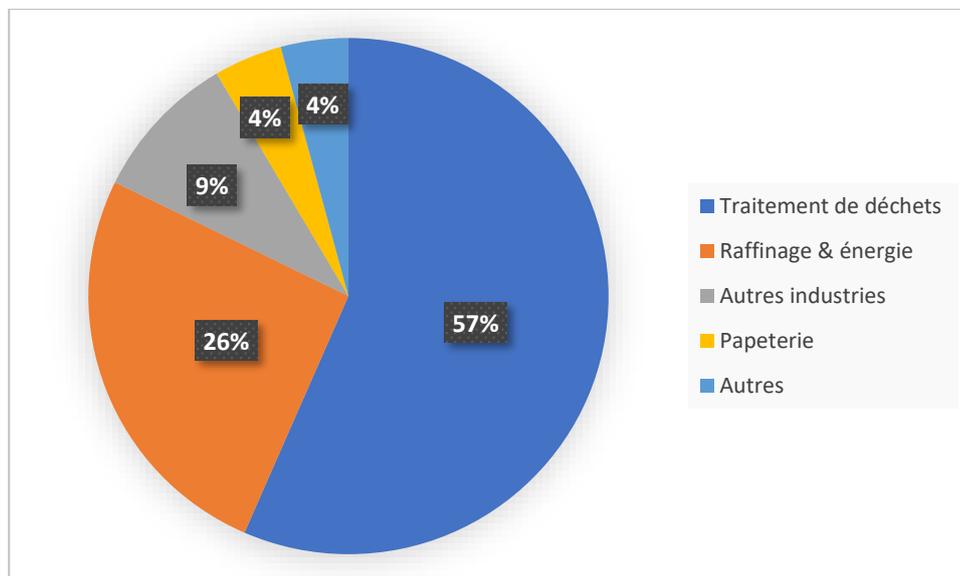


Figure 42. Le nombre de plaintes par secteurs

Nous allons à présent passer en revue chacun de ces secteurs.

- **Le secteur du traitement des déchets**

Ce secteur représente 8 352 plaintes (50.69%). Les déchets peuvent aussi bien être liquides que solides.

Les déchets liquides correspondent aux eaux usées traitées par les stations d'épurations. Les plaintes contre ce type de source ne dépassent pas 160 plaintes. Les villes les plus touchées sont : Rognac, Lançon-de-Provence et Sausset-les-Pins.

Les déchets solides contiennent les ordures ménagères (OM), les déchets industriels banals (DIB), ainsi que les déchets du bâtiment et des travaux publics. Le traitement de ce type de déchets se fait dans des décharges spécialisées. En France, il existe trois types de décharges :

- Les décharges de classe 1 reçoivent les déchets industriels spéciaux. On en recense 14 sur le territoire national, mais ce type n'existe pas dans la région Sud.
- Les décharges de classe 2 accueillent les déchets ménagers et assimilés, ainsi que les déchets industriels banals (250 décharges en France).
- Les décharges de classe 3 concernent principalement les déchets du bâtiment et des travaux publics (terres, gravats) ³³.

Dans la région Sud, 446 décharges appartiennent aux classes 2 et 3.

En 2018 la région Sud a produit :

- 5,5 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés dits « non dangereux », ces déchets, sont traités de différentes façons : la tri-valorisation (30 installations), l'incinération (5) et le compostage et la méthanisation (20).
- 837 000 tonnes de déchets dangereux, une partie est traitée dans la région (5 incinérateurs spécialisés) et le reste est transféré vers le centre de Bellegardes dans le Gard.
- 17,5 millions de tonnes de déchets inertes et du BTP.

Il faut souligner que la région compte en 2018, 1 105 stations d'épurations³⁴.

³³ <http://www.cniid.org>

³⁴ http://www.ordeec.org/fileadmin/user_upload/Fiche_Chiffres_Cles_2018.pdf

Examinons à présent les plaintes relatives aux établissements qui traitent des déchets en région Sud. Les établissements sont classés suivant le nombre décroissant de plaintes à leur rencontre.

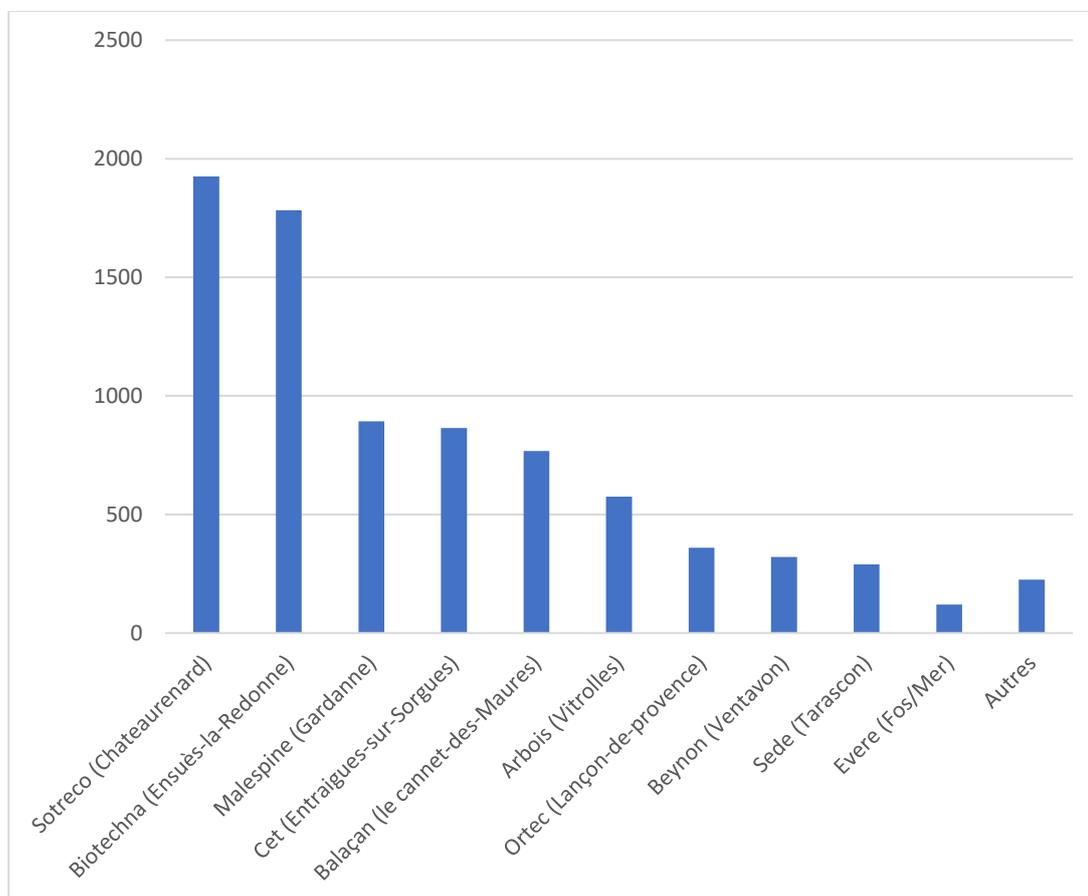


Figure 43. Le nombre de plaintes concernant les décharges, les centres de compostages et les incinérateurs dans la région Sud

- **Sotréco** concentre le plus grand nombre de plaintes (1 925 plaintes). Installé à Châteaurenard depuis 1992, cet établissement est spécialisé dans le secteur du traitement et de l'élimination des déchets non dangereux. Il traitait 40 000 t/an de boues de STEP ³⁵ et 14 000 t/an de déchets verts en 2012 ³⁶. En 2016, Sotréco a

³⁵ Station d'épuration

³⁶ <http://www.environnement-industrie.com/>

rejeté 130 000 kg d'azote (N) dans l'eau ³⁷. Ce gaz est peu soluble dans l'eau (moins de 80 ml/l à 20°C), il se caractérise par une **odeur piquante** ³⁸.

-Le 07/03/2007, à 9h, une plaignante de Châteaurenard écrit : « *odeur de compost fermenté/aigre/odeur piquante, inflammation des yeux et nez qui pique. Odeur en provenance de Sotreco* ».

- **BIOTECHNA** est une entreprise spécialisée dans le traitement des déchets verts et de boues (30 000 t/an)³⁹. Elle fabrique des terreaux, tourbes et autres amendements. 1 784 plaintes sont rapportées pour cet établissement qui se trouve au nord de la commune d'Ensues-la-Redonne, **en limite** de la commune de Châteauneuf-les-Martigues. **Cet aspect est très important car les odeurs franchissent les limites communales. Ainsi, bien que l'entreprise soit située à Ensues-la-Redonne, les odeurs peuvent être ressenties par les habitants de la commune de Châteauneuf-les-Martigues, à 7 km de là.** Certaines plaintes décrivent des odeurs de type désodorisant (18) ou de parfum-s- (46) qui sont mélangées la plupart de temps avec d'autres odeurs (excrément, andain, fermentation...). Ce type d'odeurs est fréquemment dégagé notamment par les centres de compostage et les décharges, qui emploient des produits censés masquer les odeurs des déchets. Mais parfois le remède est pire que le mal (mélange d'odeurs).

-Le 05/08/2007, à 9h17, une plaignante de Châteauneuf-les-Martigues note « *Vent du sud. Forte odeur d'excrément (en provenance de Biotechna) mélangée à un produit désodorisant normalement interdit. Ce produit pique les yeux et la gorge* ».

- **La Malespine** (894 plaintes), gérée par Semag (société d'économie mixte d'aménagement de Gardanne et de sa région) depuis 1986, traite 50 000 t/an de déchets ⁴⁰.
- **Le Centre d'Enfouissement Technique (CET) d'Entraigues** (866 plaintes) est exploité par la société SITA SUD depuis 2001, composé d'une déchetterie, une plateforme

³⁷ <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/irep-registre-des-emissions-polluantes>

³⁸ <http://www.inrs.fr/>

³⁹ <http://paysdefayence.free.fr/ensues-la-redonne/biotechna1.pdf>

⁴⁰ <http://www.ville-gardanne.fr/Malespine-une-decharge-tres>

de compostage de déchets verts, une plateforme biologique des boues et une plateforme de valorisation de déchets inertes. En 2016, le CET a émis 439 000 kg/an de méthane (CH₄).

-Le 15/12/2014, à 14h40, une plaignante de Saint-Saturnin-lès-Avignon rapporte : « depuis vendredi forte odeur de méthane en provenance du CET d'Entraigues ».

- **La décharge de Balançon** (767 plaintes) est ouverte depuis 1974. Elle reçoit les déchets ménagers de 93 communes, soit 600 000 t/an. Elle a fermé ses portes le 8 août 2018 ⁴¹.
- **La décharge de l'Arbois** (575 plaintes) se trouve au nord-est de Vitrolles (à 3,5 km). Elle reçoit des ordures ménagères et assimilées. Elle est responsable d'une émission de 825 000 kg/an de méthane (CH₄) en 2016.
- **Ortec, Orsem** (360 plaintes) : situé à Lançon de Provence, cet établissement a une capacité de traitement de 70 000 t/an de matériaux pollués aux composés organiques biodégradables tels que le fioul, le pétrole brut, le gasoil, et le kérosène ⁴².
- **La société Beynon** (320 plaintes) autorisée depuis 2002, se trouve à Ventavon. Elle reçoit des déchets ultimes, déchets industriels banals (DIB), bois, collecte sélective, cartons, plastiques. À partir de 2010 sa capacité est passée de 75 000 t/an à 100 000 t/an après l'accueil d'une fraction des déchets des Alpes-Maritimes ⁴³. En 2016, les rejets de ces décharges sont principalement le méthane 1 110 000 kg et le CO₂ 11 600 tonnes.

-Le 20/03/2015, à 10h30, une plaignante de Ventavon sent une : « Odeur de pourriture mélangée à une odeur de gaz type méthane (gaz de décomposition) ».

- **SEDE ENVIRONNEMENT** (296 plaintes), installée à Tarascon, exerce une activité de collecte et de traitement des eaux usées. Cet établissement a émis 13 800 kg/an d'ammoniac (NH₃) en 2016.

⁴¹ <https://france3-regions.francetvinfo.fr/provence-alpes-cote-d-azur/var/decharge-du-balancon-cesse-son-activite-ce-mardi-soir-minuit-au-cannet-maures-1523344.html>

⁴² <http://www.ortec.fr/agences/biocentre-lancon-provence/>

⁴³ www.zerowastefrance.org/portrait-robot-decharge-beynon-decharge-beynon-hautes-alpes/

- **EVERE** (121 plaintes), est l'incinérateur qui se trouve à l'ouest de Fos-sur-Mer. Il a été conçu pour traiter et valoriser les déchets ménagers de 18 communes, dont Marseille. Sa capacité annuelle est de 410 000 tonnes par an (evere.fr). Ce centre génère plusieurs polluants gazeux tels que le dioxyde de carbone, les oxydes d'azote - Nox - (106 000 kg/an en 2016), le protoxyde d'azote - N2O - (11 900 kg/an en 2016). Ce gaz est caractérisé par une **odeur sucrée**. Ce centre est équipé d'une unité de traitement des fumées, son rôle est d'éliminer les dioxines avant rejet dans l'atmosphère.

Enfin, au niveau de la rubrique **Autres** (444 plaintes) nous trouvons des établissements qui n'ont pas un nombre élevé de plaintes. C'est le cas par exemple de SMA Vautubière, à Lançon-Provence (94 plaintes), de l'incinérateur Solamat à Rognac (38 plaintes), ou bien encore de la décharge du vallon du Fou à Martigues (30 plaintes). Les déchetteries de classe 3 émettent quant à elles peu d'odeurs du fait de la nature des déchets qui y sont entreposés qui ne fermentent pas (verre, papier, bois, ferrailles, les huiles de moteurs, pneus déjantés, gravats etc...).

- **Le secteur du raffinage, et plus généralement de l'énergie**

Ce secteur concentre quant à lui 3 813 plaintes (23.14%). Cela concerne par exemple les raffineries de Lavéra, de Lyondell, de la Mède et d'Esso avec 3 698 plaintes (22.04%). Ces quatre raffineries qui entourent l'Étang de Berre sont alimentées par la Société du Pipeline Sud-Européen (SPSE) qui gère 40 bacs de stockage pour une capacité totale de 400 000 tonnes ⁴⁴. Ces 4 complexes génèrent différents polluants gazeux, liquides et solides, qui donnent lieu à des odeurs *via* par exemple les composés organiques volatils qui sont relargués (benzène, butadiène). Leur capacité de raffinage est de 29 millions de tonnes par an, ce qui correspond à 37% de la production totale du pays (insee.fr - 2018). Concentrons-nous à présent sur quelques établissements du complexe pétrochimique de Lavéra.

⁴⁴ <http://www.spse.fr/>

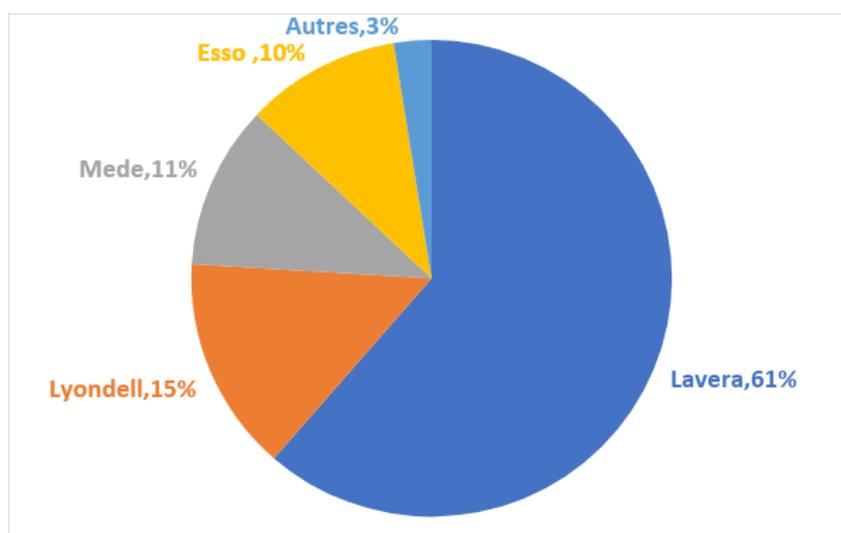


Figure 44. Le nombre de plaintes par raffinerie

- **Le complexe de Lavéra à Martigues** (2 342 plaintes) contient plusieurs établissements industriels tels que Petroineos Manufacturing France, INEOS Chemicals Lavera, INEOS Derivatives Lavéra, Naphtachimie, Oxochimie, Kem One Lavéra, Wilmar, Dépôt Total, Géogaz, Primagaz, Dépôt pétrolier de Lavéra LBC, Gazechim. La raffinerie de Lavéra proprement dite date de 1933, elle appartenait alors à BP. Actuellement, ce complexe compte plus de 1 000 employés.
- **INEOS** est une multinationale créée en 1998. En 2005, elle reprend toutes les activités pétrochimiques du groupe BP sur le site de Lavéra. En 2016, elle a rejeté 11 100 kg/an d'oxirane (oxyde d'éthylène – C₂H₄O). Ce gaz incolore a une **odeur éthérée douceâtre** (qui rappelle celle des « pommes talées »), il peut provoquer en cas d'inhalation et suivant les concentrations de la toux, de la somnolence, des maux de tête, des nausées, des maux de gorge, voire des vomissements ⁴⁵.
 -Le 29/03/2006, à 14h15, une plaignante de Martigues sent : « depuis 12h très forte odeur d'éther peinture très désagréable de source industrielle, irritant pour la gorge ».

⁴⁵ <https://www.cdc.gov/niosh/ipcsnfrn/nfrn0155.html>

- Naphtachimie est une filiale pour moitié des sociétés TOTAL et INEOS. Elle produit les oléfines (alcènes) issues du craquage du naphta (éthylène, propylène et coupe C4). En 2016, cette installation a rejeté 15 composants dans l'air et 6 autres dans l'eau, parmi lesquels, du méthane (CH₄) 144 000 kg/an, et du benzène (C₆H₆) 4520 kg/an.
- Kem One Lavéra est un site spécialisé dans la fabrication de produits vinyliques. En 2016, il a rejeté dans l'air et dans l'eau 20 composants, tels que du monochloroéthane - C₂H₅Cl (**odeur piquante éthérée**) – 139 000 kg/an, du chloroforme - CHCl₃ - (**odeur éthérée**) 44 900 kg/an, du chlorure de vinyle (**odeur légèrement éthérée**) - C₂H₃Cl - 86 400 kg/an, du dichlorométhane - CH₂Cl₂ (**odeur éthérée**) - 37 700 kg/an, et du tétrachlorure de carbone - CCl₄ (**odeur éthérée**) - 5 730 kg/an). Selon leur concentration dans l'air, ces gazs peuvent également provoquer de la toux, des maux de têtes, des nausées, et des douleurs oculaires ⁴⁶.
- A la Mède se trouve la raffinerie TOTAL créée en 1935. Elle est responsable de 422 plaintes. En 2012, cet établissement employait 488 salariés. Sa capacité de raffinage est de 8 millions de tonnes par an. Il était prévu que cette raffinerie se transforme à partir de l'été 2018 en une bioraffinerie spécialisée dans la production des carburants issus de l'hydrotraitement d'huiles végétales, usagées ou résiduelles. La consommation de la bioraffinerie est estimée à 550 000 t/an d'huile de palme ce qui entraîne une déforestation fragilisant l'écosystème dans les pays d'origine, notamment l'Indonésie et la Malaisie⁴⁷. Cette plateforme est opérationnelle depuis juillet 2019 avec une capacité de production de 500 000 tonnes de biodiesel de type HVO (Hydrotraitement des huiles végétales) ⁴⁸. Notons également qu'une ferme solaire y est installée depuis 2017. Elle produit 8 mégawatts, soit l'équivalent des besoins d'une ville de 13 000 habitants ⁴⁹.

⁴⁶ <https://www.cdc.gov>

⁴⁷ http://www.lepoint.fr/societe/la-bio-raffinerie-de-total-a-la-mede-sera-dopee-a-l-huile-de-palme-denoncent-des-ong-19-04-2018-2211974_23.php

⁴⁸ <https://www.total.com/fr/expertise-energies/projets/bioenergies/la-mede-un-site-tourne-vers-avenir>

⁴⁹ www.total.com/sites/default/files/atoms/files/total_en_france_2018.pdf

➤ **Le complexe pétrochimique de Berre** (554 plaintes) est composé d'une raffinerie (exploitée par Shell jusqu'en 2008, puis par Lyondell Basell jusqu'à sa fermeture en 2014) et de 11 entreprises spécialisées dans la fabrication de matières plastiques, de caoutchouc et d'autres produits chimiques ⁵⁰ :

- Basell polyofines France - usine chimique de l'Aubette, spécialisée dans la fabrication de matières plastiques. En 2016, cette entreprise a rejeté 8 polluants, dont 1 dans l'eau. Soit 248 000 kg d'oxydes de soufre (SOx - SO2 + SO3), et 5 300 kg de benzène.
- Le dépôt du port de la pointe de Berre utilisé pour le chargement et le déchargement des produits pétroliers et chimiques. Sa capacité est de 27 000 tonnes de gaz liquéfié et de 25 000 tonnes de liquide inflammable ⁵¹. Ce dépôt a émis, en 2016, 1 200 kg de benzène.
- Kraton polymers France spécialisé dans la fabrication de caoutchouc synthétique.
- L'Usine Chimique de Berre (UCB) a rejeté en 2016, 12 polluants dans l'air et 4 polluants dans l'eau. Soit 167 000 kg d'oxydes de soufre (SOx - SO2 + SO3), caractérisés par une **odeur piquante**, 67 500 kg de méthanol (alcool méthylique), 9 kg de cobalt (Co).

Ces polluants en fonction toujours de leur concentration sont susceptibles de provoquer des nausées, des toux, des picotements des yeux en cas d'inhalation.

-Le 23/03/2008, à 14h, une plaignante de Rognac rapporte une « *odeur de soufre en provenance d'industrie chimique. Léger vent d'ouest, temps frais et couvert* ».

➤ **ESSO** (398 plaintes) installé sur le site de Fos-sur-Mer depuis 1965, emploie 600 salariés, avec une capacité de raffinage de 6.9 millions de tonnes par

⁵⁰ <https://www.annuaire-mairie.fr/entreprise-industrie-chimique-berre-l-etang.html>

⁵¹ <http://www.bouches-du-rhone.gouv.fr/content/download/13340/76319/file/Note%20de%20pr%C3%A9sentation.pdf>

an⁵². Les rejets en 2016 sont considérables : 2 080 000 kg d'oxydes de soufre (SOx - SO2 + SO3), 526 000 kg d'Oxydes d'azote (NOx - NO + NO2), caractérisés par une **odeur piquante et irritante**, 22 600 kg d'acide cyanhydrique (HCN), d'**odeur caractéristique d'amandes amères**. Ces rejets sont susceptibles de provoquer de la toux, de la somnolence, des maux de tête, des nausées, maux de gorge, vomissements en cas d'inhalation. Cette raffinerie est également responsable du rejet de 766 000 tonnes de CO².

-Le 19/04/2004, à 8h, une plaignante de Fos-sur-Mer révèle : « *forte odeur de soufre/de mercaptans provenant de Esso irritant le nez, odeur plus forte le soir* ».

- **À côté de ces principales sources, certaines toujours liées au domaine de l'énergie sont plus secondaires en nombre de plaintes** (97 plaintes). Citons les dépôts pétroliers de Fos – dpf - (25 plaintes), en 2016, qui ont rejeté 75 200 kg de Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques (COVNM), Butagaz à Rognac (18 plaintes, en 2016) pour des rejets de COVNM à peu près équivalents (72 700 kg), et enfin ARKEMA à Marseille (8 plaintes en 2016), pour 61 000 kg d'ammoniac, et 23 400 kg de benzène émis cette même année.

-Le 08/09/2008, à 4h, une plaignante signale : « *durant la nuit, libération de chlore par l'usine ARKEMA : fait courant, la semaine dernière il s'agissait d'ammoniac. Par ailleurs, chaque jour nous sommes gênés par les odeurs (ricin ?) Y a-t-il des mesures de tous ces polluants, le benzène est également présent en quantité supérieure à la normale acceptée par l'Europe* ».

⁵² <https://cdn.exxonmobil.com>

Les papeteries sont également très génératrices de nuisances olfactives.

- **Le secteur de la Papeterie**

Ce secteur englobe les sites suivants : Fibre Excellence à Tarascon (624 plaintes), papeterie Gromelle à Saint Saturnin-lès-Avignon (2 plaintes), imprimerie de Châteaurenard (1 plainte) et imprimerie Rockson à Rognac (1 plainte). Fibre Excellence est implantée en bordure du Rhône à Tarascon depuis 1951. Elle emploie 270 salariés et produit 250 000 tonnes par an de pâtes à base de résineux⁵³. Son impact environnemental est important. En 2016, la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère en charge de l'Environnement a recensé 13 polluants émis par cette société, dont 7 dans l'air et 6 dans l'eau, parmi lesquels 386 000 kg d'oxydes d'azote (NOx - NO + NO₂), 61 400 kg de particules en suspensions (PM10) dans l'eau, 201 kg de Cuivre et ses composants (Cu), 2 890 000 kg de Matières en suspension (MES), et 1 400 kg de Zinc et ses composants (Zn). **Les odeurs rejetées par Fibre Excellence peuvent toucher des habitants de communes très éloignées de Tarascon (plus de 40 km).** Ainsi, le 09/01/2015, à 07h45, une plaignante de Martigues a senti une : « *odeur infecte de chou pourri en provenance de Fibre Excellence* » qui se situe à 51 km de là ⁵⁴.

- **Autres industries**

Cela concerne 31 sites répartis sur toute la région Sud, comme Soprema, spécialiste de produits et de systèmes d'étanchéité, qui détient le nombre le plus élevé de plaintes dans la catégorie « Autres industries » (883 plaintes, 64,36 %).

⁵³ <http://www.fibre-excellence.fr/fibre-excellence-tarascon.php>

⁵⁴ Selon la station météorologique de Notre Dame à Martigues, la direction du vent entre 2h et 8h du matin était de nord-nord-ouest (NNO : entre 321° et 331°) mais la vitesse n'a pas été enregistrée.

Arcelor Mittal, à Fos-sur-Mer, vient très loin derrière Soprema avec seulement 88 plaintes (6.41%) alors que ce site a émis en 2016 plus de 40 polluants différents (30 dans l'air et 10 dans l'eau). **Nous pouvons peut-être expliquer le faible nombre de plaintes malgré la multitude des polluants émis par Arcelor par la distance qui sépare ce site de la ville de Fos-sur-Mer (5 km) et la présence d'autres sites (Esso, dpf...), ce qui empêcherait les plaignants de faire la distinction entre ces sources ?** Parmi les polluants rejetés par Arcelor, citons : 794 000 kg de méthane (CH₄), 3 320 000 kg d'oxydes de soufre (SO_x - SO₂ + SO₃).

Nous allons regrouper le reste des plaintes dues au domaine industriel par grand secteur.

. Le secteur agroalimentaire : Eusacolor à Châteaurenard (80 plaintes), Kerry à Grasse (45 plaintes), Continental Nutrition à Vedène (41 plaintes), Legré Mante à Marseille, fermé en 2009 (20 plaintes), Provence Tomates à Tarascon (14 plaintes), Maison du café à Châteaurenard (6 plaintes), usine Heineken à Marseille (1 plainte), usine Unimer à Marseille (1). La société Kerry a émis, en 2016, 66 700 kg de composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM).

. Le secteur du bâtiment et des travaux publics : Lafarge à Marseille (37 plaintes), Centrale à bitume à Lançon-de-Provence (25 plaintes), Société Publique de Bitume -SPB- à Châteaurenard (20 plaintes), Société Aixoise de Travaux et Réseaux à Gardanne -SATR- (11 plaintes), fabricant de piscines à Gardanne (10 plaintes). En 2016, la société Lafarge, installée à Septèmes-les-Vallons, a émis 24 200 kg d'ammoniac (NH₃), 1 800 kg de benzène, 179 kg de naphthalène, 479 000 kg d'oxydes de soufre (SO_x - SO₂ + SO₃).

. Des industries diverses : Eurolink défense à Marseille (23 plaintes), Euroenco à Sorgues (1 plainte), l'industrie chimique Cerexagri installée à Marseille, spécialiste des pesticides (12 plaintes), Compagnie des Détergents et du Savon de Marseille (CDSM) (9 plaintes), Mane à Grasse, spécialiste en parfums et arômes (8 plaintes), Albemarle à Port-de-Bouc, fermée en 2009 (4 plaintes). En 2016, la société Mane, site la Sarrée, a émis 36 700 kg de Composés Organiques Volatiles Non Méthaniques (COVNM) et 133 kg

d'Hydrofluorocarbures (HFC), qui ont une odeur proche de l'éther. Le faible nombre de plaintes concernant le site de Mane peut être dû à la méconnaissance du site internet du SRO dans le département des Alpes-Maritimes).

Nom de l'établissement	Nombre de plaintes	%
Soprema	883	64,74%
Arcelor	88	6,45%
Eusacolor	80	5,87%
Kerry	45	3,30%
Continental N	41	3,01%
Lafarge (Marseille)	37	2,71%
Centrale à bitume	25	1,83%
Eurolink defense SIPR	23	1,61%
Légré Mant	20	1,47%
SPB (Châteaurenard)	20	1,47%
Provence tomates	14	1,03%
Cerxagri	12	0,88%
SATR	11	0,81%
Fabrique de piscines	10	0,73%
Compagnie des Détergents et des Savons de Marseille (CDSM)	12	0,66%
Mane	8	0,59%
Lafarge (Port-de-Bouc)	7	0,51%
Maison de café-CHATRENARD	6	0,44%
Albemarle	4	0,29%
Alteo	4	0,29%
Charabot	4	0,29%
Apples composites	6	0,44%
Immunotech	2	0,15%
Orgasynth (Centipharm)	2	0,15%
Usine des produits pour l'agriculture	2	0,15%
Laboratoire Bouchey	1	0,07%
Azur chimie	1	0,07%
Eurenco	1	0,07%
Entreprise UniMer	1	0,07%
Société EGC-tara	1	0,07%
Usine HEINEKEN	1	0,07%
Total	1 372	100,00%

Tableau 21. Les autres industries

Enfin, un certain nombre de plaintes relèvent d'autres secteurs que le domaine industriel, nous les avons regroupées sous la dénomination « Autres sources (secondaires) ».

- **Autres sources (secondaires)**

Nous comptons ainsi 48 sources autres que l'industrie (620 plaintes). Au premier rang nous trouvons ce qui concerne le "brûlage" (126 plaintes) des végétaux verts, des bois, des broussailles, et des déchets de chantiers. Le 23/12/2004, à 11h, un plaignant qui habite à Grasse-Magagnosc constate une : *« pollution due aux fumées des feux de déchets végétaux des particuliers et des horticulteurs de la région au sud de Magagnosc. L'air est proprement irrespirable à certaines heures et selon certaines conditions de vent ».*

Nous allons regrouper ces autres sources par types :

Le premier type correspond aux odeurs d'égout (79 plaintes), travaux de pompage et d'assainissement (60 plaintes), étang (24 plaintes), poubelle (11 plaintes), rue sale (2 plaintes), fiente de pigeons (1 plainte), hammam (1 plainte), odeur de la mer à Ensues-la-Redonne (1 plainte), Sormiou-calanque (1 plainte). Les plaignants se concentrent notamment dans la ville de Marseille avec 120 plaintes (64.44%). Le 05/09/2016, à 2h30 une plaignante de Marseille écrit : *« odeur d'égout perceptible chaque nuit pendant l'été depuis des années. L'odeur empestée jusqu'aux étages. Les égouts de Marseille semblent pourris ! ».*

Le deuxième type est lié à l'odeur de brûlé : plastique brûlé (67 plaintes), pneu brûlé (14 plaintes), caoutchouc brûlé (13 plaintes). La plupart de ces sources sont néanmoins d'origine industrielle, c'est pourquoi nous constatons une concentration des plaintes autour de l'Étang-de-Berre : 68 plaintes (72.34%).

- Le 03/07/2007, à 20h une plaignante de Vitrolles sent une : « *odeur diluée de pneus brûlés en provenance d'industries. Vent du nord faible* ».

Le troisième type a trait à la circulation (34 plaintes), cheminée (13 plaintes), parking Jules Verne, à Marseille (10 plaintes), port de Marseille (7 plaintes), aéroport de Marignane (6 plaintes), Samat sud, spécialiste de transport routiers installé à Rognac, (7 plaintes), Barraco, spécialiste de transports routiers installé à Gardanne, (1 plainte). Le 28/10/2004, à 15h un plaignant de Marseille signale des : « *odeurs de pots d'échappements en provenance des camions 30t qui viennent récupérer les déchets de l'hôpital de la Conception. Les heures pendant lesquelles cela se produit sont fonction des tournées des camions (pas d'horaires fixes). Les riverains Baille Berton en ont informé le Directeur de l'hôpital* ».

Enfin, les plaintes restantes concernent les garages mécaniques (22 plaintes), la restauration (13 plaintes), les travaux publics et les chantiers (11 plaintes), voire des plaintes contre des « voisins » (5 plaintes). Ainsi, le 07/06/2012, à 22h, un plaignant de Marseille écrit : « *bonjour, cela fait deux ans que nous habitons sur château Gombert et nous avons des voisins qui ont 3 porcs et des chèvres nous ne pouvons plus supporter l'odeur nauséabonde que nous respirons tous les jours l'état de l'endroit où vivent ces animaux doit être vraiment très sale vu l'odeur pourriez-vous nous dire comment faire pour qu'un contrôle soit fait chez ces personnes merci de votre compréhension* ». Le 13/06/2003, à 8h, un autre plaignant habitant Marseille signale une « *forte odeur quotidienne dont la provenance est clairement identifiée : l'appartement d'un voisin dont il semblerait que les règles sanitaires et d'hygiène élémentaires n'y soit pas respectées. Avec la chaleur c'est insupportable, tout l'immeuble en souffre...* »

Nom de la source	Nombre de plaintes	%
Brûlage	126	20,36
Égout	79	12,76
Plastique brûlé	67	10,82
TPA- T. de Pompage et d'Assainissement	60	9,69
Circulation	34	5,49
Étang	24	3,88
Clean13	23	3,72
Agricole	24	3,72
Alex Automobile-carrosserie	19	3,07
Pneu brûlé	14	2,26
Cheminée	13	2,10
Caoutchouc brûlé	13	2,10
Poubelles	11	1,94
Restaurant-Marseille	11	1,78
Port-Saumaty	10	1,62
Parking-Marseille	10	1,62
Port-Marseille	7	1,13
Carrosserie	7	1,13
Samat	7	1,13
Aéroport- Marignane	6	0,97
Abbattoir-Tarascon	6	0,97
Voisin	5	0,81
Chantier	5	0,81
Demeco	4	0,65
Colas midi	4	0,48
Station-Service	2	0,32
Rue sale	2	0,32
DJ Pal	2	0,32
Atelier	1	0,32
Travaux de voirie	1	0,16
Sormiou-calanque	1	0,16
Saman Vitrolles	1	0,16
Mer-Ensuès-la-Redonne	1	0,16
Mcdonald-Rognac	1	0,16
Marché-Rognac	1	0,16
L'école d'art plastique-Gardanne	1	0,16
Hammam	1	0,16
Garage	6	0,16
Fientes de pigeons	1	0,16
Dépôt de fruits	1	0,16
Casse auto ferrailles	1	0,16
Boulangerie	1	0,16
Boîte de nuit	1	0,16

BG Tradition-snack-Rognac	1	0,16
Barraco	1	0,16
Pressing	1	0,16
Fourrière municipale	1	0,16
Boulodrome de Ste Sophie	1	0,16
	620	100

Tableau 22. Les autres sources secondaires

À ce stade de l'analyse, il est temps de prendre en compte un certain nombre de facteurs qui jouent un rôle de premier plan dans la diffusion et l'impact des odeurs sur les riverains (distance entre la source et le plaignant, direction, vitesse des vents).

2.1.2.7 La distance entre la source et les plaignants, la direction et la vitesse des vents

Parmi ces facteurs, la distance qui sépare la ou les sources et le lieu de vie du plaignant est primordiale. En effet, nous pouvons raisonnablement penser que plus la distance est faible et plus les impacts peuvent être forts, même si nous le savons, la vitesse des vents dominants peut emporter les odeurs bien plus loin, le long d'un transect (direction) préférentiel suivant leur orientation, permettant alors leur diffusion bien au-delà de la zone d'émission. Selon bien entendu la vitesse du vent, cette diffusion peut favoriser ou non la dilution dans le compartiment atmosphérique des molécules odorantes, nous y reviendrons plus loin.

Nous avons par conséquent calculé la distance entre les émetteurs (source-s) et les récepteurs (plaignants) à chaque fois que cela était possible (source connue), et ce, pour chacune des plaintes. Pour cela nous avons fait appel à l'outil de mesure présent dans le Système d'Information Géographique QGis. Cette distance est exprimée en mètres. **Pour 2 267 plaintes (13,76%), la distance manque en raison de l'absence d'une source exacte, ou de la difficulté de géolocalisation de cette source (brûlage de déchets verts).** Les distances varient entre 0 m à 52 228,39 m. **Pour la majorité des plaintes (9 699 plaintes, 58,86%) la**

distance est inférieure à 3 000 m. Généralement, les usines équipées de hautes cheminées, notamment les raffineries et la papeterie de Tarascon, dispersent leurs odeurs sur de plus grandes distances. À partir de 40 Km, les plaintes (25) concernent uniquement la papeterie de Tarascon (Fibre Excellence). Concernant la direction et la vitesse des vents nous avons exploité les données fournies par AtmoSud et météo France. Pour chaque plainte dans nos 22 villes d'intérêt nous avons retenu la station météo la plus proche.

Département	Ville	Station Météo	Distance (en m)
Bouches-du-Rhône	Chateaubernard	Avignon	8 499
	Martigues	Martigues Notre Dame	-
	Port-de-Bouc	Martigues Notre Dame	5 457
	Ensuès-la- Redonne	Martigues Notre Dame	13 325
	Gardanne	Aix-en-Provence	8 787
	Tarascon	Tarascon	-
	Vitrolles	Martigues Notre Dame	16 957
	Châteauneuf-les-Martigues	Martigues Notre Dame	9 324
	Fos-sur-Mer	Martigues Notre Dame	9 512
	Marseille	Aix-en-Provence	26 653
	Rognac	Martigues Notre Dame	17 292
	Lançon de Provence	Salon en Provence	5 828
	Sausset	Martigues Notre Dame	9 279

Vaucluse	Saint-Saturnin-Lès-Avignon	Entraigues	4 956
	Le Pontet	Entraigues	6 821
	Sorgues	Entraigues	4 375
	Vedène	Entraigues	3 595
	Entraigues	Entraigues	-
Var	Le Cannet-des-Maures	Le Luc	2 302
	Le Luc	Le Luc	-
Hautes-Alpes	Ventavon	Tallard	15 585
Alpes Maritimes	Grasse	Cannes	13 932

Tableau 23. Les stations météo les plus proches de nos 22 villes d'intérêt dans la région Sud

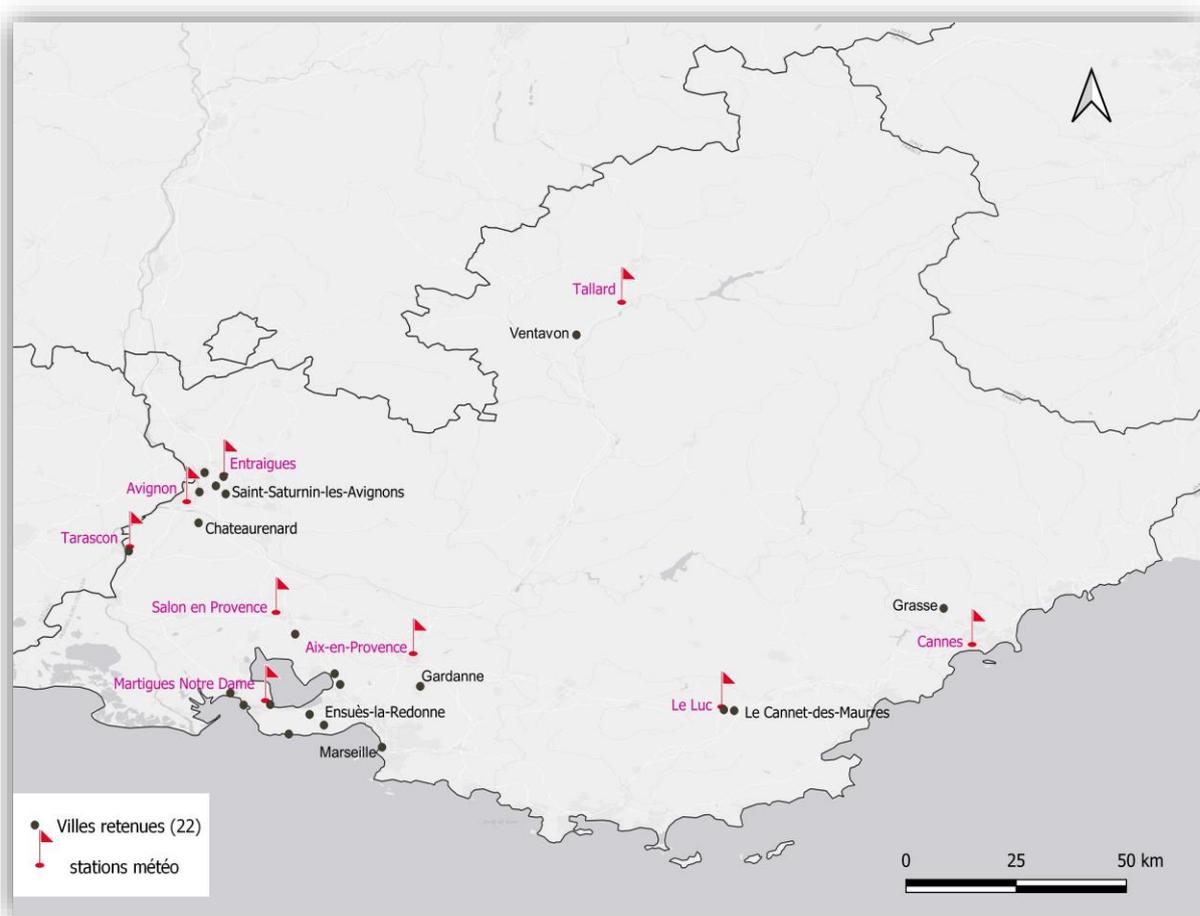


Figure 45. La localisation des stations météo les plus proches de nos 22 villes d'intérêt dans la région Sud

- 4 villes disposent de stations météo qui mesurent la vitesse et la direction des vents : Martigues, Le Luc, Entraigues et Tarascon.
- 12 villes se trouvent à moins de 10 Km d'une station de mesures : Le Cannet-des-Maures, Vedène, Sorgues, Le Pontet, Saint-Saturnin-Lès-Avignon, Sausset, Lançon-de-Provence, Fos-sur-Mer, Châteauneuf-les-Martigues, Gardanne, Port-de-Bouc et Chateaurénaud.
- 6 villes sont à plus de 10 Km d'une station de mesures : Grasse, Ventavon, Rognac, Marseille, Vitrolles et Ensues-la-Redonne.

Les stations n'ont pas commencé l'enregistrement des données à la même date, elles fournissent des données horaires. Parfois, du fait de problèmes techniques, des interruptions temporaires peuvent survenir (Tableau 24 ci-dessous).

Stations	Début de collecte des données	Fin de collecte des données	Nombre d'heures d'enregistrement	Nombre d'heures d'interruption
Aix-en-Provence	09/07/2003 à 1h	20/03/2018 à 4h	124 947 (96.98%)	3 889 (3.02%)
Avignon	09/07/2003 à 1h	20/03/2018 à 10h	111 241 (86.63%)	17 169 (13.37%)
Entraigues	13/09/2009 à 21h	16/03/2018 à 17 h	71 582 (96.03%)	2959 (3.97%)
Le Luc	09/07/2003 à 1h	21/03/2018 à 7h	118 115 (91.66%)	10 748 (8.34%)
Cannes	09/07/2003 à 5h	20/03/2018 à 10h	121 431 (94.57%)	6 975 (5.43%)
Tarascon	09/07/2003 à 1h	16/03/2018 à 13h	122 487 (95.13%)	6 266 (4.87%)
Salon-de-Provence	09/07/2003 à 1h	20/03/2018 à 13h	122 377 (94.57%)	7 024 (5.43%)
Martigues (Notre Dame)	01/01/2000 à 1h	16/03/2018 à 12h	147 171 (92.22%)	12 417 (7.78%)
Tallard	09/07/2003 à 1h	21/03/2018 à 7h	124 725 (96.79%)	4 138 (3.21%)

Tableau 24. Le fonctionnement des stations météo entre 2000 et 2018

À côté de ces caractéristiques physiques (conditions météorologiques), nous nous sommes demandés si les plaintes pouvaient être le fait d'une certaine catégorie de la population, raison pour laquelle, dans un premier temps, nous nous sommes intéressés au genre des plaignants.

2.1.2.8 Le genre des plaignants

Les plaintes sont déposées par des hommes et des femmes, mais d'une façon inégale, car la majorité des plaintes (13 105, soit 62.82%) sont le fait des femmes (figure 46) qui seraient selon certains auteurs plus sensibles d'analyser des odeurs perçues⁵⁵. Les hommes ont déposé quant à eux 4 428 plaintes (21.22%), le reste ne pouvant pas être attribué à un genre, c'est-à-dire que nous n'avons pas l'information liée.

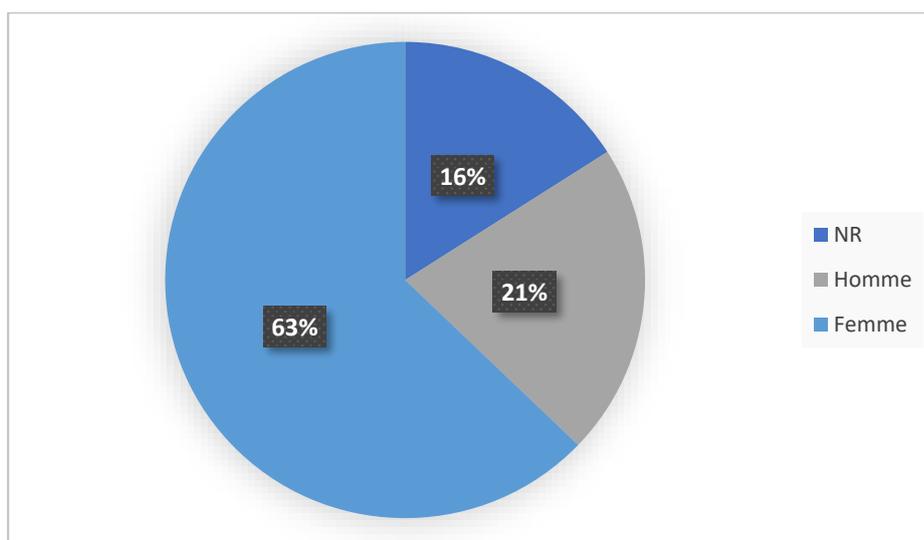


Figure 46. Le genre des plaignants

Le ressenti entre les genres n'est pas le même (tableaux ci-après). En effet, les femmes s'estiment un peu plus souvent gênées par une odeur en comparaison des hommes (68% contre 61%), elles sont également plus nombreuses à signaler que les odeurs perçues sont irritantes (30% contre 18%). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les

⁵⁵ Ces dernières occupant, par exemple, une place de choix au moment de rencontrer un partenaire sexuel, une bonne odeur favorisant alors l'attractivité (Herz et al., 1997, Ferdenzi et al., 2010)

femmes portent globalement plus d'intérêt à leur santé ou à celle de leur famille que les hommes. Une étude réalisée par l'INSEE a montré que 7 femmes sur 10 suivent des émissions sur la santé à la télévision ou à la radio, contre seulement 5 sur 10 pour les hommes, et que 60% des femmes ont coutume de lire les pages « santé » des magazines grand public, contre seulement 32% pour les hommes ⁵⁶.

Niveau de gêne	Femme	Homme
Pas gêné	0,55%	1,33%
Peu gêné	2,85%	4,20%
Très gêné	68,40%	61,70%

Tableau 25. La différence de niveau de gêne entre les femmes et les hommes

Irritation	Femme	Homme
Pas d'irritation	3.59%	7.81%
Peu d'irritation	4.57%	7.68%
Odeurs irritantes	30.43%	18.56%

Tableau 26. La différence de niveau d'irritation entre les femmes et les hommes

⁵⁶ <https://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/416/1/ip869.pdf>

2.1.2.9 La durée de la gêne olfactive

Le plaignant indique à ce niveau la durée de la gêne olfactive qu'il a subie. La figure ci-dessous montre la répartition de cette durée.

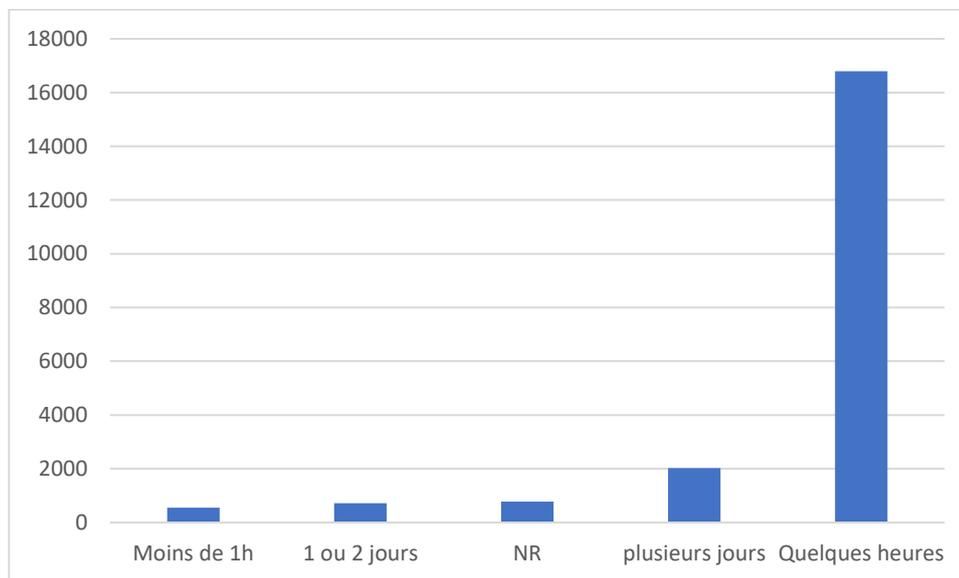


Figure 47. La durée de la gêne olfactive

La durée de la gêne olfactive ramène au problème de la dispersion/dilution des odeurs, liée à plusieurs facteurs tels que la météorologie, la topographie, la hauteur de la source, mais aussi le moment où a eu lieu l'émission.

Nous disposons des données concernant la vitesse des vents pour les 22 villes retenues. Nous allons les exploiter afin de mieux appréhender la répartition des plaintes sur ces différentes durées. Il faut rappeler qu'il existe deux modes de diffusion liée à la vitesse du vent : une **diffusion normale (DN)** existant le jour ou la nuit avec des **vitesses de vent supérieures à 3 m/s** et une **diffusion faible (DF)** rencontrée souvent la nuit, avec des **vitesses de vent inférieures à 3 m/s** (Doury, 1980). **Nous allons nous concentrer sur les conditions de diffusion normale (DN) dans les 22 villes retenues.**

Pour les 22 villes retenues, la catégorie « quelques heures » vient au premier rang avec 11 932 plaintes. Pour 7 130 d'entre elles, la vitesse des vents au moment de la plainte est inférieure à 3 m/s, ce qui explique la persistance des odeurs.

Vv-m/s	N. plaintes	%
< 3	7 130	59,76
> 3	4 802	40,24
	11 932	100

Tableau 27. Le nombre des plaintes par classe de vitesse des vents “quelques heures”

Pour la catégorie « plusieurs jours » (1 145 plaintes), le nombre des plaintes pour lesquelles la vitesse des vents est inférieure à 3 m/s est de 20% supérieure au nombre des plaintes où la vitesse des vents dépasse 3 m/s, ce qui est normal puisque les odeurs ont alors tendance à stagner.

Vv-m/s	N. plaintes	%
< 3	793	69,26
> 3	352	30,74
	1 145	100

Tableau 28. Le nombre de plaintes par classe de vitesse des vents « plusieurs jours »

La catégorie « 1-2 jours » vient au troisième rang avec 475 plaintes. Les plaintes qui ne contiennent pas l’enregistrement de la vitesse des vents « ND » ont été supprimées (81 plaintes). Nous constatons, comme la catégorie précédente, que les plaintes sont plus nombreuses quand la vitesse des vents ne permet pas une diffusion rapide des odeurs.

Vv-m/s	N. plaintes	%
< 3	311	65,47
> 3	164	34,53
	475	100

Tableau 29. Le nombre des plaintes par classe de vitesse des vents « 1-2 jours »

La catégorie « moins d’une heure » occupe le dernier rang avec 360 plaintes. Cela signifie que **les plaintes sont surtout déposées lorsque la gêne dure plus d’une heure, voire quelques heures.**

Vv-m/s	N. plaintes	%
< 3	182	50,56
> 3	178	49,44
	360	100

Tableau 30. Le nombre des plaintes par classe de vitesse des vents “moins d’une heure”

Afin de montrer à présent l’effet de la topographie sur les odeurs, nous avons choisi l’exemple de Châteaurenard qui concentre le nombre le plus élevé des plaintes (2 150 plaintes). Les plaignants se situent au nord de la ville, en ligne directe des émissions de Sotréco, alors que les quartiers sud sont protégés par la colline du Griffon (99m), qui semble faire écran aux odorants.

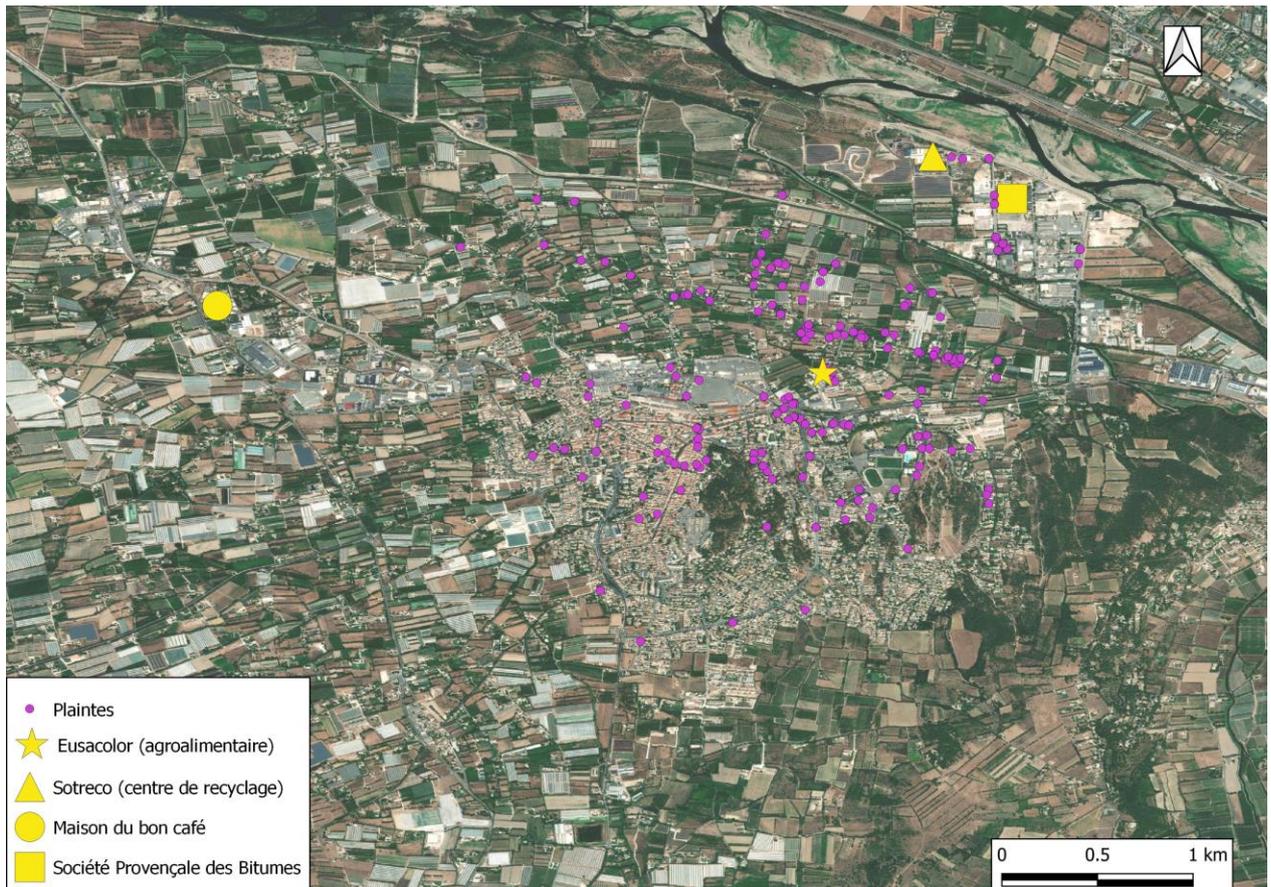


Figure 48. Carte des plaintes et des sources d'odeurs à Châteaurenard

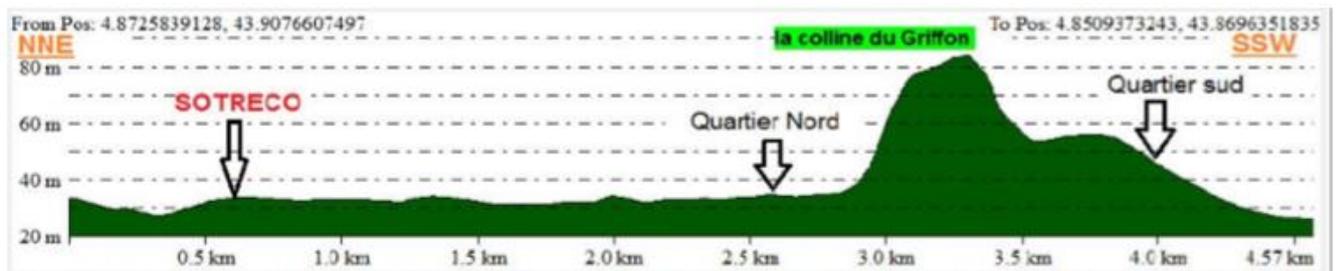


Figure 49. Carte topographique de Châteaurenard et transect topographique (NNE-SSW)

2.1.2.10 L'intensité des odeurs perçues

Dans le SRO, les plaignants ont la possibilité d'indiquer en cochant une rubrique préétablie l'intensité de l'odeur qui est l'objet de leur plainte. Mais peu le font, c'est la raison pour laquelle nous avons tenté de l'évaluer à partir là encore du *corpus* des remarques. Au sens physique du terme, l'intensité est la marge qui se trouve entre le seuil de perception et la saturation. Elle varie entre faible, modérée et forte.

Les plaintes qui font état d'une **intensité faible** sont rares : 38 plaintes (0.18%). Elles concernent tous les types d'odeurs (chimique, soufre, biologique, hydrocarbure) et sont évoquées ainsi :

« Odeur-s- faible-s » : 10 plaintes.

« Très légère odeur » : 17 plaintes.

« Odeur légère » : 11 plaintes.

Mais nous savons que l'intensité faible d'une odeur nauséabonde peut provoquer une gêne olfactive pour les riverains si elle dure longtemps.

-Ainsi, le 06/08/2008, à 5h, un plaignant qui habite à Marseille ressent une : « *odeur chimique sur toute la ville de Marseille (Quartier que j'ai fréquenté aujourd'hui : Joliette et Dromel). Odeur faible mais très désagréable avec sensation de gêne respiratoire et nausée, cette odeur m'a réveillé ce matin vers 5h00 et dure depuis* ».

-Le 01/09/2016, à 22h19, un plaignant de Martigues constate que : « *depuis 21 heure légère odeur nauséabonde continue* ».

Deux plaintes, seulement, font référence à des odeurs moyennes, ce qui laisse penser qu'il est difficile de déterminer l'intensité exacte d'une odeur sans l'utilisation d'appareils *ad hoc* et que **le plaignant ira plus facilement vers une odeur faible, durable dans le temps qui justifie alors le dépôt de plainte, ou bien vers une odeur forte.** Comme

le souligne Vroon et *al.* (1996) cité par Kleiber et Vuillaume (2011) *“There is no linear proportional relation between strength of olfactory stimuli and intensity of perception”*.

-Le 21/07/2006, à 10h, un plaignant qui réside à Port-de-Bouc sent une « *odeur moyenne en provenance de Naphtachimie, plusieurs personnes de la mairie se sont plaintes de ces mauvaises odeurs* ».

La plupart du temps l'intensité des odeurs perçues est forte, ce qui justifie le recours des riverains au SRO comme moyen de protestation *via* les plaintes qu'ils y déposent :

« (Très) forte-s- odeur-s » : 5 595 plaintes.

« Odeur-s- (très) forte-s » : 392 plaintes.

Nous avons aussi cherché les adjectifs qui peuvent décrire une intensité forte : insupportable-s- (414), irrespirable-s- (269), épouvantable-s- (77), puissante-s- (43), suffocante-s- (30), tenace-s- (24), importante-s- (17).

Nous constatons que **les odeurs de type biologique sont les plus concernées** (2 261), suivies par les odeurs d'hydrocarbures (1 165), de soufre (327), de brûlé (303), les odeurs perçues comme chimiques (182), les odeurs de chlore (34), et d'ammoniac (7).

Enfin, de la durée et de l'intensité de la nuisance olfactive, un niveau de gêne va être ressenti par le plaignant.

2.1.2.11 Le niveau de gêne ressenti par le plaignant

Le SRO a dressé 4 niveaux de gêne : « pas gêné », « peu gêné », « gêné », « très gêné » avec, bien entendu, la possibilité de ne pas s'exprimer, noté « NR ». Nous constatons que les deux niveaux « gêné » et « très gêné » concentrent 20 064 plaintes

(96.14 %), ce qui indique que **le fait de déposer une plainte est lié directement au niveau de la gêne ressentie.**

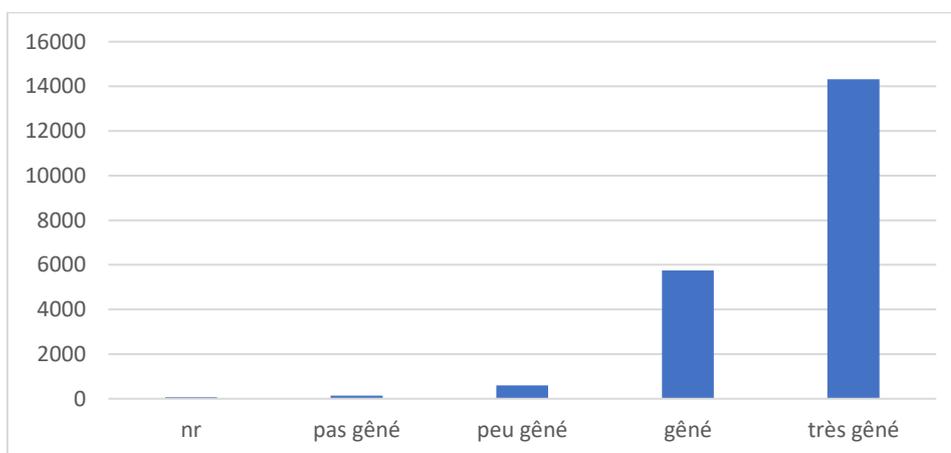


Figure 50. Le niveau de gêne ressentie par le plaignant

La modalité « **Très gêné** » (14 312 plaintes) concerne des plaintes pour des odeurs de nature biologique (2 987), d'hydrocarbures (2 042), qui sentaient le soufre (493), le brûlé (537), avaient une odeur chimique (352), avec des adjectifs employés par les plaignants pour les décrire comme "forte-s-" (5620), pourri-e-s- (589), écœurante-s- (394), infecte-s- (326), insupportable-s- (332), désagréable-s- (291), infection (236), irrespirable-s- (218).

Le 09/02/2003, à 18h, une plaignante de Salon de Provence sent une "odeur écoeurante et très désagréable".

5 752 plaintes ont fait état d'un niveau « **Gêné** » pour là encore plusieurs types d'odeurs : biologique (533), hydrocarbure (613), soufre (208), brûlé (132), chimique (201), avec l'emploi des termes "forte-s-" (936), écœurantes- (276), pourri-e-s- (246), désagréable-s- (133), que nous retrouvons, et des adjectifs nauséabonde-s- (112), mauvaise-s- (99).

-Le 29/06/2005, à 8h30, une plaignante de Carros écrit : "forte odeur de mazout en alternance avec une forte odeur de peinture et ce soir à nouveau les odeurs en provenance du compost oredui à 19h30 qui ont duré moins longtemps que ces derniers jours".

Dans la catégorie « **Pas gêné** » (139 plaintes), toutes les catégories des odeurs sont encore présentes : biologique (6), hydrocarbure (19), soufre (10), brûlé (5), mais elles sont associées aux adjectifs “légère” (6) et “légèrement” (3).

Le 22/08/2010, à 9h, un plaignant de Vitrolles signale une “*odeur légère de poubelles*”.

Le même type de commentaire peut s’appliquer pour le niveau suivant « **peu gêné** » (602 plaintes), à l’exception toutefois de **14 plaintes qui décrivent des odeurs « forte-s » sans être gênés au même niveau. Peut-être est-ce le résultat d’une certaine adaptation de ces plaignants à ce type d’odeurs ?**

Au-delà de la gêne, certains plaignants rapportent des symptômes physiologiques liés à leur exposition à certains odorants, ce que nous allons à présent examiner.

2.1.2.12 Les symptômes physiologiques rapportés par les plaignants

Toujours par le biais du site internet du SRO, le plaignant peut signaler si l’odeur perçue l’incommode au point de développer un symptôme physiologique parmi une liste prédéfinie : maux de tête, vertiges, nausées, irritation des yeux, irritation du nez, mal à la gorge, difficultés à respirer, toux, crise d’asthme. Le plaignant a aussi la possibilité d’indiquer s’il a eu d’autres symptômes que ceux précités.

La plupart des plaintes rendent compte de symptômes irritatifs. Cela semble normal au vu des odorants émis dans leur espace de vie et qui ont cette capacité d’irritation, tels que l’oxyde de soufre (SO₂) produit par les activités industrielles et la combustion du pétrole, du charbon et de gaz non désulfurés, le chlore (Cl) utilisé dans les stations d’épuration et les services d’assainissements, ou bien encore l’ammoniac (NH₃), résultant d’activités industrielles ou agricoles (élevage).

- Pour 9 908 plaintes (**49%**), l'odeur a été perçue comme étant **Très irritante à irritante**. Ces odeurs provenaient des décharges Sotréco (800), Biotechna (742), Balançan (371), Malespine (268), des raffineries, telles que Lavéra (225), la Mède (94), Esso (19), Lyondell (37), ou bien encore de la papeterie de Tarascon Fibre Excellence (22), voire d'autres industries comme Soprema (étanchéité) (656). Les odeurs associées sont d'origine biologique : poubelle-s- (439), fermentation-s- (248), merde (103), décomposition-s- (101), relatives aux hydrocarbures : gaz (409), pétrole (63), essence (10), fioul (22), brûlé-s- (423), soufre (153), ou bien encore chimiques : chlore (32), ammoniac (08).

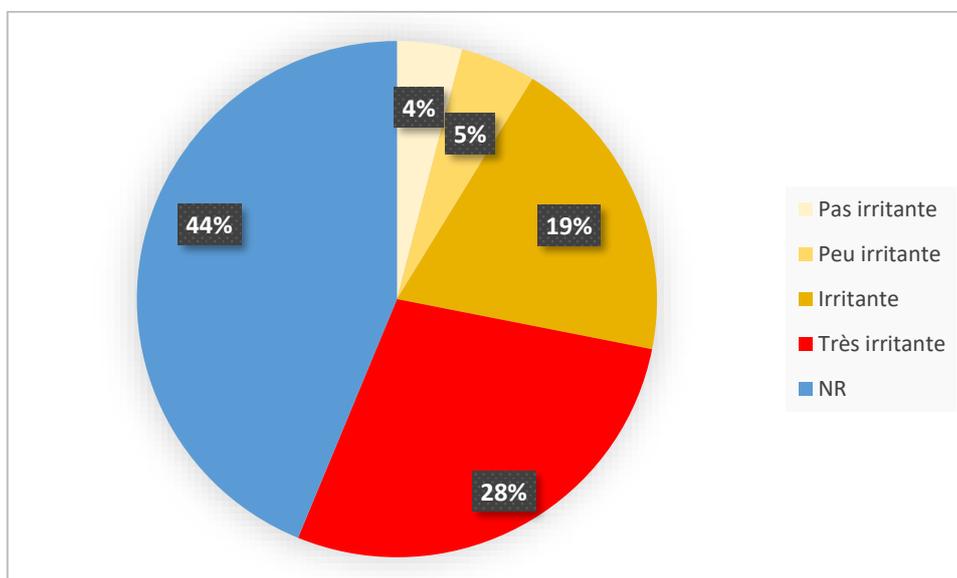


Figure 51. Le nombre de plaintes par niveaux d'irritation

- Parmi les autres symptômes viennent ensuite les **nausées** (300 plaintes, 1.44%), 131 personnes ont indiqué avoir eu envie de vomir (0.63%), et dans le cas de 28 plaintes, il y a eu effectivement des vomissements (0.13%). Ces plaintes sont dispersées dans toute la région et elles sont le résultat de toutes les catégories d'odeurs (pas d'une en particulier).

-Le 18/09/2008, à 15h, une responsable du lycée Charles Mongrand à Port-de-Bouc écrit : *“odeur de produit désinfectant donnant des vomissements, saignement de nez, des nausées, maux de tête, des douleurs abdominales à beaucoup d'élèves”*.

- Les **maux de tête** concernent 285 plaintes (1.37%) réparties autour l'Étang de Berre. **Ces maux de tête peuvent être provoqués par des odeurs d'hydrocarbures, et notamment une exposition au benzène.**

-Le 27/08/2007, 22h30, un plaignant de Port-de-Bouc signale une *“forte odeur d'essence, d'hydrocarbures en provenance d'industries. Maux de tête”*.

- Les **problèmes respiratoires** se manifestent sous forme de **picotements et d'irritations** : de nez 168 plaintes (1.23%) ; de gorge, 414 plaintes (1.98%) ; des yeux, 344 plaintes (1.65%) ; voire d'étouffements, 37 plaintes (0.18%).

-Le 09/01/2015, à 13h38 une plaignante de Nice sent une *“forte odeur de brûlé qui pique la gorge et brûle les yeux. Depuis 5 jours (nuit et jour) la société avoisinante brûle des déchets”*. Parfois, des saignements de nez dus à l'irritation des voies nasales sont signalés (9 plaintes, 0.043%).

-Le 18/09/2008, à 15h45 une infirmière du collège Paul Eluard à Port-de-Bouc écrit *« odeur de gaz. Les élèves ont des maux de tête, toux et saignements de nez »*.

- Les **troubles du sommeil** : plusieurs plaignants témoignent qu'ils sont réveillés où qu'ils ne trouvent pas le sommeil à cause d'un épisode olfactif gênant : 107 plaintes (0.51%) évoquent ce problème.

-Le 25/09/2013, à 3h, un plaignant qui habite Le Rouret signale : *“odeur pestilentielle évoquant quelque chose d'alimentaire. Apparue entre 00h00 (heure à laquelle je me suis couché) et l'heure à laquelle je me suis réveillé et fermé ma fenêtre. Je n'ai jamais rien senti de pareil. Je ne peux pas encore dire si cela va durer plus de quelques heures pour le moment”* ...

-Le 28/07/2006, à 00h34, un plaignant de Port-de-Bouc écrit : *“cela m'a réveillé ça devient vraiment intolérrrrrrrrrrrable”*.

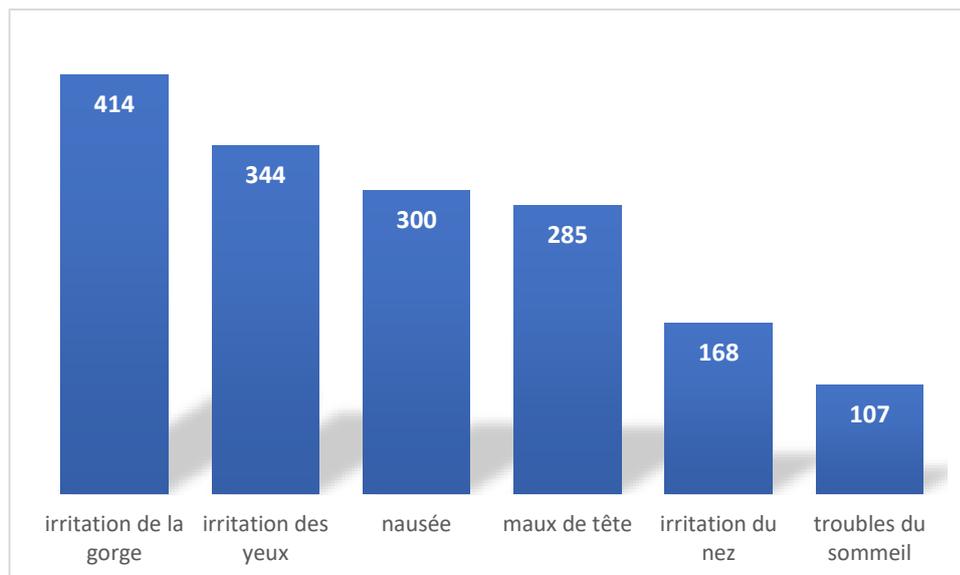


Figure 52. Le nombre de plaintes par symptômes

Enfin, et bien que cela ne fasse pas partie de la liste préétablie par le SRO, **certains riverains avouent avoir peur ou bien être stressés par les nuisances olfactives qu'ils subissent.**

-Le 10/03/2011, à 23h45 un plaignant de Vitrolles écrit : « *Il semblerait que les odeurs venant du plateau de l'Arbois soient de nouveau d'actualité. Y a-t-il une pétition en cours ? notre santé est-elle en danger, j'en ai bien peur* ».

-Le 16/07/2015, à 20h30, une plaignante de Venelles écrit : « *bonsoir. Il y a de très forte odeur nauséabonde depuis ce soir 20h30 sur la ville de Venelles. C'est impressionnant et stressant. Lorsque je me suis mise dehors pour vérifier la provenance, l'odeur prend à la gorge et aux yeux immédiatement. J'ai peur pour les conséquences sur la santé de ma famille* ».

-Le 05/07/2014, 05h30, un plaignant de Marseille : « *Je reviens vers vous car les rejets s'intensifient, à tout moment du jour comme de la nuit. Cela devient très gênant au niveau respiratoire. L'odeur reste imprégnée dans l'habitation, surtout que j'ai des enfants en bas âges, j'ai peur que ses rejets soient dangereux pour eux* ».

Il y aurait donc à côté de ces symptômes physiologiques, **d'autres symptômes plus psychologiques**. On peut penser à la longue à un sentiment de **dépression** due à l'impuissance qu'ils peuvent ressentir à faire changer la situation, ou à la dépréciation de leurs biens, avec le sentiment alors d'être bloqués dans leur vie personnelle.

Au terme de ce travail, et pour lever des doutes sur le bien-fondé de ces plaintes nous avons envoyé un questionnaire aux jurés de nez recrutés par AtmoSud afin de voir si des similitudes se retrouvaient entre les plaignants et ces personnes qui sont en quelque sorte comme des éclaireurs, des vigies des odeurs.

2.1.2.13 Les résultats du questionnaire du jury de nez

Le nombre de jurés dans la région sud est en baisse entre 2016 et 2018. Il est passé de 114 volontaires en 2016 à 84 en 2018 (tableau ci-dessous). C'est le département des Bouches-du-Rhône qui détient le nombre le plus élevé de jurés de nez, notamment autour de l'Étang de Berre.

Département	2016	2017	2018
Bouches-du-Rhône	71	55	60
Var	24	15	14
Vaucluse	12	4	5
Alpes-Maritimes	5	2	4
Alpes de Haute-Provence	1	1	1
Hautes-Alpes	1	1	-
Total	114	78	84

Tableau 31. Évaluation du nombre de jury de nez par département entre 2016 et 2018. Source : https://www.atmosud.org/sites/paca/files/atoms/files/190307_bilan_srn_2017-2018.pdf

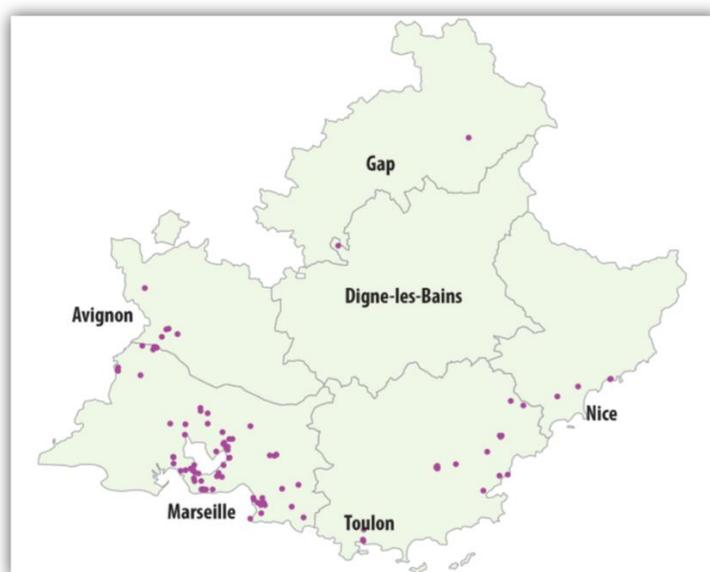


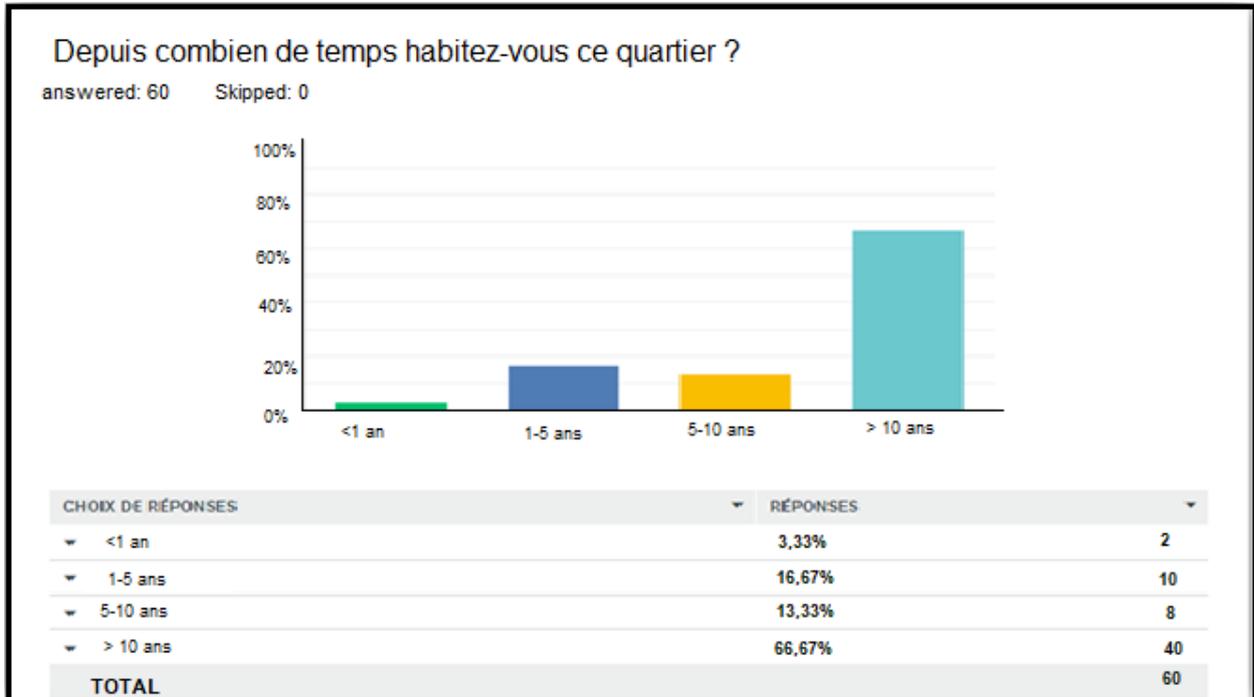
Figure 53. La localisation des nez actifs dans la région Sud en 2017 et 2018.

Source : AtmoSud 2019

Ces bénévoles ont réalisé 6 500 observations en 2017, et plus de 7 000 en 2018 (AtmoSud 2019). En 2017, nous avons interrogé 60 d'entre eux (76.92%) *via* un

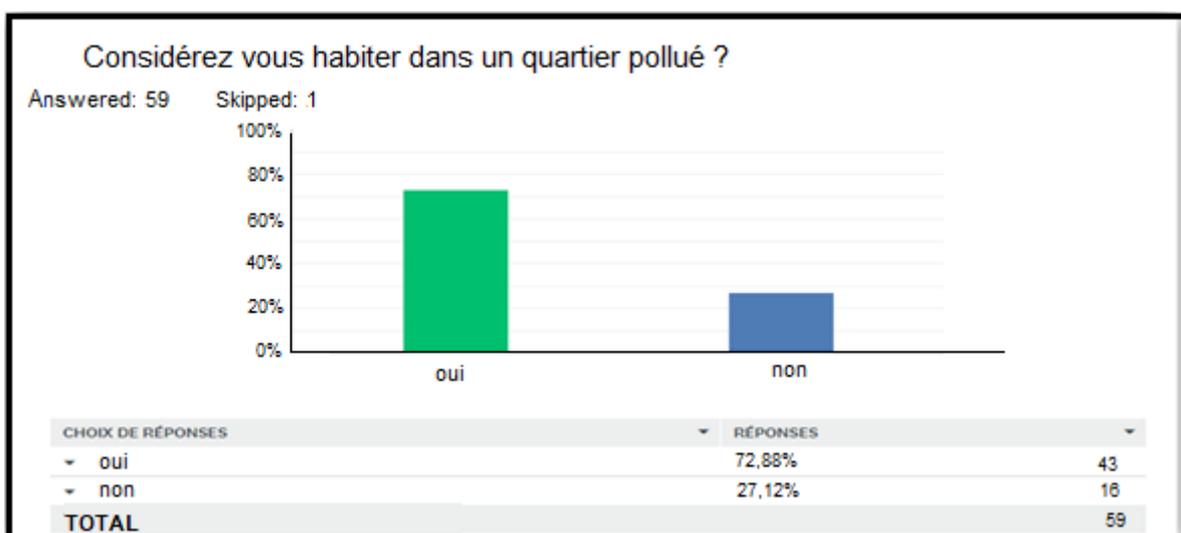
questionnaire composé de 14 questions, dont nous allons commenter à présent les résultats.

Q 1



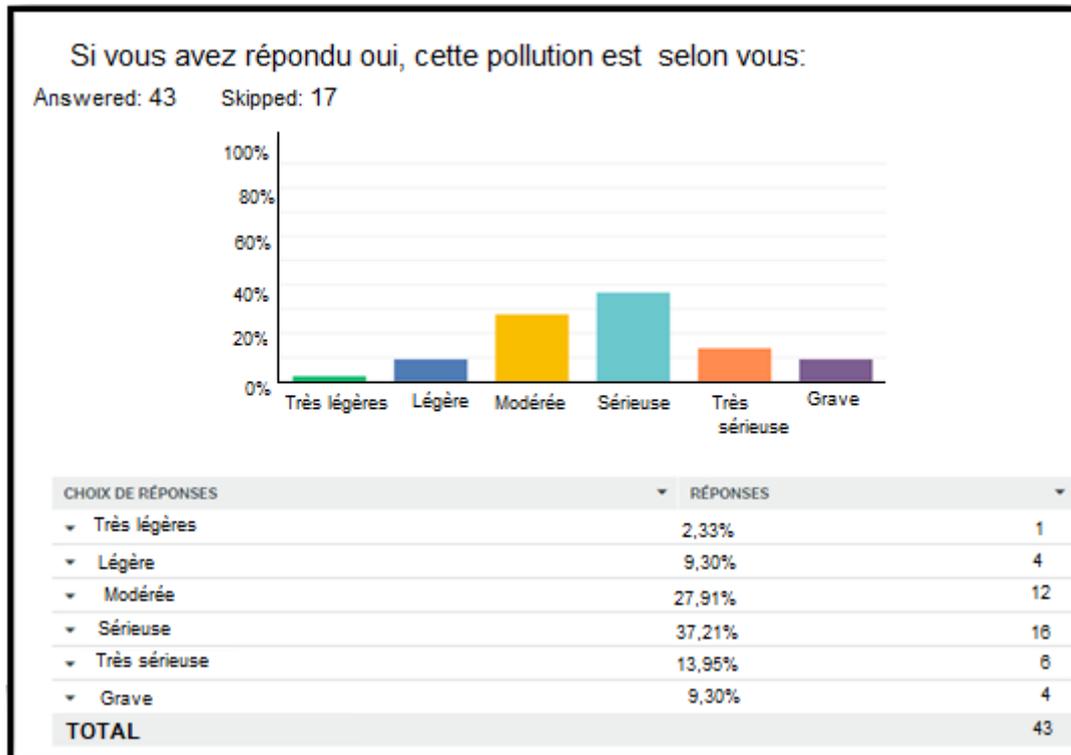
40 jurés de nez (66.67%) habitent à la même adresse depuis plus de 10 ans. Nous pouvons donc supposer qu'ils ont une **bonne connaissance de leur environnement**.

Q 2



43 jurés (72.88%) considèrent qu'ils habitent dans un quartier pollué, c'est d'ailleurs ce qui les motive à faire partie de ces jurys.

Q 3



(60.46%) d'entre eux constatent que **le problème de la pollution est sérieux, très sérieux et grave.**

Q 4

Est ce que cette situation est présente depuis que vous habitez ce quartier ?

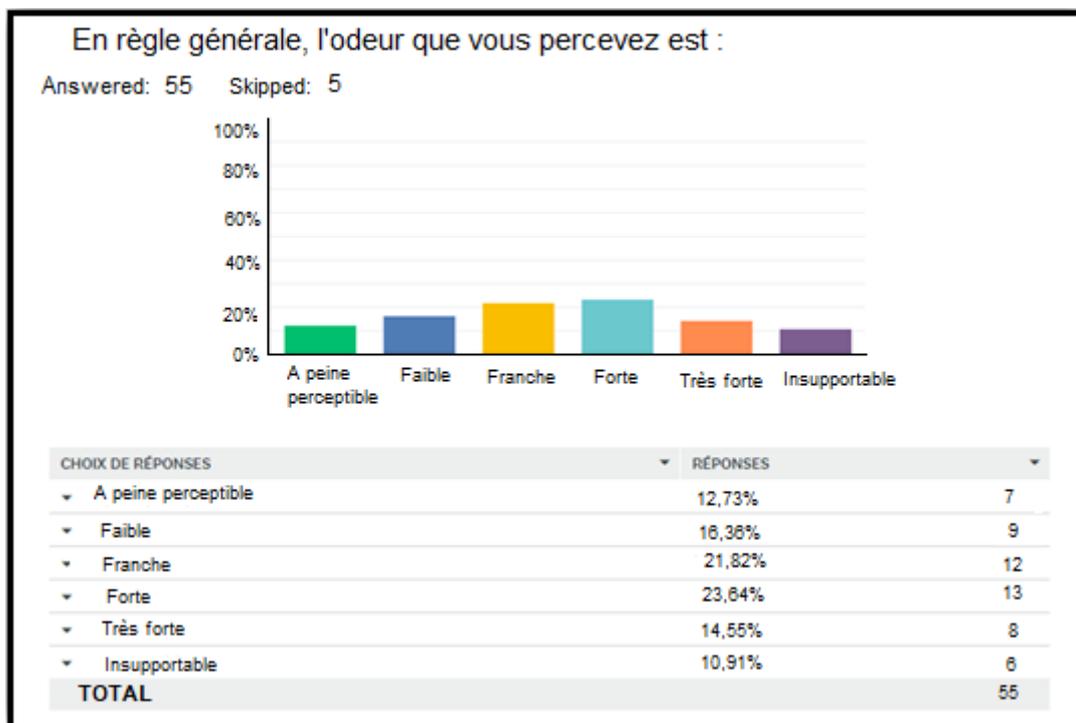
Answered: 53 Skipped: 7

CHOIX DE RÉPONSES	RÉPONSES	
Oui	Réponses 77,36%	41
Non	Réponses 22,64%	12
Elle s'aggrave	Réponses 66,04%	35
Elle s'améliore	Réponses 26,42%	14

Pour 41 jurés (77.36%), leurs quartiers sont pollués depuis qu'ils y résident, et 35 d'entre eux (66.04%) considèrent que **la situation s'est aggravée.**

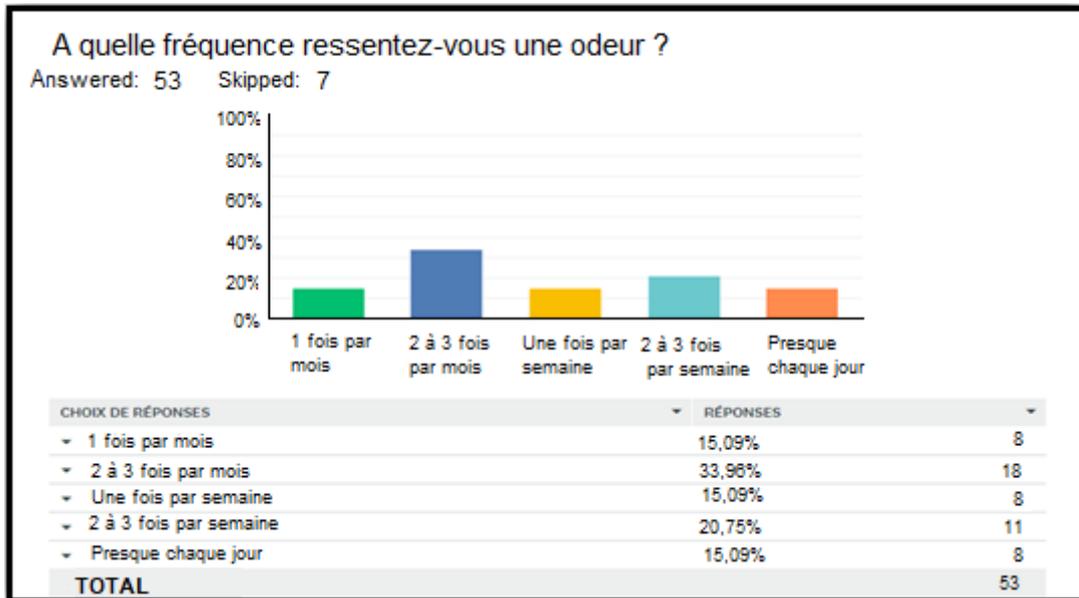
Un juré de nez rapporte ainsi : « [...] dans l'ensemble, l'aggravation des odeurs en 2016 est restée en deçà des années 2012, 2013, 2014. La pollution du quartier les clapiers/jean de bouc s'aggrave d'année en année, de jour en jour même, à la pollution olfactive du biogaz s'ajoutent d'autres pollutions [...] ». Un autre encore : « Je pense que mon action bénévole est inefficace puisque rien ne change mais je continuerai à vous envoyer mes remarques tout de même [...] ».

Q5



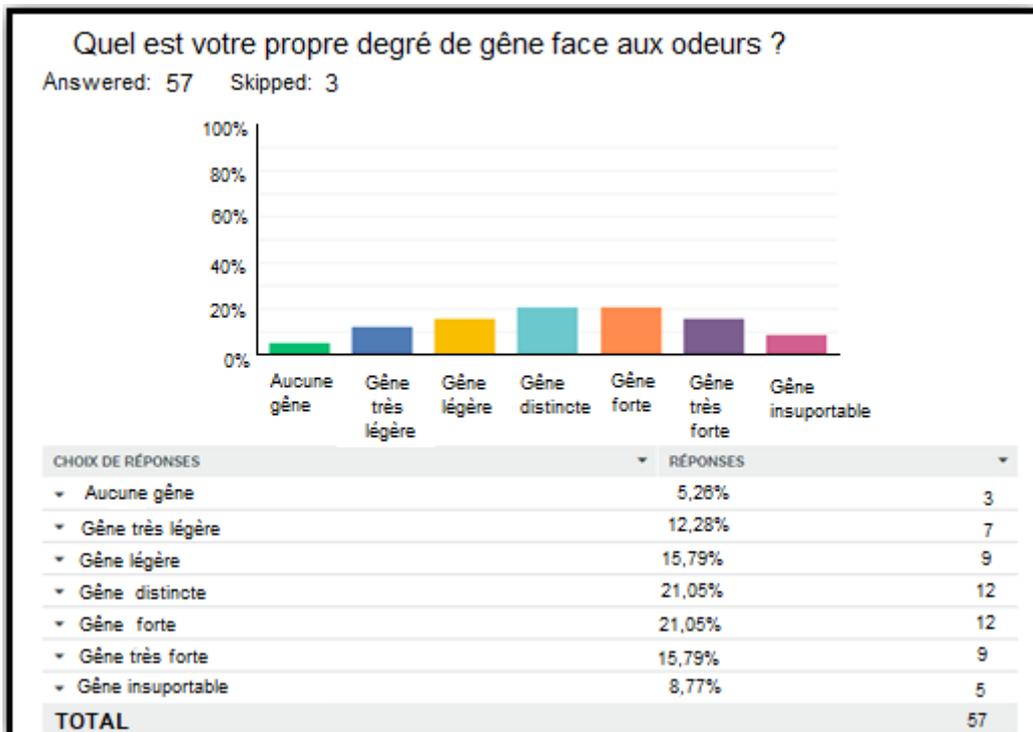
Pour la moitié d'entre eux **les odeurs perçues sont fortes, très fortes, voire insupportables**. Deux jurés ont indiqué que la situation s'aggrave selon la direction des vents : « intensité selon la direction des vents », « selon moment et vent ».

Q6



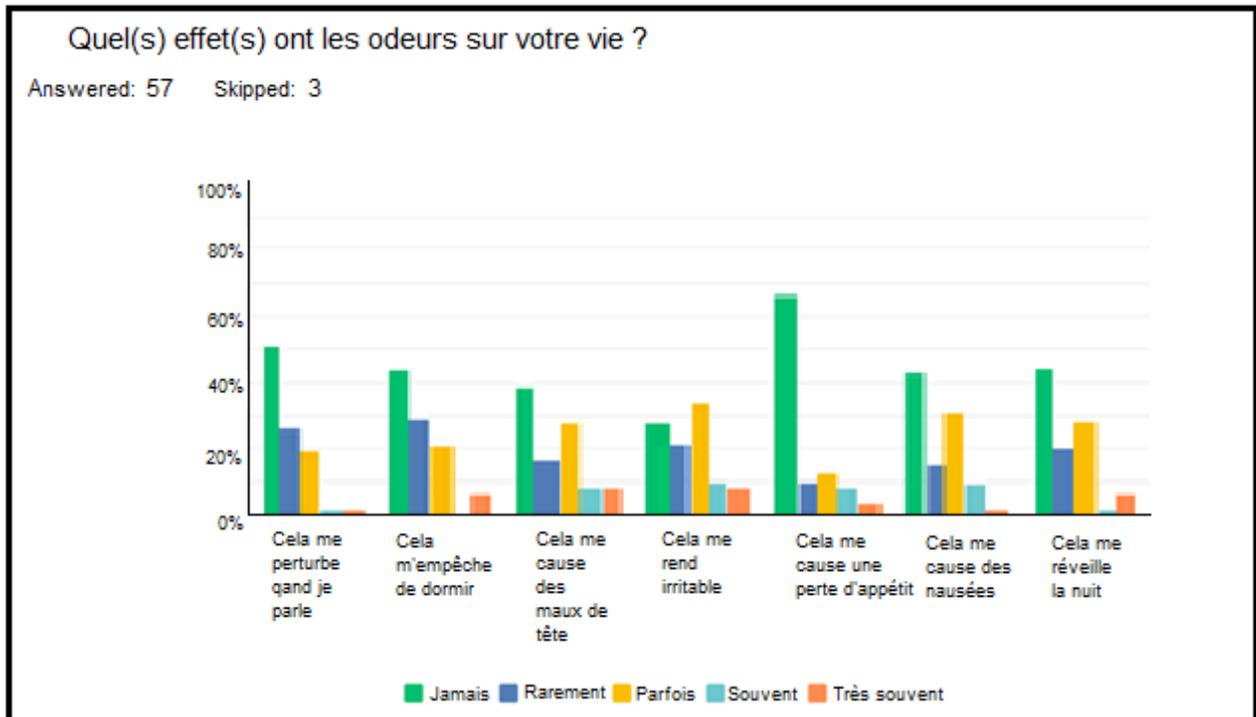
34% indiquent qu'ils sentent les odeurs gênantes 2 à 3 fois par mois. Un juré ajoute : « *selon les périodes de l'année* ».

Q7



La gêne olfactive est pour la moitié d'entre eux de niveau élevé (forte, très forte, insupportable).

Q8



	JAMAIS	RAREMENT	PARFOIS	SOUVENT	TRÈS SOUVENT	TOTAL	MOYENNE PONDÉRÉE
▼ Cela me perturbe quand je parle	51,06% 24	25,53% 12	19,15% 9	2,13% 1	2,13% 1	47	1,79
▼ Cela m'empêche de dormir	43,75% 21	29,17% 14	20,83% 10	0,00% 0	6,25% 3	48	1,96
▼ Cela me cause des maux de tête	39,22% 20	17,65% 9	27,45% 14	7,84% 4	7,84% 4	51	2,27
▼ Cela me rend irritable	27,45% 14	21,57% 11	33,33% 17	9,80% 5	7,84% 4	51	2,49
▼ Cela me cause une perte d'appétit	66,00% 33	10,00% 5	12,00% 6	8,00% 4	4,00% 2	50	1,74
▼ Cela me cause des nausées	42,31% 22	15,38% 8	30,77% 16	9,62% 5	1,92% 1	52	2,13
▼ Cela me réveille la nuit	44,00% 22	20,00% 10	28,00% 14	2,00% 1	6,00% 3	50	2,06

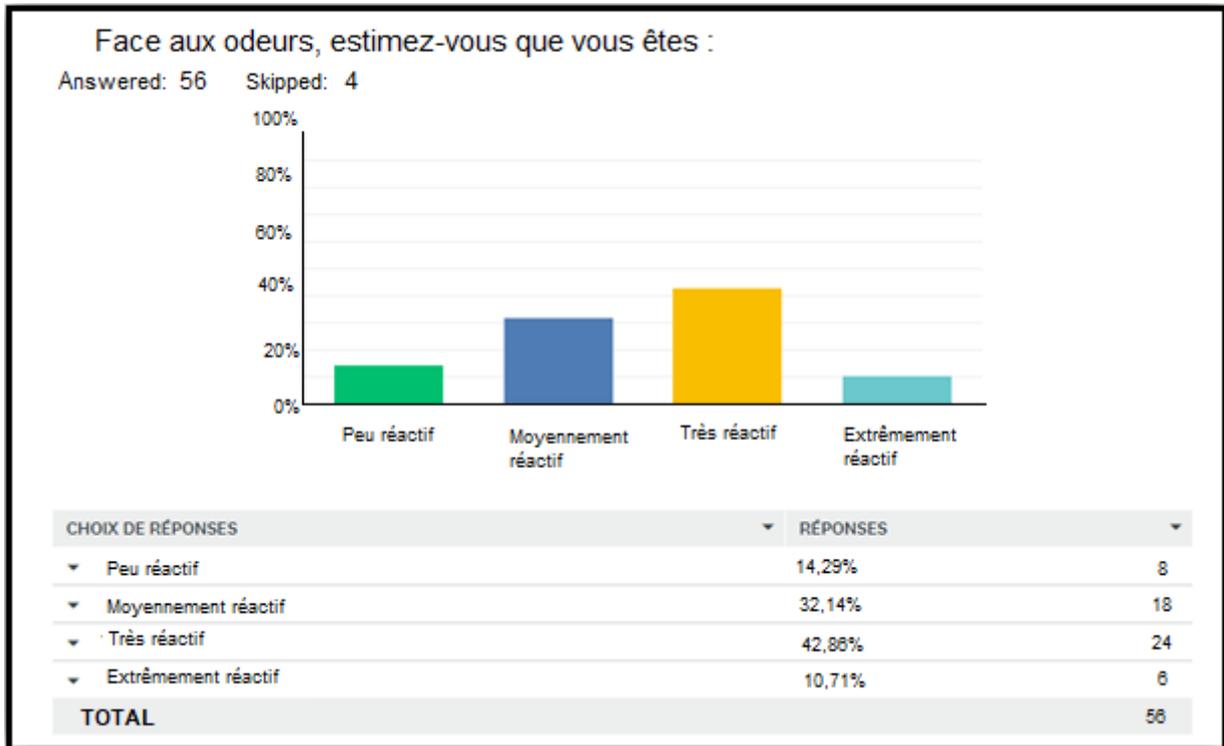
Nous avons essayé de détailler les effets des odeurs sur la communication, le sommeil, les maux de tête, l'irritation, la perte de l'appétit, les nausées et les réveils nocturnes. II

est intéressant de voir que les jurés sont peu nombreux à rendre compte d'un effet des nuisances olfactives sur eux. Comme si quelque part leur situation de juré les plaçait au-delà de ces considérations, leurs remontées étant plus destinées au bien public. Un juré a écrit : *« il arrive souvent que les raffineries de Lavéra se font sentir jusqu'à la côte bleue particulièrement en été, ce qui est très désagréable et souvent suivi de fort maux de tête pour les gens ».*

Pourtant, quand on regarde d'un peu plus près dans leurs commentaires, ils écrivent : *« cela me réveille la nuit » « cela m'empêche de dormir », « je suis très gênée par l'odeur de gaz/d'œuf pourri surtout l'été quand je dors fenêtres ouvertes / réveillée dans la nuit obligée de tout fermer malgré la chaleur impossible d'aérer la maison aux heures fraîches », « l'été dans le jardin au moment des repas (déchetterie) le matin (raffinerie + déchetterie) dégazage des raffineries le matin de plus en plus souvent en ouvrant les volets avant 8h c'est insupportable ».*

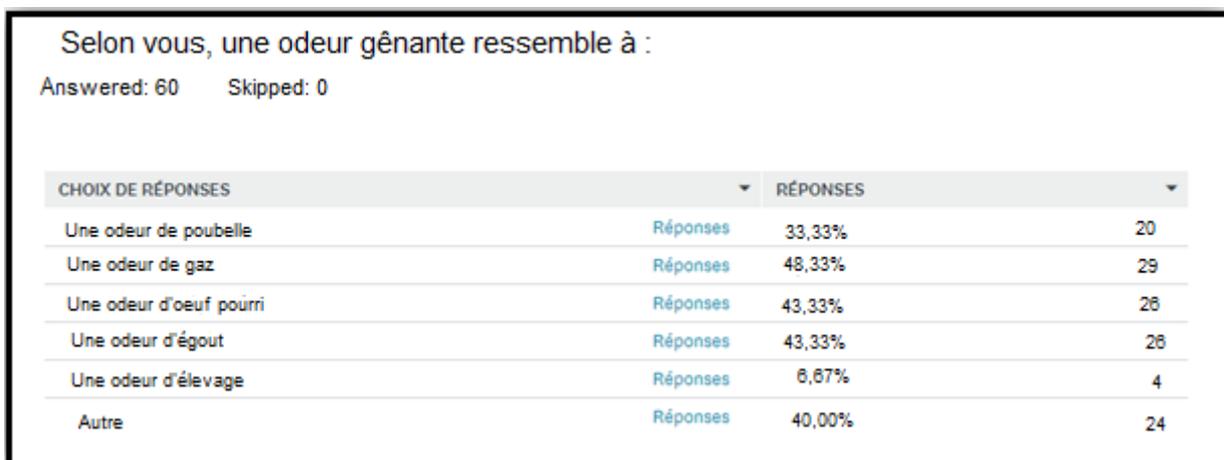
Un juré se demande même s'il y a une relation entre la malformation de sa petite fille et l'exposition de sa fille aux pesticides dans son enfance : *« Je suis scandalisée par le non-respect de la réglementation sur le brûlage des déchets verts. Ma petite fille a eu une malformation à la naissance. Est-ce parce que ma fille a été exposée aux pesticides dans son enfance ? ».*

Q9



D'ailleurs 24 d'entre eux (42.86%) indiquent qu'ils sont très réactifs, et si nous rajoutons la rubrique « extrêmement réactif » le nombre passe à 30 jurés (53.57%). **Les odeurs qui les incommode le plus sont des odeurs de nature industrielle (gaz, œuf pourri), mais aussi de nature biologique (poubelle, égout).**

Q10



Q11

Existe-t-il des moments et/ou des situations où vous êtes particulièrement gêné par une odeur ?

Answered: 58 Skipped: 2

CHOIX DE RÉPONSES		RÉPONSES	
Non	Réponses	22,41%	13
Oui	Réponses	77,59%	45
si oui, précisez svp, ces moments et/ou ces situations	Réponses	77,59%	45

Comme les plaignants, les jurés sont gênés pendant des situations particulières. Nous avons utilisé *Voyant Tools* afin d'en savoir plus : nuit (7); matin (6); vent (6); circulation (5); jardin (5); soir (5); brûlage (3); gaz (3); jardinage (2); journée (2); jours (2); l'été (2); l'hiver (2); printemps (2); avril (1).

Un juré écrit : « *en été en étant dans le jardin, on ne peut plus inviter des amis de peur que les odeurs soient trop gênantes* ».

Q12

Exist-t-il des heures durant lesquelles vous sentez plus particulièrement une odeur gênante ?

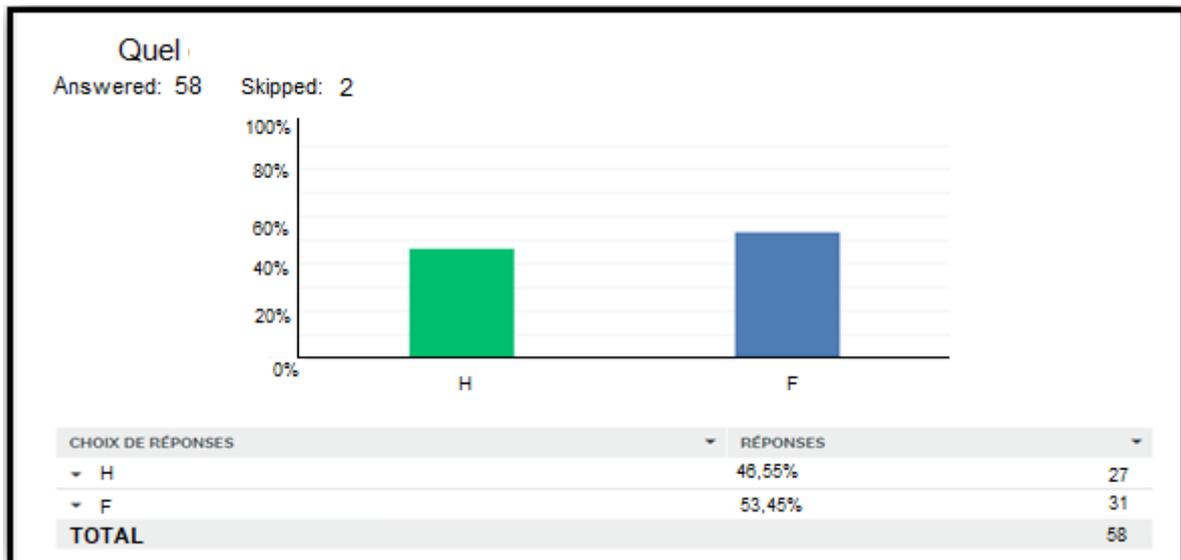
Answered: 59 Skipped: 1

CHOIX DE RÉPONSES		RÉPONSES	
Non	Réponses	42,37%	25
Oui	Réponses	57,36%	34
Si oui, précisez svp, ces heures :	Réponses	59,32%	35

Après le traitement des réponses des jurés avec *Voyant Tools*, nous constatons que les heures les plus gênantes auxquelles les odeurs sont ressenties sont : 8h (13) ; 7h (8) ; 18h (4) ; 19h (5) ; 20h (3) ; 22h (3) ; 23h (3) avec les mots qui indiquent un moment de la journée : matin (22) ; nuit (14) ; soir (11) ; soirée (2).

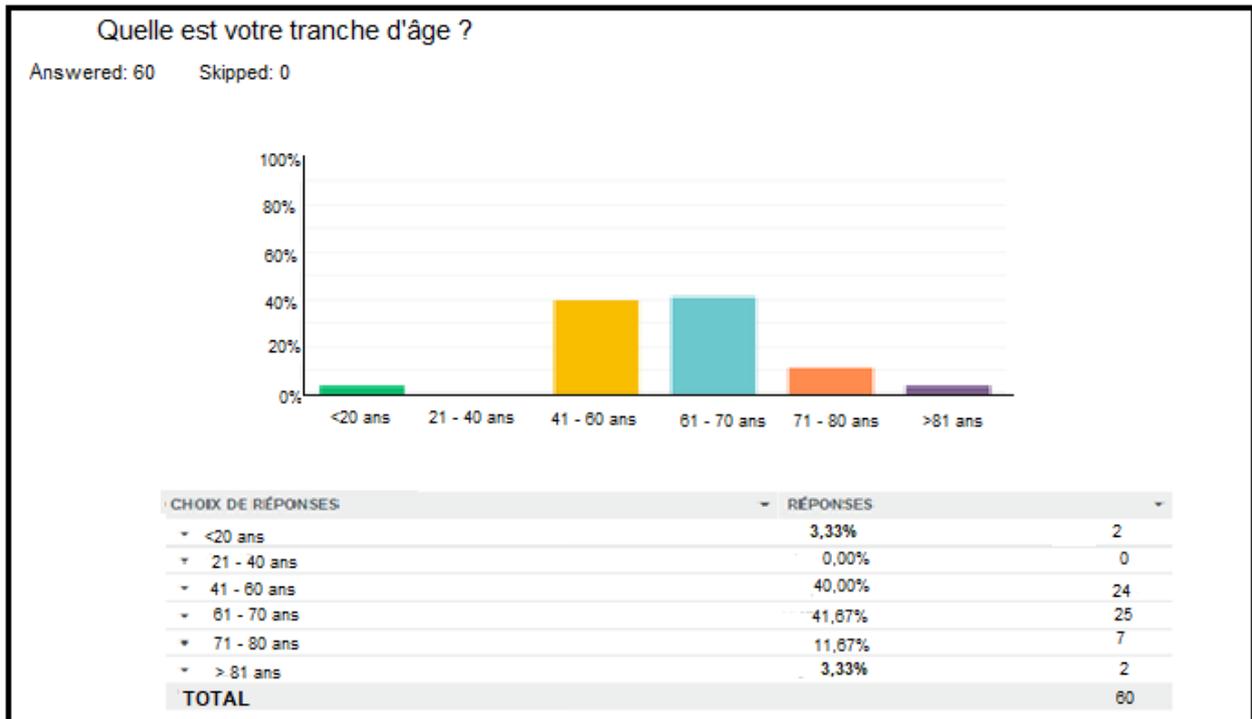
Ces heures sont identiques à ce que nous avons vu dans le traitement des plaintes et correspondent au **début de l'activité dans les établissements**, et aux heures durant lesquelles des **inversions thermiques** peuvent avoir lieu.

Q13



A la question 13 relative au genre, nous constatons là encore que les femmes sont plus nombreuses que les hommes parmi les jurés de nez, elles représentent 53.45%, contre 46.55% des plaignants. À noter que les jurés de nez se situent majoritairement dans la tranche d'âge des 40-70 ans.

Q14



Enfin, nous avons analysé le texte libre de leurs réponses par *Voyant tools*. Voici ci-après les mots qui reviennent chez eux le plus fréquemment.

L'adverbe « matin » est le plus utilisé (21 fois), deux fois plus que l'adverbe soir (11), l'heure exacte également : 8h (10 fois), 7h (8 fois). Les jurés enregistrent plus de gênes olfactives dans la matinée ce qui correspond au **début de l'activité dans les établissements**, et aux heures durant lesquelles des **inversions thermiques** peuvent avoir lieu. Nous obtenons les mêmes résultats que dans l'analyse des plaintes.

Dans l'analyse des plaintes, nous avons vu que le mot « odeur » est généralement utilisé pour désigner une odeur bien précise, et nous avons constaté qu'il est utilisé plus que le mot « odeurs » : 14 563 fois contre 3 014 fois. Pour les jurés de nez, nous observons le contraire 19 fois pour le mot « odeurs » contre 6 fois pour le mot « odeur ». L'explication est que les plaintes concernent généralement un épisode de gêne bien déterminé, tandis que le questionnaire est rempli indépendamment. En outre, les jurés effectuent 4 observations par jour, il se peut qu'ils ne reniflent pas la même odeur, ou bien qu'ils soient familiers avec elles et qu'ils parviennent à en identifier plusieurs⁵⁷ (Cf. Annexe n°3 : Fiche d'observations olfactives).

Enfin, les odeurs les plus citées par les jurés de nez dans leurs commentaires sont les odeurs d'origine biologique (51), de gaz (29), des odeurs d'œuf (26), d'hydrocarbures (11), suivies d'odeurs qualifiées de chimiques (6), d'odeurs de brûlé (4), et enfin des odeurs d'ammoniac (2).

*Nous observons plusieurs **concordances entre les plaignants et le jury de nez**, dans les deux cas la nuisance olfactive est le plus souvent observée dans la matinée (début de l'activité dans les établissements, et aux heures durant lesquelles des inversions thermiques peuvent avoir lieu), les niveaux de gêne sont élevés, et les odeurs de type biologique et de nature industrielle sont incriminées. Cela constitue un **premier***

⁵⁷ Il serait particulièrement intéressant d'utiliser la plateforme technologique en sciences cognitives CoCoLab de la MSHS Sud-Est de Nice afin de mesurer les aptitudes olfactives des jurys de nez avant leur travail en tant que bénévole pour AtmoSud et au bout de quelques temps, afin de voir s'ils s'habituent à certaines odeurs, et s'ils peuvent en discriminer plus du fait de leur « entraînement »

niveau d'objectivisation des plaintes, puisque lorsque nous les confrontons aux résultats issus d'un jury de nez les résultats sont assez identiques.

*Les données issues du SRO sont véritablement une mine d'or, en termes d'informations pertinentes pour notre travail de recherche. Nous disposons d'une base de données contenant **12 variables multipliées par 16 477 plaintes, soit 197 724 cellules que nous allons intégrer dans une modélisation bayésienne à base donc d'intelligence artificielle** afin de mieux comprendre les facteurs qui semblent jouer sur la spatialisation des odeurs et leur perception par la population, et voir si nous pouvons passer au **second niveau d'objectivisation** de ces plaintes.*

3. Apports de l'intelligence artificielle et de la géomatique

3.1 L'intelligence artificielle

Les réseaux bayésiens permettent d'établir des relations de dépendances ou d'indépendances entre différentes variables aussi bien quantitatives que qualitatives, d'analyser leurs **interrelations**, leurs combinaisons, mais surtout de **quantifier** ces relations à l'aide de paramètres ou de probabilités. **Le contexte est celui d'un formalisme mathématique de représentation des connaissances incertaines (probabilistes) particulièrement bien adaptées aux questions environnementales**, car les relations entre les variables ne sont pas toujours de type déterministe, mais plutôt de type indirect.

« Les réseaux bayésiens, initiés par Judea Pearl dans les années 1980 se sont révélés des outils très pratiques pour la représentation de connaissances incertaines et le raisonnement à partir d'informations incomplètes, dans de nombreux domaines comme la bio-informatique, la gestion du risque, la sécurité informatique, le transport etc.. » (Leray, 2008). Ils ont acquis leurs lettres de noblesse dans le domaine du diagnostic médical, informatique et industriel et leurs champs d'application ne cessent de s'étendre : risques opérationnels, gestion de projet, marketing, optimisation de processus.

L'outil de type « réseau bayésien » a l'avantage de pouvoir rassembler et de fusionner des connaissances à partir de données de diverses natures quantitatives/qualitatives de types expert, de les faire cohabiter dans un même modèle, mais également d'introduire le retour d'expériences (données historiques ou empiriques).

En effet, un réseau bayésien peut être construit à partir de données, c'est notre cas ici, soit par apprentissage (apprentissage incrémental, inférence), soit à partir d'une modélisation explicite du domaine de type expert, soit il permet de coupler les connaissances des experts et les données disponibles. Les données peuvent être exprimées sous forme de règles logiques, de type équations statistiques ou bien encore de probabilités subjectives, voire d'observations.

De plus, une des principales difficultés à laquelle nous pouvons nous heurter est l'hétérogénéité des mesures, des données. Or, grâce à la fusion de données, le réseau bayésien a la capacité de prendre en compte des données incomplètes ou incertaines et de vérifier ensuite ces informations. En effet, connaissant les valeurs d'une variable mais méconnaissant les valeurs d'autres, il est possible grâce au calcul des probabilités de retrouver les données manquantes ou lacunaires (principe de l'inférence). En outre, par le biais de procédures de type *Data mining* les meilleures variables à sélectionner sont proposées, de même que des informations *a priori* inconnues et à valeur prédictives peuvent être « automatiquement » extraites de la base de données. En effet, les réseaux bayésiens permettent à la fois de modéliser des connaissances et de **produire des connaissances (fonction hautement heuristique) à travers la mise en évidence de relations causales jusqu'à présent cachées ou de variables latentes, et ce, dans le cadre d'une analyse non supervisée (*Causal knowledge discovery*)**.

Les réseaux bayésiens apportent donc de la **valeur ajoutée** en termes de connaissances, ils représentent un formidable outil pour la modélisation quantitative de systèmes complexes en domaine incertain de type sanitaire ou autres. Il s'agit d'une modélisation évolutive, car le réseau bayésien s'adapte aux changements en apprenant au fur et à mesure les nouvelles informations, et robuste, fondée sur les théories des graphes et des probabilités.

À titre de bref rappel, et afin de pouvoir lire les résultats des traitements, voici les variables qui vont être intégrées dans la modélisation bayésienne.

Sur la base des effets produits par les odorants et décrits dans le *corpus* par le plaignant la catégorie « **Irritation** » se décline en 4 niveaux : de « 1 = pas irrité » à « 4 = très irrité », idem pour la **gêne** occasionnée. L'**origine** de l'émission est celle supposée par le plaignant, parmi une série de catégories possibles du SRO :

origine	
Agriculture	1
Agro-Alimentaire	2
Circulation	3
Déchet Ménager	4
Egout	5
Industrie	6
Station Epuration	7
Autres	8

Tableau 32. L'origine des odorants

Souvent, le plaignant identifie correctement le lieu qui génère les nuisances auxquelles il est soumis (habitude). Cependant, parfois il n'est pas assez précis, ou bien il se trompe de catégories, par exemple les centres de compostage et les raffineries sont mis ensemble dans la catégorie « industrie ». **C'est la raison pour laquelle chaque origine a été vérifiée par nos soins selon ce que le plaignant écrivait dans le *corpus*, notre connaissance du terrain (établissements proches), et le sens du vent au moment de la plainte.** Cela correspond à la variable **source**, qui n'est pas une variable du SRO, mais une **variable ajoutée par nous. Nous avons retrouvé 140 sources possibles (Cf. Annexe 1) que nous avons regroupées en 8 catégories (tableau 33)⁵⁸.** Dans le cas où le plaignant a bien identifié l'origine, la source (**variable catégories**) équivaut à l'origine, sinon nous l'avons rectifiée. Ainsi, la variable **source** correspond à la **source la plus probable d'émission de**

⁵⁸ Ces 8 catégories diffèrent un peu de la variable « **comparée** » du SRO dans laquelle le plaignant indique à quoi lui fait penser l'odeur : gaz, œuf pourri, soufre, essence, hydrocarbure, brûlé, chimique, chlore, égout, fumier, autres

nuisances olfactives au moment de la plainte. Il sera intéressant de voir d'ailleurs le pourcentage de distorsion entre les deux (variables catégories et origine).

Catégorie des odeurs	Code
Biologique	1
Brûlé	2
Cellulose	3
Chimique	4
Cl, NH3	5
Gaz	6
Hydrocarbures	7
Soufre	8

Tableau 33. Les catégories d'odorants

Le plaignant peut également indiquer la durée de l'épisode olfactif (de la catégorie 1 pour « quelques heures » à la catégorie 4 pour « plusieurs jours ») :

durée	
Moins de 1h	1
Qlq heures	2
1 à 2 jours	3
plusieurs jours	4

Tableau 34. La durée de la gêne

Deux autres variables sont prises en compte : `alerte_flag` et `alerte_icpe_flag`. **Alerte_flag** nous permet de savoir si la plainte a fait l'objet d'une saisie (catégorie 1), et si elle a été traitée (catégorie 2), tandis que la variable **alerte_icpe_flag** nous indique en catégorie 1 **que les plaintes ont dépassé le nombre de 3 dans un rayon de 2 km, et que dans ce cas un rapport a été transmis à la DREAL⁵⁹, ou pas** (catégorie 0).

À ces variables nous avons ajouté **la vitesse du vent (vv) au moment de la plainte** qui peut, si elle est suffisante disperser les molécules odorantes dans l'atmosphère, ou bien au contraire les faire stagner, et enfin **la distance (d)** qui sépare le lieu de la plainte de la (source) la plus probable de l'émission ⁶⁰. Sans oublier le **genre** décliné en masculin (1) et féminin (2).

⁵⁹ Direction Régionale de l'Environnement, l'Aménagement et le Logement

⁶⁰ Variable (source) validée par nos soins

si c'est la variable A qui influe sur la variable B, ou bien si c'est l'inverse. C'est à l'expert de le lui indiquer. Ainsi, le sens de la relation ne va pas depuis le nœud « alerte_flag » vers le nœud « gêne », mais c'est plutôt la gêne ressentie par les riverains qui induit une alerte_flag. Il en est de même pour les relations entre « gêne » et « irritation », « vv » (vitesse du vent) et « origine ».

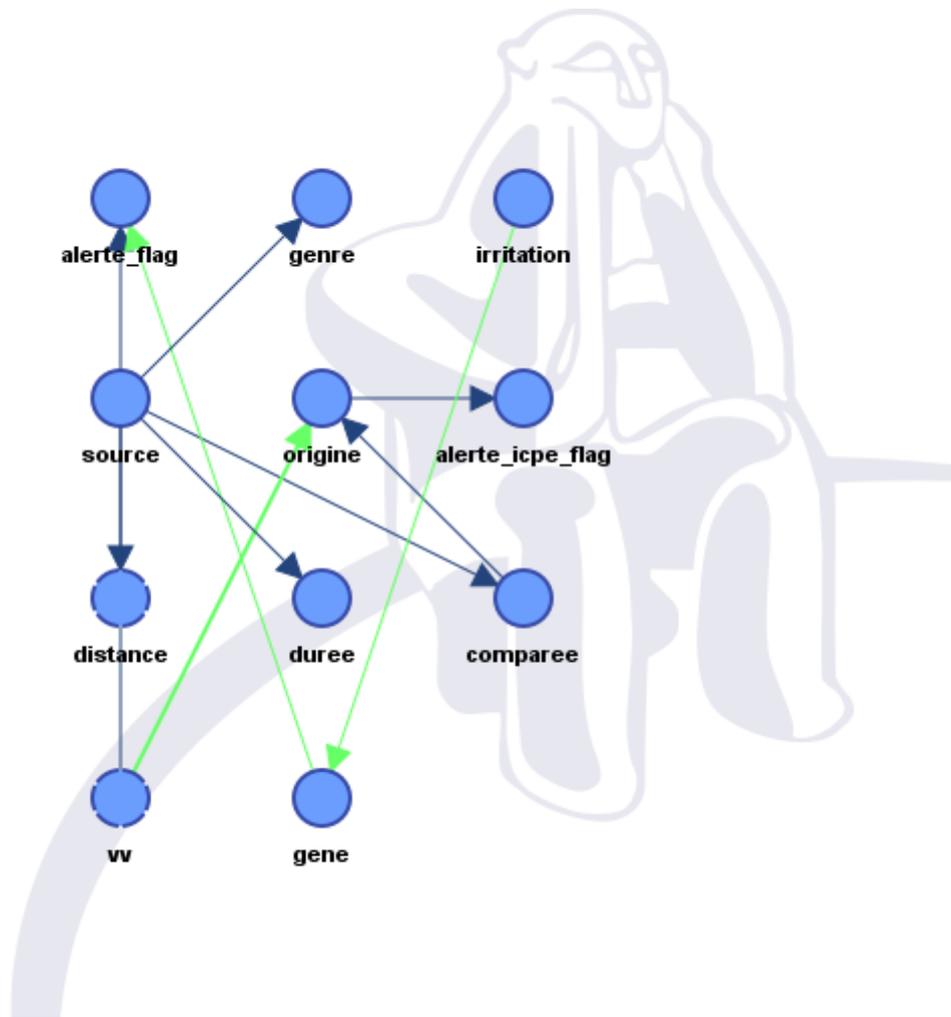


Figure 56. Inversion des arcs

Un affichage symétrique permet une lecture plus aisée des relations entre les variables (figure ci-après).

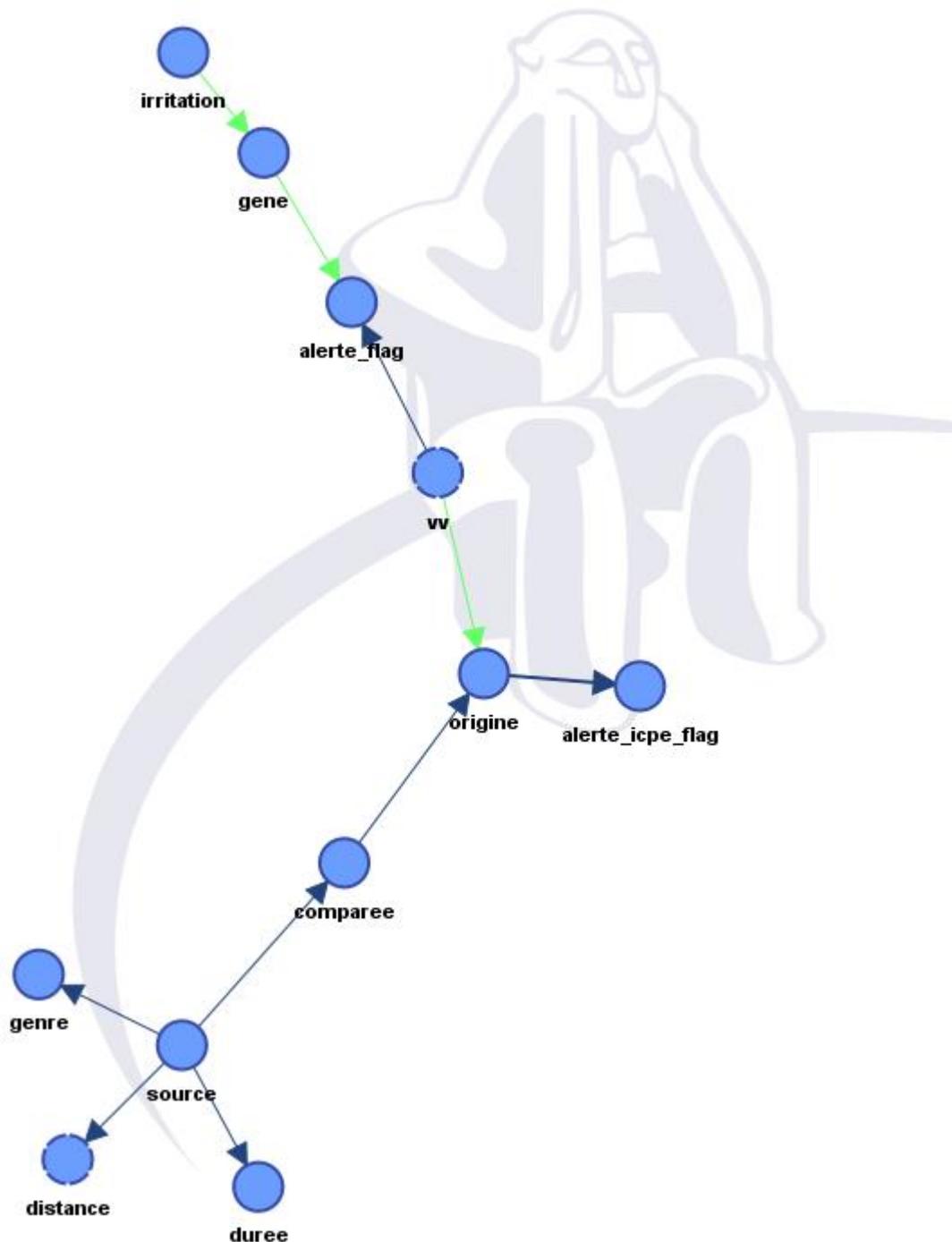


Figure 57. Affichage symétrique pour une meilleure lecture du réseau

Légende : Les flèches indiquent le sens de la relation causale entre les nœuds, par exemple la gêne ressentie par les riverains génère le dépôt de plainte, plus le lien est court entre deux nœuds et plus la relation entre les variables est forte

De même, à ce niveau nous ne savons pas si les corrélations entre les variables sont positives ou négatives. Une **cartographie 3D** sur notre réseau permet de représenter

graphiquement la force des nœuds ⁶², ainsi que l'intensité et le sens des arcs qui les relie (plus l'arc est épais et plus la corrélation est forte, donc la probabilité d'avoir les 2 variables liées est grande ; lorsque l'arc est de couleur rouge la corrélation est négative, bleu : elle est positive) (figure ci-dessous).

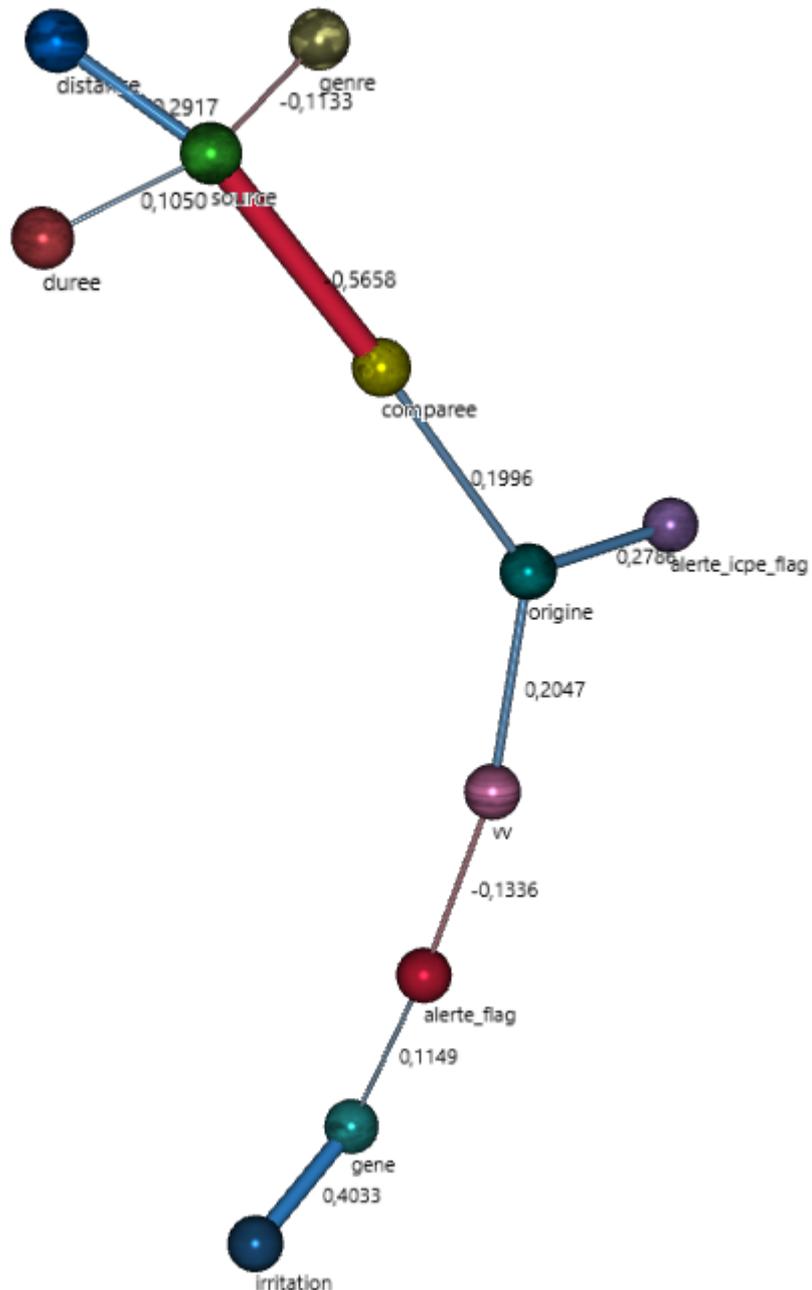


Figure 58. Cartographie 3D du réseau bayésien

⁶² C'est-à-dire leur importance relative par rapport à l'ensemble du réseau

L'analyse des relations entre les nœuds parents (amont) et les nœuds enfants (aval)⁶³ va nous indiquer **le sens et l'intensité des relations** qui les lient sur la base du calcul du coefficient de corrélation de Pearson.

Nous ne sommes pas sur des relations déterministes, les coefficients de corrélation ne sont pas très élevés. Ainsi, la relation la plus forte ($R+ 0,40$) est celle qui lie les nœuds « gêne » et « irritation » pour les corrélations positives. Les plaignants sont gênés parce qu'ils ressentent que leurs voies aérodigestives supérieures sont irritées par un odorant (qui devient à ce moment-là une nuisance olfactive). La corrélation n'est pas plus élevée, car la gêne peut aussi venir de symptômes autres que l'irritation (yeux qui coulent, maux de tête, envie de vomir, etc.).

Puis vient la relation entre la source et la distance ($R+ 0,29$), où plus la distance entre la source et le plaignant est faible et plus ce dernier est en mesure de l'identifier correctement. Il en est de même entre la vitesse du vent « vv » et le nœud « origine » ; plus la vitesse du vent est faible et plus les odeurs stagnent, permettant ainsi aux plaignants d'en retracer leur origine ($R+ 0,20$).

La relation existante entre « l'origine » et « alerte_icpe_flag » ($R+ 0,27$) rend compte du fait que selon l'origine de l'émission odorante il sera plus probable d'atteindre le seuil de plaintes nécessaire pour qu'une remontée *via* la DREAL puisse se faire, certaines odeurs étant plus incommodantes que d'autres.

Les corrélations sont légèrement positives entre la gêne et alerte_flag ($R+ 0,11$), la source et la durée ($R+ 0,10$), et légèrement négatives entre la source et le genre ($R- 0,11$), de même qu'entre les nœuds alerte_flag et vv ($R- 0,13$).

Ainsi, la saisie ou le traitement d'une alerte (alerte_flag) se fait selon la gêne perçue par les riverains, et selon la durée de l'épisode olfactif les plaignants peuvent remonter aux sources émettrices. En revanche, la source est identifiée indépendamment du genre, et le traitement d'une alerte semble se faire indépendamment de la vitesse du vent.

⁶³ Par exemple le nœud « origine » est le parent du nœud enfant « vitesse du vent (vv) »

La corrélation est à 59% négative (-0.59) entre la variable source réelle émettrice de l'odorant retrouvée par nos soins, et la variable « comparée » où les plaignants ont la possibilité d'indiquer à quoi leur fait penser l'odeur qu'ils ont perçue.

Si nous regardons à présent le monitoring initial du réseau bayésien (figure ci-après), nous constatons que la situation la plus fréquente est celle où les épisodes olfactifs durent quelques heures (catégorie 2), par des riverains situés à plus de 2,3 km de la source qui sont très gênés et irrités par les odeurs perçues (catégorie 4), lors de vents faibles < 6 m/s pour des odeurs émanant de l'agriculture (source, catégorie 1) ou de l'industrie (origine, catégorie 6), qui ont d'ailleurs tendance à être mises toutes les deux dans la même catégorie origine (6) par les plaignants, et avec environ 1/3 des plaintes qui sont traitées.

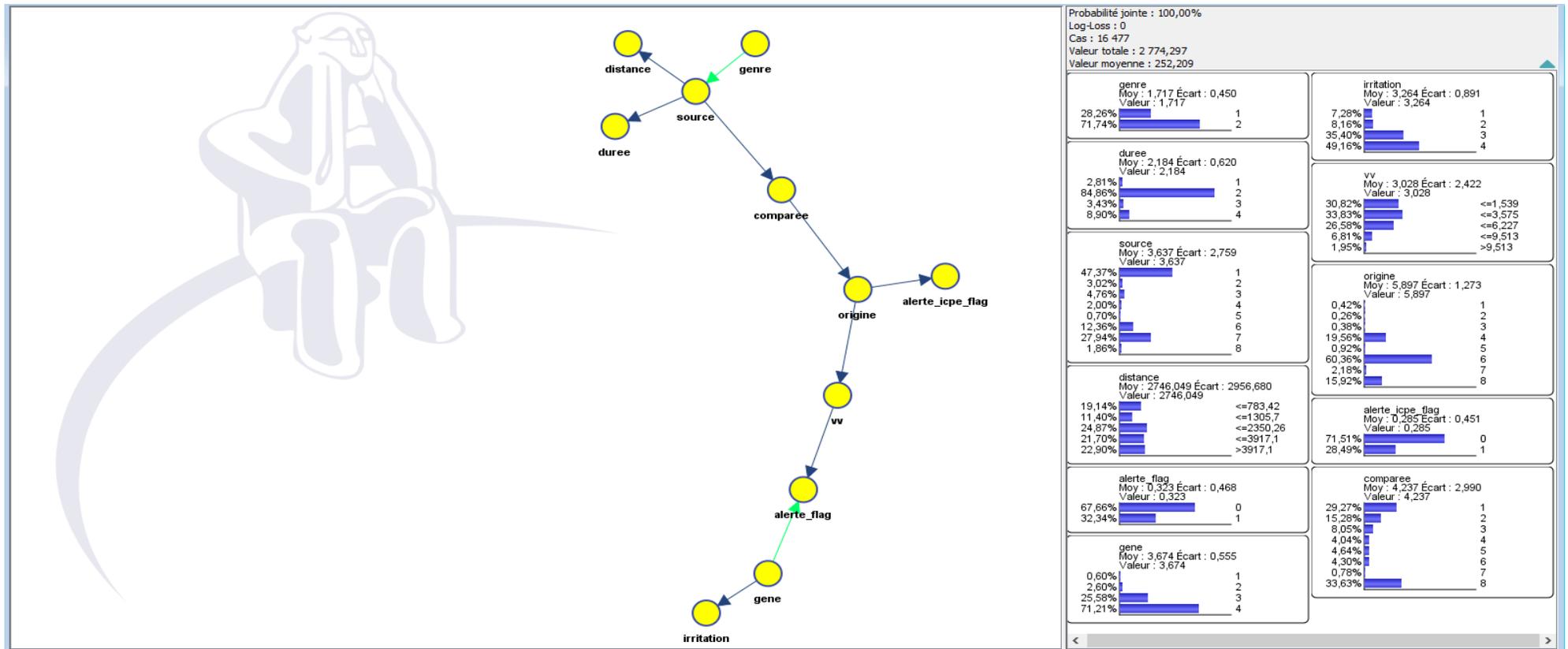


Figure 59. Le monitoring initial du réseau bayésien

Nous allons à présent nous intéresser à des nœuds particuliers qui vont devenir des **nœuds cibles** et sur lesquels un **apprentissage supervisé de type « architecture naïve »** va être appliqué (figure ci-dessous). Cet algorithme utilise une architecture dite naïve en se focalisant sur un nœud, qui devient alors le parent de tous les autres nœuds⁶⁴ (variables) qui vont être clustérisés (partitionnés) conditionnellement à lui.

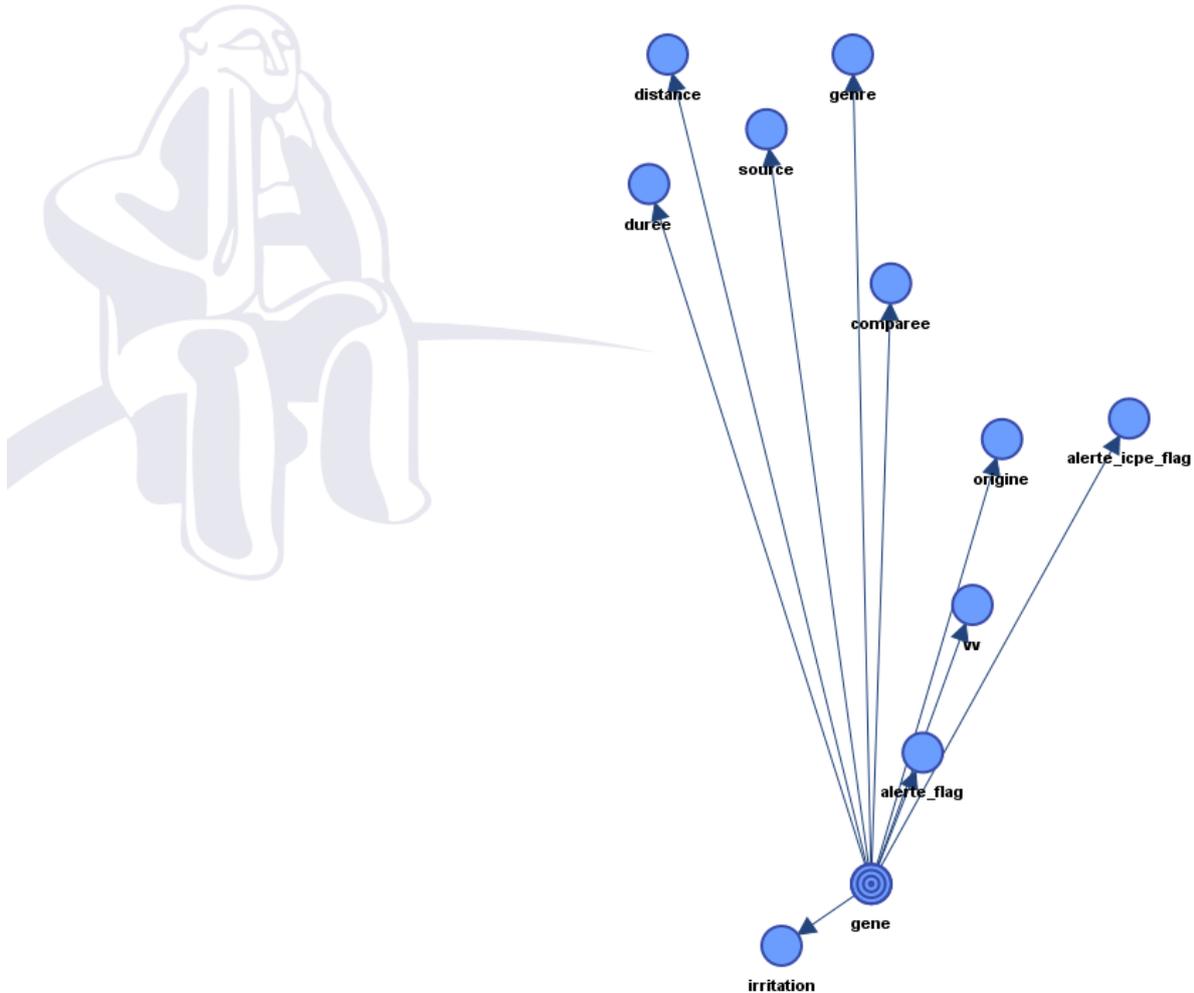


Figure 60. Apprentissage supervisé de type architecture naïve sur le nœud cible « gêne »

Commençons par le nœud gêne. Ce qui est particulièrement intéressant est de **forcer une de ces classes**, par exemple la modalité qui correspond à la gêne la plus forte, qui correspond aussi à la situation la plus fréquente (modalité 4, 71,21 % des cas), qui devient alors verte et d’observer comment les probabilités associées sur d’autres variables sont alors instantanément mises à jour et notamment le niveau d’irritation le plus élevé (modalité 4) qui passe de 49.16% des cas à 62.18 %.

⁶⁴ C’est ce qui en fait le caractère « naïf »

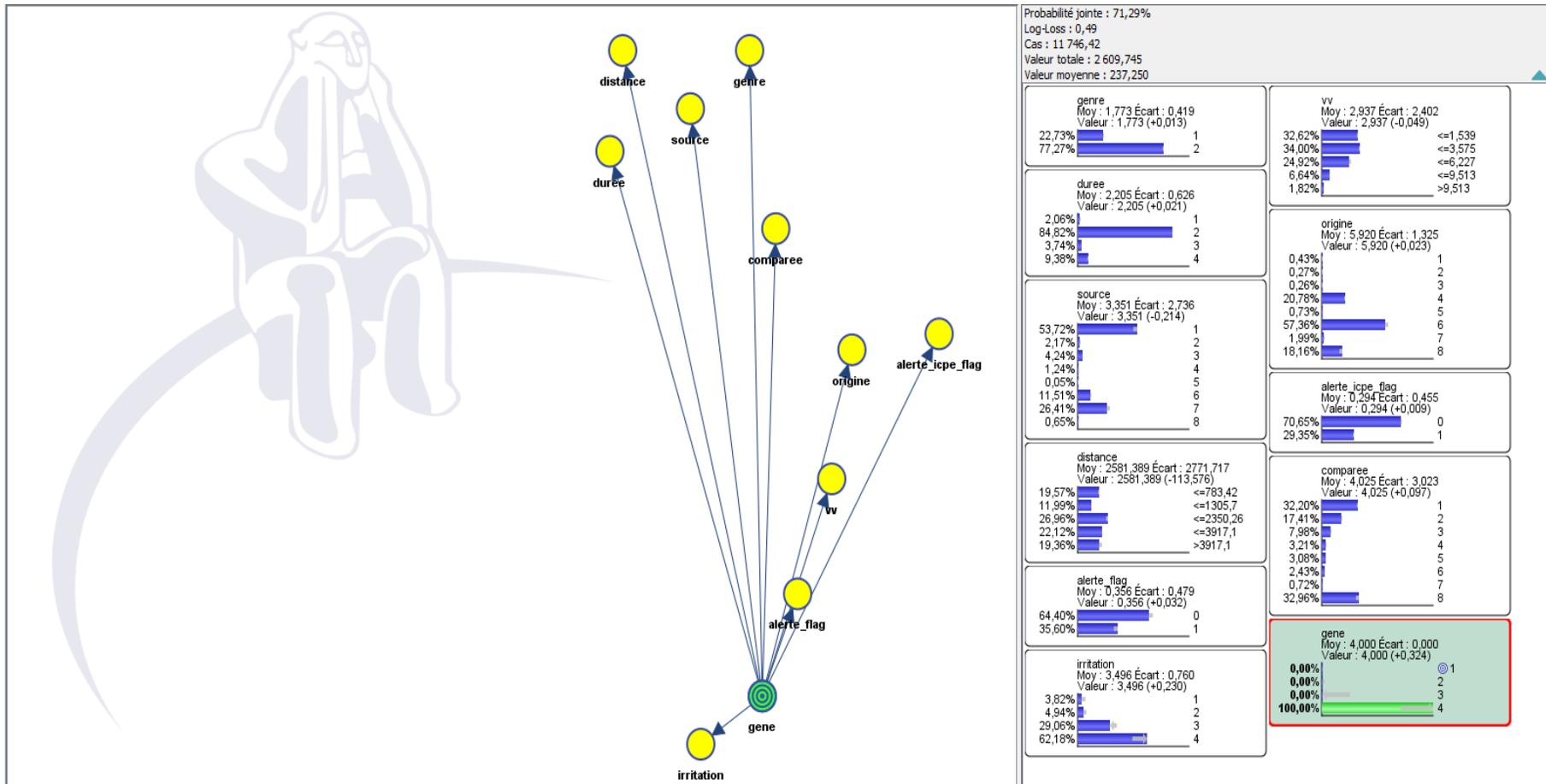


Figure 61. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « gène »

Réitérons la procédure sur le nœud « source » à présent, et plus précisément sur la source qui concentre le plus de plaintes (catégorie 1 : 47,37% des plaintes).

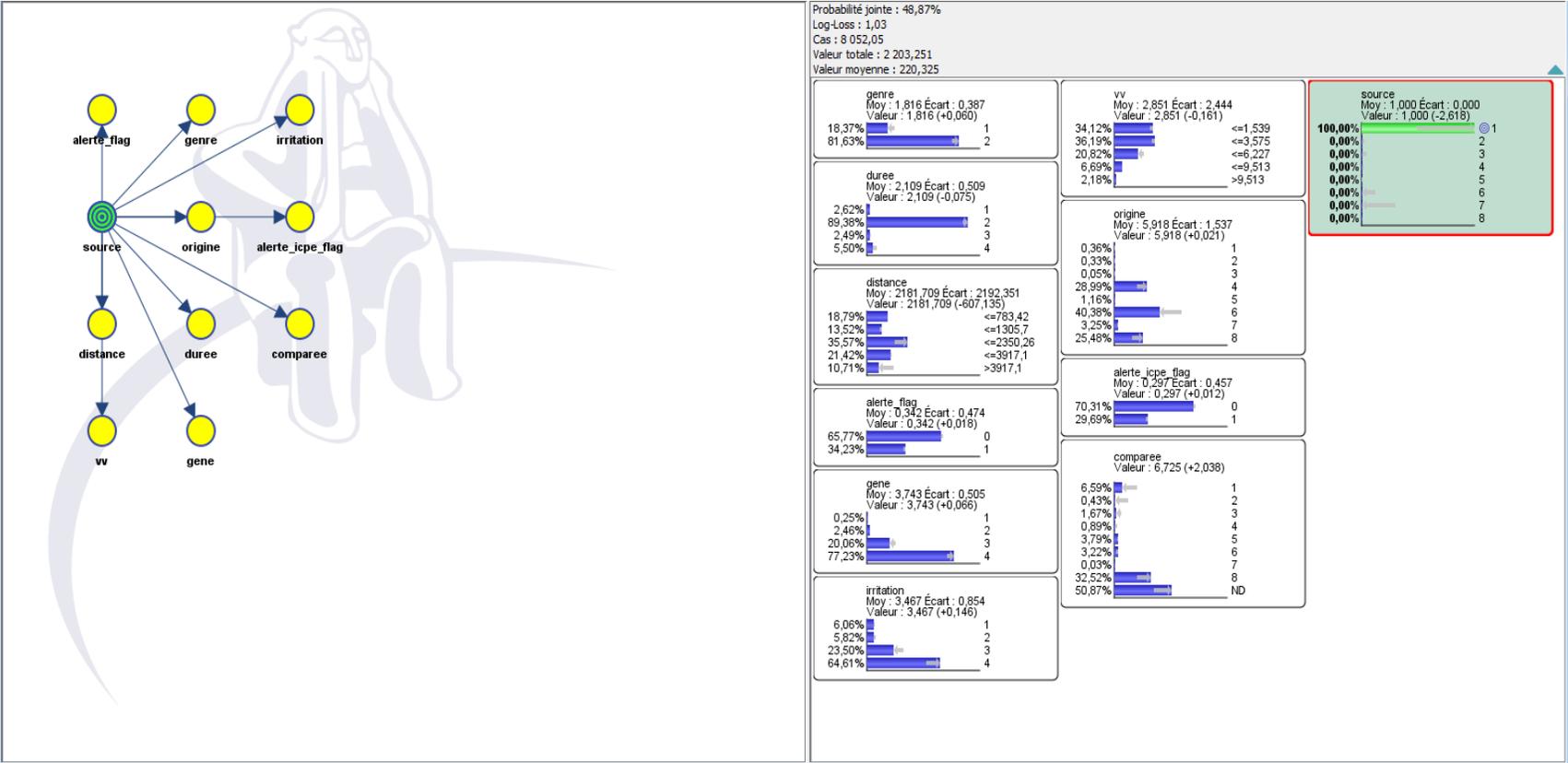


Figure 62. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « source » catégorie 1 (biologique)

Les résultats de ce forçage sont visibles sur la distance qui augmente de 11% (de 24,87 % à 35,57%) pour la tranche des 2 350m, le niveau de gêne le plus élevé qui gagne 6%, idem pour le niveau d'irritation le plus fort (+15%), et le genre féminin qui signale plus ce type d'odeurs (+10%). En ce qui concerne l'identification, les plaignants classent cette odeur dans la catégorie des déchets ménagers ou dans celle « autres » (+9% environ dans les deux cas). Les odeurs de ce type (biologique) sont des odeurs difficiles à supporter par la population.

Regardons ce qui se passe avec la source n° 6 qui correspond cette fois à des odeurs de type industriel. Il s'agit d'odeurs qui sont persistantes (« durée » catégorie 4 - plusieurs jours, +20%), qui concernent des plaintes de proximité (+25% pour la tranche <783 m), et pour lesquelles une saisie a été faite (+24%). Elles sont plus irritantes (+27% pour le niveau 3), et se manifestent par vent très faible (+32% lorsque les vents sont < 1,5 m/s). Néanmoins, le seuil des 3 plaintes dans un rayon de 2 km n'est pas nettement dépassé (alerte_icpe_flag, catégorie 0, +17%). Peut-être doit on y voir un phénomène d'adaptation des riverains à ces odeurs au fil du temps, ou bien un sentiment de découragement ?

Ainsi, Le 29/07/2011 à 7h 15mn, une plaignante habitant au Pontet, écrit :

- « Usine Soprema Sorgues : ça pue depuis des années et rien n'a changé. Remarque : Nous en avons marre de passer notre temps à envoyer des plaintes !!!! et s'il y en a moins, ce n'est pas parce que ça pue moins, mais bien parce qu'on est fatigués de vous envoyer sans cesse des mails et que l'on ne perçoit AUNCUN grand changement !!!! En résumé depuis le dernier mail du 03/05/11, l'usine pue pratiquement tous les jours ».

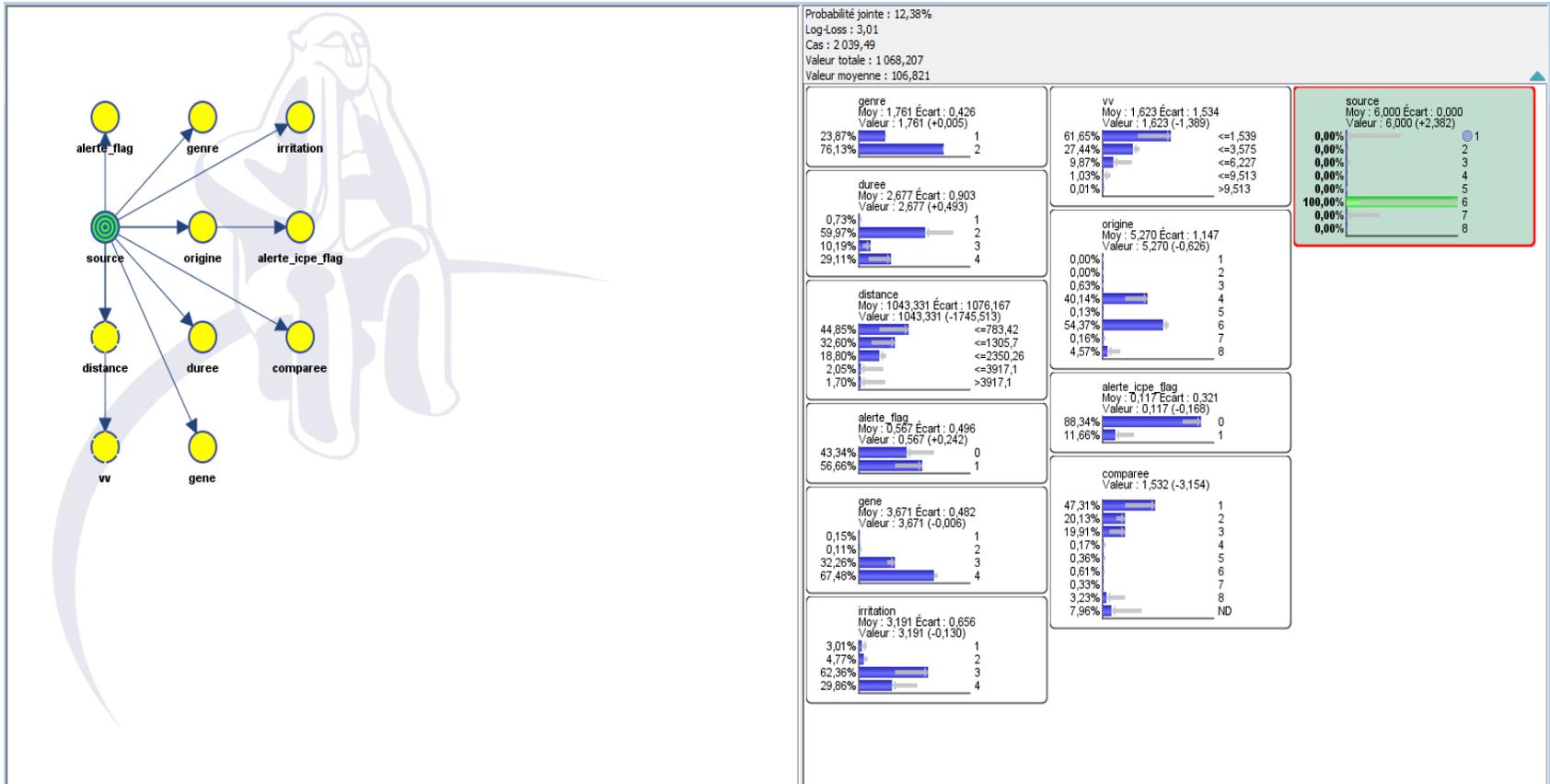


Figure 63. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « source », catégorie 6 (industriel)

Enfin, examinons ce qu'il en est pour le nœud cible vent. Il n'y a pas beaucoup de différence entre les vents les plus faibles, et le monitoring initial. Nous allons donc regarder ce qui se passe quand les vents sont supérieurs à 3 m/s, plus précisément lorsqu'ils sont compris entre 3.575 m/s et 6.227 m/s, ce qui représente 25% des vents.

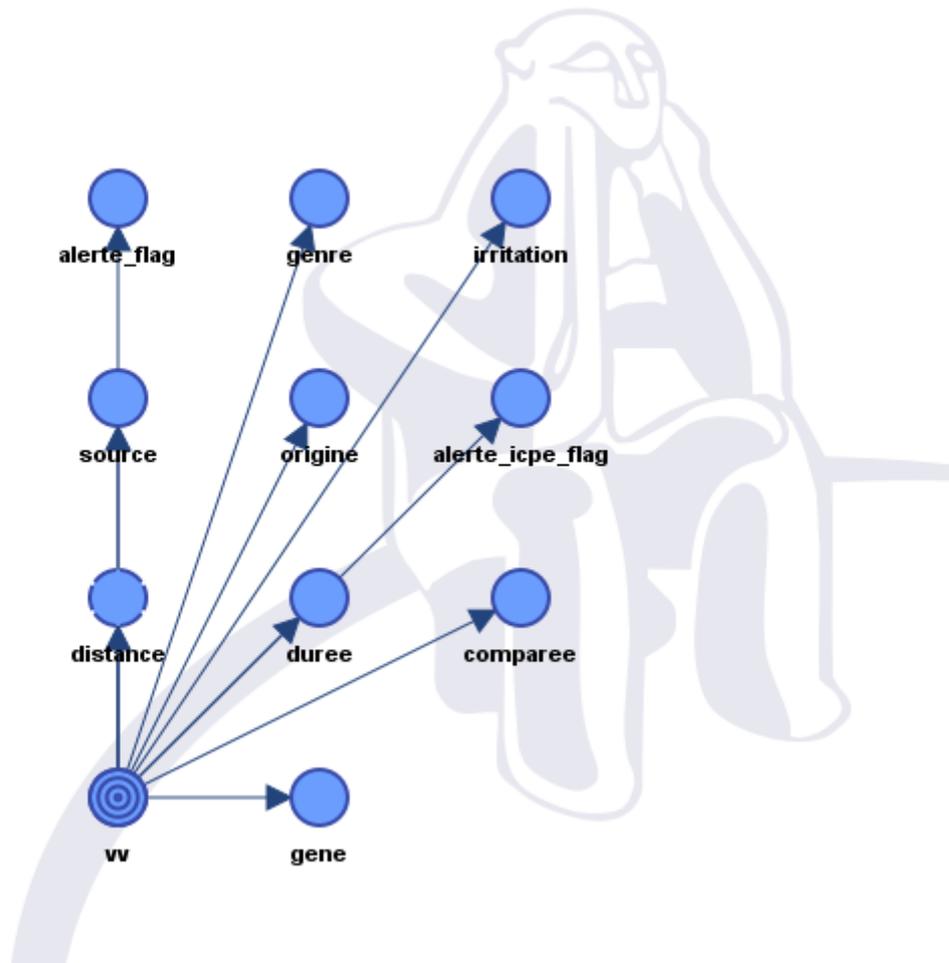


Figure 64. Apprentissage supervisé de type architecture naïve sur le nœud cible « vitesse du vent, vv »

Légende : Le nœud « vv » devient parent de tous les autres nœuds afin de voir comment les autres variables se comportent par rapport à lui

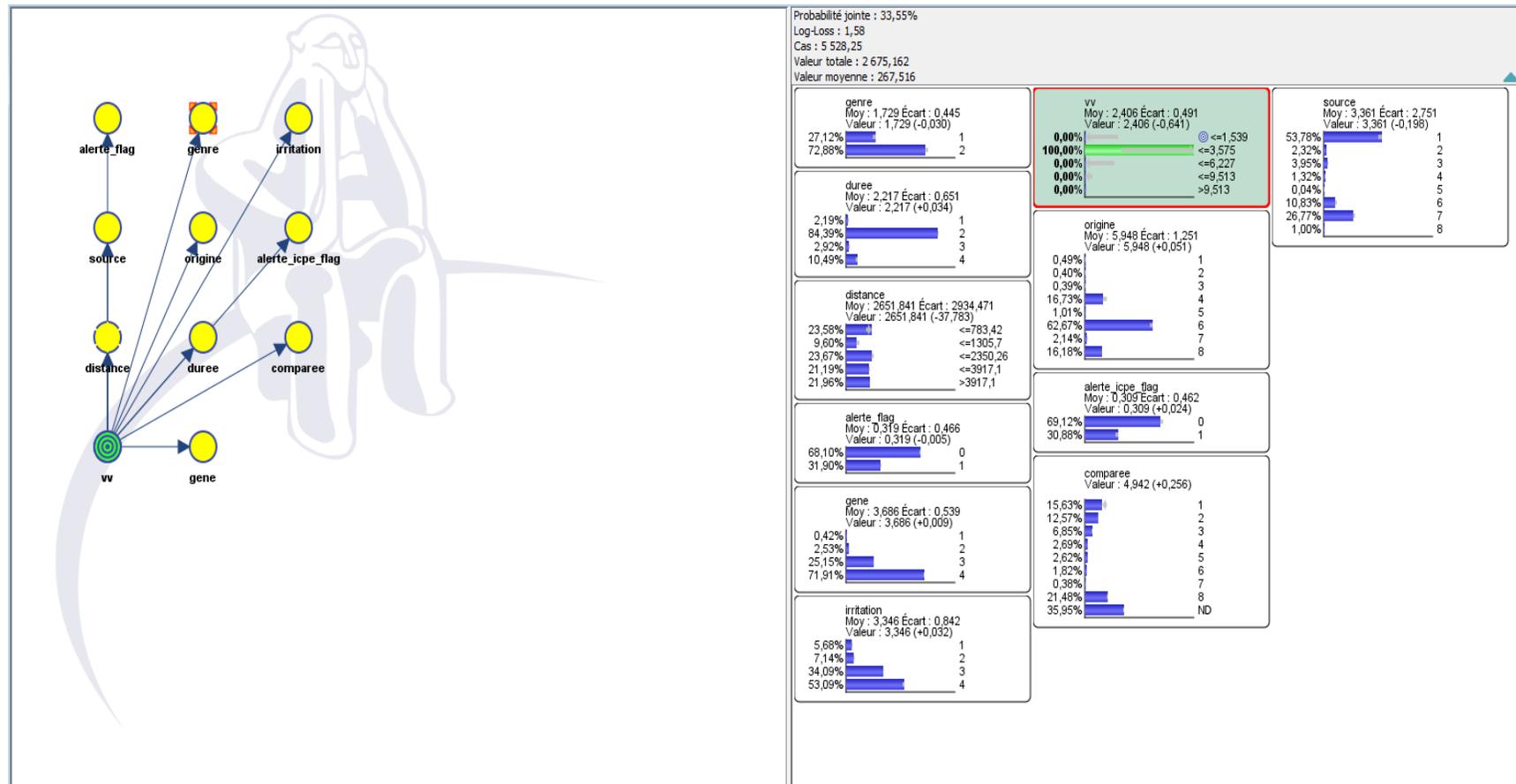


Figure 65. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « vitesse du vent, vv » et pour des vents faibles (<3,575m/s)

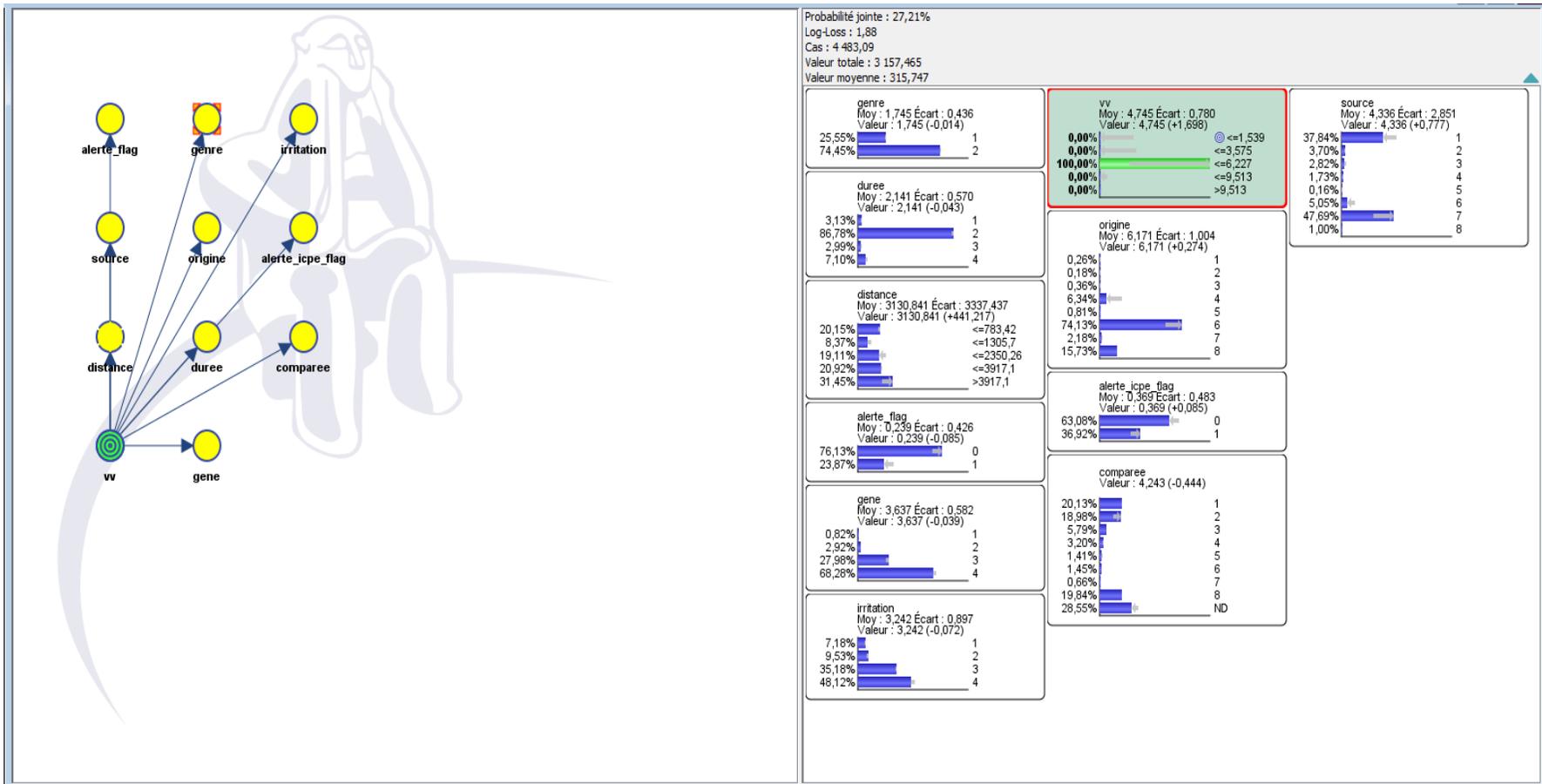


Figure 66. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « vitesse du vent, vv » pour des vents modérés (6,227 m/s)

Il est intéressant de voir que le nombre de plaintes pour une odeur de type biologique (nœud « source » catégorie 1) baisse de 9%, tandis que celles correspondant aux hydrocarbures (nœud « source » catégorie 7) augmente de plus de 20% dès que nous sommes dans un contexte de vents un peu plus forts. Nous voyons bien là le rôle du vent qui peut à la fois diluer certaines molécules odorantes dans l'atmosphère, mais en même temps en porter plus loin d'autres, qui rentrent alors en contact avec des plaignants moins habitués à ce genre d'odeurs, et qui déposent plainte à leur tour. À noter qu'en termes d'irritation ou de gêne ressenties la situation reste stable. Il y a cependant moins de saisie de type `alerte_flag`, mais plus de saisie de type `alerte_icpe_flag`, c'est-à-dire que le seuil de 3 plaintes dans un rayon de 2 km a été atteint plus facilement.

L'IA nous a permis d'analyser simultanément toutes les interrelations entre les variables sélectionnées. Cependant, pour rendre compte de la spatio-temporalité des plaintes, nous allons faire appel à la géomatique, plus appropriée pour cela.

3.2 La géomatique

Nous avons fait appel plus particulièrement au *plugin* « *time manager* » qui est une extension du logiciel de Système d'information Géographique QGIS et qui permet de mieux appréhender les phénomènes spatio-temporels en produisant des vidéos cartographiques^{65,66}. La temporalité peut aller de quelques microsecondes à plusieurs années.

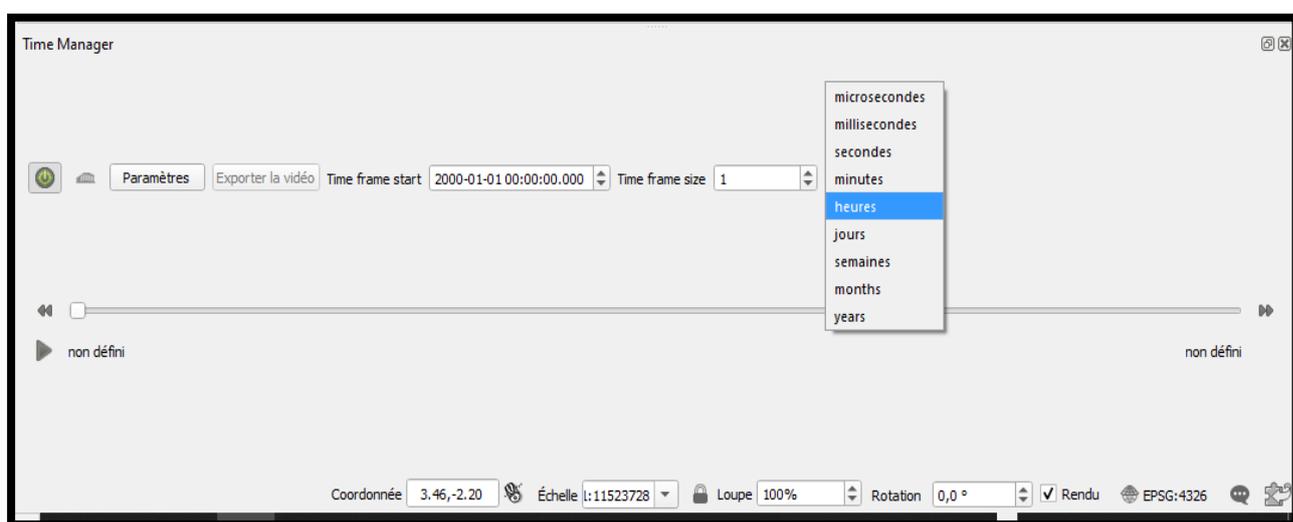


Figure 67. Le *plugin* « *time manager* » de Qgis

Plusieurs vidéos ont été réalisées, sur les années, les mois et les jours, pour toutes les plaintes de la région Sud entre 2003 et 2016 (20 868 plaintes)⁶⁷. Dans un premier

⁶⁵ Combiné à un logiciel d'encodage de vidéo, à partir d'un export d'images

⁶⁶ <http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/le-plugin-time-manager-a3128.html>

⁶⁷ A titre de rappel, le lecteur peut consulter la figure 41 en page 128 pour avoir une idée des potentiels émetteurs

temps nous avons juste voulu voir comment se répartissaient les points (les plaintes) dans l'espace⁶⁸. Les liens pour y accéder se trouvent ci-après.



La vidéo annuelle des plaintes déposées de 2003 à 2016 (durée 18 s.)

https://video.wixstatic.com/video/52b082_e1c2ee81b4914133a0e0479eef5667a9/480p/mp4/file.mp4



La vidéo mensuelle des plaintes déposées de 2003 à 2016 (durée 3 mn 06 s.)

https://video.wixstatic.com/video/52b082_217c55c89e7a4e4da1907556e1b0cc8a/480p/mp4/file.mp4



La vidéo journalière des plaintes déposées de 2003 à 2016 (durée 1 h 23 mn 49 s.)

https://video.wixstatic.com/video/52b082_5da853de16c74e62b2cd6c593de2e07b/480p/mp4/file.mp4

Entre 2003 et 2006, l'espace le plus touché est l'Étang de Berre suivi des villes de Marseille, Grasse et Châteaurenard. De 2007 à 2012, la région de l'Étang de Berre et la ville de Marseille demeurent les plus impactées, mais d'autres villes apparaissent⁶⁹ dans le nord-ouest des Bouches-du-Rhône : Tarascon, Châteaurenard, et dans le Vaucluse avec les villes de Vedène, Entraigues, Saint-Saturnin-lès-Avignon, Sorgues, et Pontet. Plus récemment (2013 à 2016), en plus de la région de l'Étang de Berre et des villes précitées, d'autres lieux émergent à leur tour : le Cagnet-des-Maures, le Luc, et Ventavon.

Puis, à la localisation des plaintes (points) nous avons ajoutées les catégories d'odeurs (couleurs) pour lesquelles les plaintes avaient été déposées sur le site du SRO, toujours que pour les 22 villes qui en recensent le plus. Nous avons préféré différencier ces 2 aspects (points et couleurs, localisation et catégories).

⁶⁸ Notre travail de thèse a porté sur le traitement des plaintes de 2003 à 2016, mais nous avons voulu voir quelle était la tendance depuis, **le lecteur trouvera donc en Annexe 4 les liens vers les vidéos qui se prolongent jusqu'en 2020**

⁶⁹ Avec un nombre important de plaintes comme nous avons pu le voir précédemment

➤ **La vidéo annuelle des plaintes de 2003 à 2016 selon les catégories d'odeurs**
https://video.wixstatic.com/video/52b082_06e6abf12c32439ca5357e8d55fb33e5/480p/mp4/file.mp4

➤ **La vidéo mensuelle des plaintes de 2003 à 2016 selon les catégories d'odeurs**
https://video.wixstatic.com/video/52b082_1a129835d2874c89997ff71a92fcd731/480p/mp4/file.mp4

➤ **La vidéo journalière des plaintes de 2003 à 2016 selon les catégories d'odeurs**
https://video.wixstatic.com/video/52b082_5b9f03e76e0140ee8b79c03c9e6ac9d2/480p/mp4/file.mp4

Ainsi, concernant la nature des odeurs, la **catégorie biologique**, 7 602 plaintes (46.14%), est éparpillée sur tout le territoire en raison de la présence des déchetteries, des décharges, des stations d'épuration, des égouts... Néanmoins, nous observons des clusters : Chateaurenard (Sotréco), Vedène, Entraigues, Saint-Saturnin-Lès-Avignon, Sorgues, (centre d'enfouissement technique d'Entraigues), le Luc, le Cannet-des-Maures (Balançon), Ventavon (décharge de Beynon), la rive Est et Sud-Est de l'Étang de Berre avec Vitrolles (l'Arbois), Ensues-la-Redonne et Châteauneuf-les-Martigues (Biotechna). Dans les autres villes nous constatons une présence moins importante de ce type d'odeurs, car d'autres sont prédominantes : Tarascon, Grasse, Martigues.

La catégorie **hydrocarbures**, 4 414 plaintes (26.79%), domine aux alentours de l'Étang de Berre (présence des raffineries), mais aussi dans d'autres villes comme à Marseille (port), à Chateaurenard, Lançon-de-Provence (centrale de fabrication d'enrobés).

Les plaintes pour une **odeur de gaz**, 1 893 plaintes (11.49%), concernent surtout rappelons-le, les usines : Butagaz à Rognac, Soprema à Sorgues, et les raffineries

autour de l'Étang de Berre ou bien les centres d'enfouissement techniques comme celui d'Entraigues, ou Malespine à Gardanne, car ces centres produisent du gaz méthane suite à l'activité aérobie des déchets ménagers et verts.

La catégorie **brulée**, 390 plaintes (2.37%), est générée par des usines qui se trouvent aux alentours de l'Étang de Berre (Arcelor à Fos-sur-Mer, Ineos à Lavéra...), ou par les centrales d'enrobage (SPB à Chateaurenard, Centrale de bitume à Lançon-de-Provence...). Ce type d'odeurs peut aussi être le fait de brûlages sauvages de végétaux ou de déchets de chantiers.

Les odeurs en lien avec la **chimie**, 221 plaintes (1.34%), concernent les activités de carrosseries à Marseille, Martigues (utilisation de la peinture), le traitement des déchets dangereux : Solamat à Rognac, la fabrication des détergents notamment à Marseille, de parfums à Grasse (Kerry, Mane).

La catégorie **soufre** correspond à 108 plaintes (0.66%), engendrées par la société de travaux de pompage et d'assainissement (TPA), spécialisée dans la collecte des déchets industriels, et à Tarascon générées par l'usine de Provence tomates et dans le sud de l'Étang de Berre par les dépôts pétroliers de Fos et par Ineos à Lavéra. La catégorie chlore, ammoniacque, 15 plaintes (0.09%), est relevée à Marseille (Arkema) et à Port-de-Bouc (Azur Chimie).

Enfin, la catégorie papeterie (cellulose), 624 plaintes (3.79%), est prédominante à Tarascon où se trouve l'usine de Fibre Excellence, mais aussi à Chateaurenard, Martigues et Lançon-de-Provence.

Comme nous l'avons vu précédemment, le nombre de plaintes augmente pendant la période estivale, ainsi que suivant les jours de plus grande activité industrielle, et elles sont plus nombreuses le matin.

Les réseaux bayésiens nous ont permis de comprendre le contexte dans lequel émergeaient les plaintes, et de déceler les seuils à partir desquels les nuisances olfactives se manifestaient le plus. L'interdépendance entre les variables est également apparue, de même que les plus influentes (vent, distance, origine), et dans quelles conditions elles l'étaient, notamment sur le genre, la gêne et l'irritation ressenties, ainsi que sur la durée de l'épisode olfactif. Tandis qu'avec la géomatique via les vidéos nous avons visualisé les espaces les plus impactés, à quel moment ils l'ont été le plus, et par quelle catégorie d'odeurs.

Conclusion

Depuis le début du 20^{ème} siècle, les recherches de différentes disciplines (chimie, médecine, neurobiologie, anthropologie, linguistique, philosophie) s'intéressent de plus en plus à l'odorat. Elles essaient de montrer les performances de ce sens (Bushdid et *al.* 2014 ; McGann 2017). Elles étudient les odeurs en décryptant leurs caractéristiques : intensité, concentration, qualité, valeur hédonique, en déterminant leurs catégories (Köster, 1991, Boisson, 1997, Dubois, 2006, Candau, 2011, Candau, 2016), en analysant les composés des flux odorants, (Vigneron et *al.* 1994, Gouronnec, 2004, Meierhenrich et *al.* 2005, Scotto et Fernandez, 2017), en essayant de déceler les éléments qui composent le système olfactif, et le traitement de l'information olfactive du point de vue cognitif (Amoore, 1970, Buck et Axel, 1991, Lledo et Vincent, 1999, Plailly, 2005, Holley et Le Magnen, 2018), sans oublier la remise en cause des préjugés sur l'odorat, tels que ses prétendues faiblesses, ses caractéristiques primitives, gênantes ou immorales (Jaquet, 2010, Le Guéer, 2013). Le but principal de ces recherches est de mieux connaître ce sens, de le faire sortir de la dévalorisation qu'il connaît depuis longtemps.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux odeurs désagréables d'origine industrielles et urbaines à travers les plaintes collectées par le SRO, et un questionnaire de jurés de nez réalisé en 2017 par nos soins.

Ces odeurs désagréables suscitent dans certaines villes de la région Sud de nombreuses plaintes de la part des populations. Les villes les plus touchées se trouvent, particulièrement, autour de l'Étang de Berre, (Martigues, Port-de-Bouc, Fos-sur-Mer), le long de l'axe qui relie Tarascon à Sorgues en passant par Chateaurenard, Vedène, Le Pontet, des clusters de plaintes sont également observés à Ventavon, au Luc, au Cagnet-des-Maures, et localement sur la Côte d'Azur (du fait cette fois du brûlage de déchets verts et des nuisances générées par les industries de la parfumerie).

Du point de vue temporel, ces plaintes ont tendance à être plus nombreuses le matin et durant la période estivale pour les raisons évoquées dans la thèse.

L'impact de ces odeurs sur la population se manifeste par des niveaux de gêne ressentis élevés, et des symptômes aussi divers que des irritations, des maux de tête, des nausées, des saignements de nez, des troubles du sommeil, voire du stress du fait de la peur.

Nous avons observé une conformité des résultats entre les plaintes des riverains et le jury de nez : les femmes déposent plus de plaintes que les hommes, les odeurs incriminées sont de type biologique, la matinée est le moment où le plus de plaintes sont enregistrées, le niveau de gêne est très élevé chez les plaignants comme chez les jurés de nez, et ils reconnaissent les mêmes impacts sanitaires que nous venons d'évoquer. De plus, comme nous avons pu le mettre en évidence avec l'IA, ces plaintes émergent lors de contextes favorables, le matin propice aux inversions thermiques et moment de reprise de l'activité industrielle, lors de vents faibles, à une certaine distance des établissements, etc.

Le pari de l'objectivisation des odeurs désagréables énoncé comme problématique en début de thèse est donc atteint.

Le nombre de plaintes est instable d'une année à l'autre du fait de fuites occasionnelles, d'accidents industriels tels que celui de la Lyondell à Berre, en 2015, où le nombre de plaintes a grimpé dans les villes voisines du site, comme à Rognac, où entre les 14 et 31 juillet, les habitants ont déposé plus de 120 plaintes (soit 17% du nombre total des plaintes pour cette ville). Les plaintes peuvent également baisser à la faveur cette fois du rôle des élus qui se mobilisent contre les nuisances olfactives, telle que l'action du maire du Cannet-des-Maures contre la décharge de Balançon, mais également du fait des industriels, qui dans le cadre de leurs systèmes de management environnemental s'engagent à faire baisser leurs rejets odorants en utilisant des processus de désodorisation, en fermant des bacs, en utilisant moins de composés soufrés, en déplaçant aussi certains bacs ou cuves devenus trop proches des habitations⁷⁰.

⁷⁰ http://www.sro-paca.org/helpPdf/action_de_reduction_des_odeurs.pdf

Ultimement, la connaissance acquise par les riverains sur les sources émettrices d'odorants associée au calcul de la distance entre leur habitat et la source, ainsi qu'avec le sens et la vitesse du vent au moment de leur plainte permet d'avoir une idée plus précise de la nature des polluants auxquels ils sont exposés. Cela pourrait se vérifier par des prélèvements d'air en des points particuliers, menés en collaboration avec des chimistes, cela pourrait être pertinent pour des études de santé environnementale menées actuellement au niveau de l'étang de Berre (Pérez, 2019).

Si les données le permettent la méthodologie employée pourrait être étendue à d'autres régions, voire à l'ensemble du territoire national. Cela dresserait un état des lieux des nuisances olfactives en France, et permettrait dans tous les cas de comparer différents espaces entre eux. Il serait intéressant de disposer de certaines informations concernant les plaignants comme leur âge (ou la tranche d'âge), PCS, et niveau d'éducation.

L'expertise développée dans le recueil des nuisances olfactives par AtmoSud aurait été ainsi bien utile dans le cas de l'accident industriel de Lubrizol qui a eu lieu à Rouen le 26 septembre 2019, et qui a provoqué un impressionnant panache de fumée avec des odeurs senties jusque dans les Hauts de France⁷¹.

Des cartes dynamiques en temps réel qui rendraient compte de l'intensité des odeurs perçues seraient ainsi un moyen pertinent pour prévenir au mieux la population en cas d'accident industriel.

Dans une perspective d'approfondissement de la recherche menée les vidéos réalisées serviront d'entrée pour d'autres traitements, en utilisant par exemple certains outils, comme GrAPHIST⁷² (Gautier, Davoine, Cunty, 2019), afin de voir si des structures spatiales se dégagent, si des récurrences spatiales et/ou temporelles (cycles) émergent de manière plus précise.

⁷¹ https://www.huffingtonpost.fr/entry/incendie-usine-lubrizol-rouen-odeurs-habitants_fr_5d8d7991e4b0e9e7604a4843

⁷² GrAPHIST : (environnement de) Géovisualisation pour l'Analyse des Phénomènes Spatio-Temporels

Le traitement des plaintes et le questionnaire soumis au jury de nez a mis en évidence des résultats qui peuvent aider les décideurs à mieux gérer ces odeurs. L'analyse spatio-temporelle a ainsi montré que la matinée et l'été sont les périodes les plus impactées, que des centres de compostages et de traitements de déchets sont devenus du fait de l'urbanisation croissante très proches des riverains, alors qu'au départ ils se situaient à la périphérie des villes (Massard, Guilbaud, 2010). Une réflexion sur l'étalement, de l'activité industrielle vers la fin de la matinée moins propice aux inversions thermiques, ainsi que sur la localisation des centres de compostage ou de traitement des déchets devrait être menée.

Nous pouvons nous interroger sur le lien qui existe entre la connaissance du SRO de la part des habitants et le fait de déposer plainte, ainsi la sous-estimation du phénomène dans certaines zones (Côte d'Azur) serait peut-être plus liée à une méconnaissance du site ? Inversement, est-ce que sa meilleure connaissance pourrait expliquer l'augmentation de plaintes ?

Notre étude s'est arrêtée en 2016, depuis, la tendance est à l'augmentation, très nette en 2017, moins appuyée en 2018 et 2019, et avec un record en 2020 (4 105 plaintes qui représentent plus de 12% de la totalité des plaintes enregistrées entre 2001 et 2020 (33 754 plaintes). Ce record de plaintes en 2020 (Cf. Annexe 4) peut être dû au confinement, et au fait que les riverains sont bloqués chez eux. Le stress jouant sans doute également sur une plus grande susceptibilité aux mauvaises odeurs (Bombail, 2018, 2019).

Il serait d'ailleurs intéressant de travailler sur l'aide que peuvent apporter des odeurs appréciées, et dont nous sommes momentanément privés dans notre capacité à supporter un nouveau confinement. Le lien entre covid et odeurs semble multiple depuis l'anosmie comme signe précoce de la maladie, jusqu'à la cacosmie ou phantosmie comme conséquences des atteintes neurologiques dues au virus (Lechien et al. 2020), ou bien encore le *training* olfactif pour muscler à nouveau l'odorat des patients.

Enfin, parce que les odeurs peuvent être de natures plus agréables que celles évoquées jusqu'à présent, et toujours à l'échelle micro, nous aimerions aborder cette fois ce qui fait l'ambiance olfactive d'un espace, et qui peut parfois même constituer une part importante de son identité (méquinas, marchés aux fleurs, stations balnéaires), et ainsi être valorisé (design olfactif) afin de cheminer de la « *smart city* » à la « *sensitive city* » (Thibaud, 2003, Bonnaud, 2018).

Bibliographie

1. À vue de nez : odorat et communication. 2019. Collection « Les essentiels d'Hermès, ». Paris : CNRS Éditions.
2. Abad, R. (1998). Les tueries à Paris sous l'Ancien Régime ou pourquoi la capitale n'a pas été dotée d'abattoirs aux XVIIe et XVIIIe siècles. *Histoire, économie et société*, 17(4), 649-676. <https://doi.org/10.3406/hes.1998.2006>
3. Ahmadou, M. D. (2015). *Contribution au développement d'un dispositif robuste de détection-diffusion d'huile essentielles a concentration contrôlée*. Université de Lorraine.
4. Albert, J. P. (2007). L'odeur des autres. À propos de quelques stéréotypes. In *Corps normalisé, corps stigmatisé, corps racialisé* (p. 360). De Boeck Supérieur. <https://www.cairn.info/corps-normalise-corps-stigmatise-corps-racialise--9782804155506-page-77.htm>
5. Amandine, C. (2007). *Distribution et rôle des composés soufrés réduits volatils sur la spéciation métallique* [l'institut de physique du globe de PARIS]. <https://archimer.ifremer.fr/doc/2007/these-2687.pdf>
6. Amoore, J. E. (1970). *Molecular Basis of Odor*. Thomas.
7. Antunes, G., Sebastião, A. M., & Simoes de Souza, F. M. (2014). Mechanisms of Regulation of Olfactory Transduction and Adaptation in the Olfactory Cilium. *PLoS ONE*, 9(8), 21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105531>
8. Archunan, G. (2018). Odorant Binding Proteins : A key player in the sense of smell. *Bioinformation*, 14(1), 36. <https://doi.org/10.6026/97320630014036>
9. Aristote. (2004). *Traité de l'âme Peri Psyche*. <http://docteurangelique.free.fr/bibliotheque/complements/Aristotedelame.htm>
10. Atanasova, B. (2016). Les troubles de l'olfaction dans le vieillissement normal et pathologique : Cas de la dépression et de la maladie d'Alzheimer. *La lettre des Neurosciences*, 50, 29-30.
11. Barnéoud, P. (2010). *Développement d'un modèle de fluctuations de concentration pour la dispersion atmosphérique de contaminants* [Université de Québec]. <https://archipel.uqam.ca/3045/1/M11423.pdf>
12. Barnéoud, P., & Costermans, J. (1994). Le traitement de l'information olfactive. *L'année psychologique*, 94(1), 99-121. <https://doi.org/10.3406/psy.1994.28740>
13. Barry, S., & Gualde, N. (2008). La Peste noire dans l'Occident chrétien et musulman, 1347-1353. *Canadian Bulletin of Medical History*, 25:2, 38.
14. Beal, P., Hourdin, G., Mesbah, B. A., & Poulet, D. (2006). ODOTRACE Recherche des sources d'odeur à partir des plaintes des riverains. *Pollution atmosphérique*, 192, 10.

15. Beghi, S., & Guillot, J. M. (2007). Prélèvement et prétraitement d'échantillons d'air ambiant, application aux composés organiques volatils en milieu humide. *JlQA 2007*, 8.
16. Béguin, M. (2013). L'histoire des ordures : De la préhistoire à la fin du dix-neuvième siècle. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 13(3), Article Volume 13 Numéro 3. <https://doi.org/10.4000/vertigo.14419>
17. Bellairs, A. (1942). *Observations on Jacobson's organ and its intervention in vipera berus*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1252700/?Page=1>.
18. Ben Hassine, J., & Perez, S. (2015, octobre). Essai de spatialisation des odeurs, applications aux odeurs d'origine industrielle en région PACA. *Journées interdisciplinaires Thématiques GDR O3 Odeurs, Odorants, Olfaction*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01283645>
19. Benalloul, G. (2010). *Techniques de parfumerie à Grasse présentation historique*. <https://www.departement06.fr/documents/Import/decouvrir-les-am/recherchesregionales196-06.pdf>
20. Bensafi, M., Brown, W. M., Khan, R., Levenson, B., & Sobel, N. (2004). Sniffing human sex-steroid derived compounds modulates mood, memory and autonomic nervous system function in specific behavioral contexts. *Behavioural Brain Research*, 152(1), 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.09.009>
21. Blancou, J. (1995). Les méthodes de désinfection de l'antiquité à la fin du XVIIIe siècle -EN- History of disinfection from early time until the end of the 18th century -FR- -ES-. *Revue Scientifique et Technique de l'OIE*, 14(1), 21-39. <https://doi.org/10.20506/rst.14.1.831>
22. Blavier, G., Charvolin, F., Frioux, S., Kamoun, L., Mélard, F., & Roussel, I. (2013). *Percevoir et objectiver la pollution de l'air. Une exploration historique et sociologique de ses « mesures » et de ses débordements*. http://www.concertation-environnement.fr/documents/RF/CDE_HICQUAR_RF.pdf
23. Boccara, M. (2011). Le sens du sens. Esquisse d'une épistémologie des odeurs. *Le Journal des psychologues*, n° 285(2), 42-47.
24. Boisson, C. (1997). La dénomination des odeurs : Variations et régularités linguistiques. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 24(1), 29-49. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1546>
25. Bonfils, P. (2014). Odorat : De l'aéroportage au cortex. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 198(6), 1109-1122. [https://doi.org/10.1016/S0001-4079\(19\)31262-2](https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)31262-2)
26. Bonnaud, X., (2018) « L'expérience de l'architecture et son potentiel d'ancrages », in Bodart Céline, Younès Chris, Au tournant de l'expérience, éd. Hermann, 2018, p. 207-223

27. Bonnefoy, B. (2007). Pourquoi sommes-nous gênés par les odeurs ? Le rôle de quelques facteurs psychosociaux. *Air Pur*, 73, 4.
28. Bombail, V. (2019) Perception and emotions: On the relationships between stress and olfaction, *Applied Animal Behaviour Science*, Volume 212, March 2019, Pages 98-108
29. Bombail, V. (2018) In search of stress odours across species: behavioural responses of rat faeces from chickens and rats subjected to various types of stressful events, *Applied Animal Behaviour Science* Volume 205, August 2018, pages 216-226
30. Bour, C., Romain, E., & Thouet, A. (2006). *Evaluation et gestion des risques liés aux situations de nuisances olfactives* (p. 72). https://documentation.ehesp.fr/memoires/2006/ase_igs/rap_8_%20nuisances_olfactives.pdf
31. Bour, O., Couturier, C., Berger, S., & Riquier, L. (2005). *Evaluation des risques liés aux émissions gazeuses des décharges : Propositions de seuils de captage* (N° 46533R01c). https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/49/102/49102012.pdf
32. Boutaric, F. (2005). L'information sur la qualité de l'air : Dispositif et constructions sociales. *Mouvements*, no 37(1), 100-108.
33. Brunet, R., Ferras, R., & Théry, H. (1993). *Les mots de la géographie : Dictionnaire critique* (3. ed., rev.augm). RECLUS; Documentation française.
34. Buck, L., & Axel, R. (1991). A Novel Multigene Family May Encode Odorant Receptors: A Molecular Basis for Odor Recognition. *Cell*, 65, 13.
35. Bulsing, P. J. (2009). *The link between odors and illness: How health cognitions affect odor perception*. Utrecht University.
36. Bulsing, P. J., Smeets, M. A. M., & Van den Hout, M. A. (2008). The Implicit Association between Odors and Illness. *Chemical Senses*, 34(2), 111-119. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjn062>
37. Bushdid, C., Magnusco, M. O., Vosshall, L. B., & Keller, A. (2014). Humans Can Discriminate More than 1 Trillion Olfactory Stimuli. *Science*, 343(6177), 1370-1372. <https://doi.org/10.1126/science.1249168>
38. Cadet-De-Vaux, A. A. (1784). *Avis sur les moyens de diminuer l'insalubrité des habitations qui ont été exposées aux inondations, par M. Cadet de Vaux*, HACHETTE LIVRE BNF.
39. Candau, J. (2000a). *La-metamemoire-ou-la-mise-en-recit-du-travail-de-memoire.pdf*. <https://www.centrealbertobenveniste.org/formail-cab/uploads/La-metamemoire-ou-la-mise-en-recit-du-travail-de-memoire.pdf>
40. Candau, J. (2000b). *Mémoire et expériences olfactives : Anthropologie d'un savoir-faire sensoriel* (1re éd). Presses universitaires de France.

41. Candau, J. (2009). *Le temps partagé de la sensation olfactive*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01736670/document>
42. Candau, J. (2016a). L'anthropologie des odeurs : Un état des lieux. *Bulletin d'études orientales, LXIV*, 43-61. <https://doi.org/10.4000/beo.4642>
43. Candau, J. (2016b). Une odeur déconcertante chez tante Léonie. In S. Houppermans, M. van Montfrans, A. Schulte Nordholt, S. van Wesemael, & N. de Hullu-van Doeselaar (Éds.), *Sensations proustiennes*. Brill | Rodopi. https://doi.org/10.1163/9789004329010_011
44. Candau, J., & Jeanjean, A. (2006). Des odeurs à ne pas regarder.... *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*, 47, 51-68. <https://doi.org/10.4000/terrain.4251>
45. Candau, J., Sompairac, L., Ben Hassine, J., & Perez, S. (2020). *De la variabilité culturelle de la sensibilité aux espaces odorants*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02360626>
46. Candau, J., & Wathelet, O. (2011). Les catégories d'odeurs en sont-elles vraiment ? *Langages*, 181(1), 37. <https://doi.org/10.3917/lang.181.0037>
47. Carre, J., & Fanlo, J. L. (2006). *Pollution olfactive, sources d'odeurs, cadre réglementaire, techniques de mesure et procédés de traitement. Etat de l'art*. https://www.record-net.org/storage/etudes/03-0808-0809-1A/rapport/Rapport_record03-0808-0809_1A.pdf
48. Castro, J. B., Ramanathan, A., & Chennubhotla, C. S. (2013). Categorical Dimensions of Human Odor Descriptor Space Revealed by Non-Negative Matrix Factorization. *PLoS ONE*, 8(9), e73289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073289>
49. Chabot, H. (2008). Qui a découvert le chlore ? *l'actualité chimique*, 316, 5.
50. Chelminski, Y. (2015). *Interactions olfacto-alimentaires : Étude fonctionnelle de la plasticité du système olfactif chez deux modèles murins de l'obésité*. [Université Paris-Saclay]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01279922/document>
51. Chotard, F. (2015). *La circulation de l'information littéraire et scientifique en Europe entre 1710 et 1792, d'après les Nouvelles Littéraires du Journal des Savants*. Université d'Orléans.
52. Clincke, A. S., & Guillot, J. M. (2017). Le défi du prélèvement des émissions surfaciques odorantes. *Pollution atmosphérique*, 234. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6266>
53. Cloirec, P. L., & Perrin, M. (1991). Métrologie et échantillonnage. In *Odeurs & désodorisation dans l'environnement* (p. 247-264). Tec & Doc, Lavoisier.
54. Cloquet, H. (1821). *Osphrésiologie : Ou, traité des odeurs, du sens et des organes de l'olfaction ; avec l'histoire détaillée des maladies du nez et des fosses nasales, et des opérations qui leur conviennent*. Méquignon-Marvis.

55. Cometto-Muñiz, J. E. (2002). Chemical Sensing in Humans and Machines. In T. C. Pearce, S. S. Schiffman, H. T. Nagle, & J. W. Gardner (Éds.), *Handbook of Machine Olfaction* (p. 33-53). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/3527601597.ch2>
56. Condillac, E. B. de. (2008). *Traité des sensations*. http://classiques.uqac.ca/classiques/condillac_etienne_bonnot_de/traité_des_sensations/traité_des_sensations.pdf
57. Coureaud, G., Shneider, N. Y., & Ferreira, G. (2016). Sentir : Organe et Sens. *La lettre des Neurosciences*, 50, 12-14.
58. Courmont, J. (2010). *L'odeur de l'ennemi : L'imaginaire olfactif en 1914-1918*. A. Colin.
59. David, S., Dubois, D., Rouby, C., & Schaal, B. (1997). L'expression des odeurs en français : Analyse lexicale et représentation cognitive. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 24(1), 51-83. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1547>
60. De Bordeu, T. (1774). *Traité de médecine théorique & pratique*. <https://books.google.com/books/about/Traité%20de%20médecine%20théorique%20et%20pratique.html?hl=fr&id=pmNEAAAACAAJ>
61. Debrieu, C. (2003). *Lutte contre les odeurs de l'assainissement*. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/fndae_lutte_contre_les_odeurs_de_l_assainissement_urbain_2004.pdf
62. Deshmukh, S., Bandyopadhyay, R., Bhattacharyya, N., Pandey, R. A., & Jana, A. (2015). Application of electronic nose for industrial odors and gaseous emissions measurement and monitoring – An overview. *Talanta*, 144, 329-340. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.06.050>
63. *Dictionnaire Trévoux*. (1771). <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k509830.image>
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k509830.image>
64. Dorveaux, P. (1929). L'invention de l'eau de Javel. *Revue d'Histoire de la Pharmacie*, 17(63), 286-287. <https://doi.org/10.3406/pharm.1929.10601>
65. Doty, R. L., Brugger, W. E., Jurs, P. C., Orndorff, M. A., Snyder, P. J., & Lowry, L. D. (1978). Intranasal trigeminal stimulation from odorous volatiles: Psychometric responses from anosmic and normal humans. *Physiology & Behavior*, 20(2), 175-185. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(78\)90070-7](https://doi.org/10.1016/0031-9384(78)90070-7)
66. Dubois, D. (2006). Des catégories d'odorants à la sémantique des odeurs. Une approche cognitive de l'olfaction. *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*, 47, 89-106. <https://doi.org/10.4000/terrain.4263>
67. Dubois, D., & Rouby, C. (1997). Une approche de l'olfaction : Du linguistique au neuronal. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 24(1),

- 9-20. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1544>
68. Dulau, R., & Pitte, J. R. (Éds.). (1998). *Géographie des odeurs*. L'Harmattan.
69. Ebrahimi, F. A. W., & Chess, A. (1998). Olfactory G proteins: Simple and complex signal transduction. *Current Biology*, 8(12), R431-R433. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(98\)70271-4](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(98)70271-4)
70. Esteves, A., Ribeiro, CF., Dâmaso, CS., Moreira, FL., Fernandes, GJM., Carvalho Filho, J., & Rossi Jr., WC. (2009). Anatomical description of the trigeminal nerve [V] and its branching in mongrel dogs. *Braz. J. Morphol. Sci.*, 26(3-4), 187-192.
71. Fabre, J.-H. (1823-1915) A. du texte. (1900). *Souvenirs entomologiques : Études sur l'instinct et les mœurs des insectes. Série 7 / J.-H. Fabre.* <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k99165v>
72. Fijalkow, Y. (2000). La notion d'insalubrité. Un processus de rationalisation 1850-1902. *Revue d'histoire du XIXe siècle. Société d'histoire de la révolution de 1848 et des révolutions du XIXe siècle*, 20/21, 135-156. <https://doi.org/10.4000/rh19.213>
73. Finger, T. E., Böttger, B., Hansen, A., Anderson, K. T., Alimohammadi, H., & Silver, W. L. (2003). Solitary chemoreceptor cells in the nasal cavity serve as sentinels of respiration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(15), 8981-8986. <https://doi.org/10.1073/pnas.1531172100>
74. Foguem, C. (2016). Les troubles olfactifs au cours de la sénescence et de deux principales pathologies neurodégénératives. *HEGEL - HEpato-GastroEntérologie Libérale*, 6(2). <https://doi.org/10.4267/2042/60008>
75. Foisil, M. (1974). *Les attitudes devant la mort au XVIII e siècle : Sépultures et suppressions de sépultures dans le cimetière parisien des Saints-Innocents sur JSTOR.* <https://www-jstor-org.proxy.unice.fr/stable/40953030>
76. Frère, S., Roussel, I., & Blanchet, A. (2005). Les pollutions atmosphériques urbaines de proximité à l'heure du Développement Durable. *Développement durable et territoires, Dossier 4.* <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.758>
77. Frioux, S. (2012). *Prendre la mesure des responsables de la pollution de l'air (France, années 1900-1961).* <http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/docannexe/file/2122/frioux.pdf>
78. Gautier, J., Davoine, P-A., Cuntly C., (2019). GrAPHiST : un environnement de visualisation pour l'analyse exploratoire de données spatio-temporelles. SAGEO 2019, Nov 2019, Clermont-Ferrand, France. fahal-02473607f
79. Gebicki, J., Byliński, H., & Namieśnik, J. (2016). Measurement techniques for assessing the olfactory impact of municipal sewage treatment plants. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5024-2>
80. Gilbert, A. N. (2014). *What the nose knows: The science of scent in everyday life.*

CreateSpace Independent Publishing Platform.

81. Gingras, B., Guy, C., & Pagé, T. (2003). *Odeurs*. <https://archives.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/LET-hebertville-station/documents/DB57.pdf>
82. Goesmann, F., Rosenbauer, H., Roll, R., Szopa, C., Raulin, F., Sternberg, R., Israel, G., Meierhenrich, U., Thiemann, W., & Munoz-Caro, G. (2007). COSAC, the cometary sampling and composition experiment on Philae. *Space Science Reviews*, 128(1-4), 257–280.
83. Gouronnec, A. M. (2000). Mesure des odeurs par analyse sensorielle ou « olfactométrie » Measurement of odours by sensory analysis or olfactometry. *Pollution atmosphérique*, 168, 16.
84. Gouronnec, A. M. (2002). Aspects réglementaires relatifs aux odeurs en France. *Pollution atmosphérique*, 173, 20.
85. Gouronnec, A. M. (2004). Analyses olfactométriques ou mesure des odeurs par analyse sensorielle. Ref: TIP630WEB - « Techniques d'analyse ». <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/analyses-dans-l-environnement-eau-et-air-42831210/analyses-olfactometriques-ou-mesure-des-odeurs-par-analyse-sensorielle-p446/>
86. Graser, A. (2011). An Introduction to Time Manager for QGIS. *Free and Open Source GIS Ramblings*. <https://anitagraser.com/2011/04/10/an-introduction-to-time-manager-for-qgis/>
87. Griff, E. R., Greer, C. A., Margolis, F., Ennis, M., & Shipley, M. T. (2000). Ultrastructural characteristics and conduction velocity of olfactory receptor neuron axons in the olfactory marker protein-null mouse. *Brain Research*, 866(1-2), 227-236. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(00\)02291-5](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)02291-5)
88. Guillot, J. M., & Luillery, C. (2017). Évolution des normes de mesure des odeurs et des composés odorants. *Pollution atmosphérique*, 223. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6153>
89. Ibn Gumay. (1198), *Risāla fī tibb al-Iskandariyya*, p. 376-377
90. Haddi, Z. (2013). *Conception et développement d'un système multicateurs en gaz et en liquide pour la sécurité alimentaire*. Université Moulay Ismail.
91. Haddon, A. C., Rivers, W. H. R., Seligman, C. G., Myers, C. S., McDougall, W., Ray, S. H., & Wilkin, A. (1903). *Reports of the Cambridge anthropological expedition to Torres straits, Volume II: Physiology and psychology, Part II: Hearing, smell, taste, cutaneous sensations, muscular sense, variations of blood-pressure, reaction-times*. London: Cambridge University Press. <https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/47182>
92. Halpern, M., & Martínez-Marcos, A. (2003). Structure and function of the vomeronasal system: An update. *Progress in Neurobiology*, 70(3), 245-318.

[https://doi.org/10.1016/S0301-0082\(03\)00103-5](https://doi.org/10.1016/S0301-0082(03)00103-5)

93. Heckel, A. (2003). *Emergence de la médecine en Mésopotamie* [Université Henri Poincaré, Nancy 1]. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01732845/document>
94. Herz, R. S., Eliassen, J., Beland, S., & Souza, T. (2004). Neuroimaging evidence for the emotional potency of odor-evoked memory. *Neuropsychologia*, 42(3), 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.08.009>
95. Holley, A. (1997). Le physiologiste et la catégorisation des odeurs. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 24(1), 21-27. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1545>
96. Holley, A. (2016). Histoire des recherches sur l'odorat. *La lettre des Neurosciences*, 50, 4-10.
97. Holley, A., & Le Magnen, J. (2018). *OLFACTION ou ODORAT*. Encyclopædia Universalis. <http://www.universalis-edu.com.proxy.unice.fr/encyclopedie/olfaction-odorat/>
98. Holley, A., & Sicard, G. (1994). Les récepteurs olfactifs et le codage neuronal de l'odeur. *Médecine/Sciences*, 10(11), 1091. <https://doi.org/10.4267/10608/2532>
99. INERIS. (2013). *Évaluation de l'état des milieux.pdf*. <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris-DRC-12-12592-13162B-Evaluation-de-l-Etat-des-milieus-et-des-risques-sanitaires.pdf>
100. Jaquet, C. (2010). *Philosophie de l'odorat* (1re ed). Presses universitaires de France.
101. Jaubert, J. N. (2010). La gène olfactive : Composantes – moyens d'appréciation. *Pollution atmosphérique*, 208, 405-433.
102. Jehannin, P. (2010). *Les politiques de santé publique et du logement—Ppt video online télécharger*. <https://slideplayer.fr/slide/1852694/>
103. Johnston, J. B. (1914). The nervus terminalis in man and mammals. *The Anatomical Record*, 8(4), 185-198. <https://doi.org/10.1002/ar.1090080402>
104. Joumard, R. (2007). La pollution atmosphérique entre sciences et société. In *Evaluation et perception de l'exposition à la pollution atmosphérique* (La Documentation française, p. 57-69).
105. König, C. (2009). *Tout savoir sur le soufre*. <http://www.geologues-prospecteurs.fr/articles/soufre/soufre.pdf>
106. Kôster, E. P. (1991a). Méthode d'évaluation psychophysique dans l'étude de l'environnement. In *Odeurs et désodorisation dans l'environnement* (p. 25-60). Tec & Doc 1991-Lavoisier.
107. Kôster, E. P. (1991b). Tonalité affective et maîtrise de la pollution odorante. In *Odeurs & désodorisation dans l'environnement* (p. 62-78). Tec & Doc, Lavoisier.
108. Lacorre, P. (1997). Sur un nouveau type de représentation catastrophiste pour

- les modélisations en biologie et sciences cognitives. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 24(1), 109-140. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1756>
109. Lafont, O. (2007). La découverte du chlore ne saurait résumer l'œuvre de Scheele. *Revue d'histoire de la pharmacie*, 94(356), 467-472. <https://doi.org/10.3406/pharm.2007.6405>
110. Laffort, P. (1991). Relations structure moléculaire-activité olfactive. In *Odeurs & désodorisation dans l'environnement* (p. 131-168). Tec & Doc, Lavoisier.
111. Largey, G. P., & Watson, D. R. (1972). The Sociology of Odors. *American Journal of Sociology*, 77(6), 1021-1034. <https://doi.org/10.1086/225257>
112. Lazorthes, G. (1986). *L'ouvrage des sens : Fenêtres étroites sur le réel*. Flammarion.
113. Le Bon, A. M., Tromelin, A., Thomas-Danguin, T., & Briand, L. (2008). Les récepteurs olfactifs et le codage des odeurs. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 43(6), 282-288. [https://doi.org/10.1016/S0007-9960\(08\)75569-X](https://doi.org/10.1016/S0007-9960(08)75569-X)
114. Lechien, J., Cabaraux, P., Chiesa-Estomba, CM., Khalife, M., et al. Objective olfactory testing in patients presenting with sudden onset olfactory dysfunction as the first manifestation of confirmed COVID-19 infection, medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.15.20066472>
115. Ledent, C., Dauby, B., Nicolas, J., & Romain, A. C. (2004). Adaptation et test d'un nez électronique pour suivre en continu la nuisance olfactive générée par un centre de compostage. *Revue Scientifique des ISILF*, 18, 101-117.
116. Lefebvre, A., & Bassereau, J. F. (2003, juillet 3). L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception : Ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. Application aux emballages. *10ième Séminaire CONFERE*.
117. Legouis, R. (1995). Les mécanismes de transduction du signal olfactif. *Annales de l'institut pasteur / actualités*, 6(4), 7.
118. Leray, P. (2008). *8èmes Journées Francophones Extraction et Gestion des Connaissances Sophia Antipolis 29 janvier Réseaux Bayésiens—PDF Free Download*. <https://docplayer.fr/9497242-8emes-journees-francophones-extraction-et-gestion-des-connaissances-sophia-antipolis-29-janvier-2008-reseaux-bayesiens.html>
119. *Les villes au Moyen Âge en Europe occidentale (ou comment demain peut apprendre d'hier)*. (2018). https://lisaa.u-pem.fr/fileadmin/Fichiers/LISAA/LISAA_editeur/Memoire_et_territoire/Ville_au_Moyen_Age/ouvrage_complet_villes_v18-06.pdf
120. Le Guéer A. (2017). Évolution de notre perception de l'odorat. Pollution

atmosphérique - 2017 - N°234, Avril - Juin 2017.

121. Leteux, S. (2013). Les nuisances dans la ville : Le cas des abattoirs parisiens (du XVIIIe au début du XXe siècle). *Texte de la conférence donnée le 3 décembre 2013 par Sylvain Leteux à la Société de l'Histoire de Paris et de l'Île de France.*
122. Levine, D. (2015). *Why is the sense of smell undervalued in Western societies?* Elsevier Connect. <https://www.elsevier.com/connect/why-is-the-sense-of-smell-undervalued-in-western-societies>
123. Lévy, F. (2016). Olfaction et Comportements Sociaux chez les mammifères. *La lettre des Neurosciences*, 50, 23-25.
124. Liu, G. T. (2005). *The Trigeminal Nerve and Its Central Connections.* <https://collections.lib.utah.edu/ark:/87278/s6rj4hsw/190061>
125. Lledo, P. M., & Vincent, J. D. (1999). Odeurs. *M/S. Médecine sciences*, 15(11), 1211-1218. <https://doi.org/10.4267/10608/1247>
126. Ma, M. (2010). Multiple Olfactory Subsystems Convey Various Sensory Signals. In Anna Menini (Éd.), *The Neurobiology of Olfaction*. CRC Press/Taylor & Francis. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK55971/>
127. Magnasco, M. O., Keller, A., & Vosshall, L. B. (2015). *On the dimensionality of olfactory space* [Preprint]. Neuroscience. <https://doi.org/10.1101/022103>
128. Majid, A., & Burenhult, N. (2014). Odors are expressible in language, as long as you speak the right language. *Cognition*, 130(2), 266-270. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.11.004>
129. Makra, L., & Brimblecombe, P. (2004). Selections from the history of environmental pollution, with special attention to air pollution. Part 1. *International Journal of Environment and Pollution*, 22(6), 641-656. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2004.006044>
130. Mariani, L. (2014). Une odeur d'enfer. À propos du devenir universel des qualités organoleptiques d'un fruit. *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, 62, 48-67. <https://doi.org/10.4000/tc.8296>
131. Marks, P. (2015). *Ready for a smellfie? Photo tags map the smellscape of a city.* New Scientist. <https://www.newscientist.com/article/dn27629-ready-for-a-smellfie-photo-tags-map-the-smellscape-of-a-city/>
132. Martin, G., & Laffort, P. (1991). *Odeurs et désodorisation dans l'environnement.* Tec & Doc, Lavoisier.
133. Massard-Guilbaud, G. (2010). *Histoire de la pollution industrielle : France, 1789-1914.* Éditions de l'École des hautes études en sciences sociales.
134. Mazal, P. P., Haehner, A., & Hummel, T. (2016). Relation of the volume of the olfactory bulb to psychophysical measures of olfactory function. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 273(1), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-3325->

135. McKendry, P., Looney, J. H., & McKenzie, A. (2002). *Managing Odour Risk at Landfill Sites: Main Report* (p. 99). https://www.researchgate.net/publication/325103363_Managing_Odour_Risk_at_Landfill_Sites_Main_Report
136. Medjkoune, M. (2018). *Vers une approche non orientée pour l'évaluation de la qualité des odeurs* [Université de Montpellier]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01866751/document>
137. Meierhenrich, R., Gauss, A., Anhaeupl, T., & Schütz, W. (2005). Analysis of diastolic function in patients undergoing aortic aneurysm repair and impact on hemodynamic response to aortic cross-clamping. *Journal of cardiothoracic and vascular anesthesia*, 19(2), 165–172.
138. Meierhenrich, U. J., Golebiowski, J., & Fernandez, X. (2005). De la molécule à l'odeur Les bases moléculaires des premières étapes de l'olfaction. *L'actualité chimique*, 289, 29-40.
139. Menini, A. (Éd.). (2010). *The neurobiology of olfaction*. CRC Press/Taylor & Francis.
140. Mercier, L. S. (1782). *Tableau de Paris. 1 / Louis-Sébastien Mercier*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k8320w>
141. Mesbah, B., & Selvanizza, M. (2017). Odotrace : Recherche des sources à l'origine des nuisances olfactives. *Pollution atmosphérique*, N°234 Avril-Juin 2017. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6148>
142. Michael, G. A. (2011). Les systèmes de la cavité nasale : Sens manipulables et manipulateurs. *Le Journal des psychologues*, n° 285(2), 37-41.
143. Moisseff, M. (2011). L'odeur : Une image comme une autre ? *Le Journal des psychologues*, n° 285(2), 48-51. <https://doi.org/10.3917/jdp.285.0048>
144. Moisseff, R., & Richard, M. (2004). *Les odeurs peuvent-elles modifier nos comportements ?* les cahiers de l'université des lycéens. <https://docplayer.fr/12012662-Les-odeurs-peuvent-elles-modifier-nos-comportements.html>
145. Moliner-Dubost, M. (2003). Le droit de chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. *Revue juridique de l'Environnement*, 28(4), 431-445. <https://doi.org/10.3406/rjenv.2003.4189>
146. Mori, K., Nagao, H., & Yoshihara, Y. (1999). The Olfactory Bulb: Coding and Processing of Odor Molecule Information. *Science*, 286(5440), 711-715. <https://doi.org/10.1126/science.286.5440.711>
147. Moulin, A. M. (1999). Premiers vaccins, premières réticences. *POUR LA SCIENCE*, 264, 6.

148. Mouret, A., & Lledo, P. M. (2007). Comment le nez se connecte au cerveau. *Médecine/sciences*, 23(3), 252-255. <https://doi.org/10.1051/medsci/2007233252>
149. *MS 1999 num. 11.* (s.d.). Consulté 3 avril 2020, à l'adresse <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/268>
150. Mueller, J. (2006). Au cœur des odeurs. *Revue française de psychanalyse*, 70(3), 791-813. <https://doi.org/10.3917/rfp.703.0791>
151. Munier, B. (2019). *À vue de nez : Odorat et communication*. CNRS Éditions.
152. Nazih, F., & Delbart, C. (1998). Transmission du signal intracellulaire par les protéines ancrées par un glycosyl-phosphatidylinositol. *Médecine/Sciences*, 14(3), 275. <https://doi.org/10.4267/10608/1030>
153. Nicolas, J., & Otte, B. (2005). *Les odeurs dans l'environnement : Résumé des législations européennes et nord-américaines* (p. 10). ULg - Arlon Campus Environnement. <http://hdl.handle.net/2268/144046>
154. Nicolas, J., & Otte, B. (2005). *Mesure des odeurs dans l'environnement : Synthèse des méthodes et conditions d'usage* (p. 45). Université de Liège, campus d'Arlon, département des sciences et gestion de l'environnement. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/144041/1/Rapport%20m%C3%A9thodes-odeur-2005.pdf>
155. O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Clarendon Press. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/620894>
156. Orrière, M. (2017). *Ressenti des médecins généralistes vis-à-vis des patients malodorants et de leur prise en charge : Étude qualitative par focus groupes* [Université de Bordeaux]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01675748/document>
157. Pajot-Augy, É. (2019). L'haleine et les capteurs d'odeurs—Nouveaux outils de diagnostic médical. *Médecine/Sciences*, 35(2), 123-131. <https://doi.org/10.1051/medsci/2019001>
158. Parent du Châtelet, A. J. B. (1824). *Essai sur les cloaques ou égouts de la ville de Paris envisagés sous le rapport de l'hygiène publique*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6209258c.textelimage>
159. Parent du Châtelet, A. J. B. (1836). *De la prostitution dans la ville de Paris, considérée sous le rapport de l'hygiène publique, de la morale et de l'administration : Ouvrage appuyé de documents statistiques puisés dans les archives de la Préfecture de police*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k65208459/f9.image.textelimage>
160. Parker, T., Dottridge, J., & Kelly, S. (2002). Investigation of the composition and emissions of trace components in landfill gas. Environment agency. <http://www.gassim.co.uk/documents/P1-438-TR%20Composition%20of%20Trace%20Components%20in%20LFG.pdf>

161. Pearce, T. C., Schiffman, S. S., & Gardner, J. W. (Éds.). (2003). *Handbook of machine olfaction: Electronic nose technology*. Wiley-VCH.
162. Pérez, S, Etude Air Santé en Pays de Martigues, Apport de l'intelligence artificielle aux questions de santé environnementale, 2019, 255 p.
163. Perret, R., Adam, K., & Ramel, M. (2005). Etude réalisée sur trois types d'effluents malodorants. *Journées techniques nationales "Pollutions olfactives des installations classées de l'évaluation de la gêne aux techniques de réduction*, 277-290.
164. Perrin, M. L., Quéré, S., Huchet, N., Delmas, V., & Ledenvic, P. (1994). Étude de la gêne olfactive des populations riveraines des zones industrielles de l'estuaire de la seine. *Pollution atmosphérique*, 141, 8.
165. Petit, J. G. (2005). Obscurité des Lumières : Les prisons d'Europe, d'après John Howard, autour de 1780. *Criminologie*, 28(1), 5-22. <https://doi.org/10.7202/017362ar>
166. Pierrette, M. (2009). *L'environnement olfactif de la perception à la gêne* [Université de Paris Ouest Nanterre La Défense]. <https://bdr.parisnanterre.fr/theses/internet/2009PA100068.pdf>
167. Plailly, J. (2005). *La mémoire olfactive humaine : Neuroanatomie fonctionnelle de la discrimination et du jugement de la familiarité*. https://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2005/plailly_j#p=0&a=top
168. Plailly, J., Saive, A. L., & Ravel, N. (2016). La mémoire olfactive. *La lettre des Neurosciences*, 50, 21-23.
169. Poiret, N. (1998). Odeurs impures. Du corps humain à la cité (Grenoble, XVIIIe-XIXe siècle). *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*, 31, 89-102. <https://doi.org/10.4000/terrain.3141>
170. Poncelet, J. (2012). Influence de l'expérience précoce et des connaissances acquises sur la perception hédonique de l'odeur : études psychophysiques et neurophysiologiques [université Claude Bernard LYON 1]. https://crnl.univ-lyon1.fr/files/documents/Theses/These_Johan_Poncelet_travail_17_final_30-09-2010.pdf
171. Porteous, J. D. (1985). Smellscape: *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 9(3), 356-78. <https://doi.org/10.1177/030913338500900303>
172. Quercia, D., Schifanella, R., Aiello, L. M., & McLean, K. (2015). Smelly Maps: The Digital Life of Urban Smellscapes. *ArXiv:1505.06851 [Cs]*. <http://arxiv.org/abs/1505.06851>
173. Ramel, M. (1996). Analyse physico-chimique des composés odorants. *"Eaux résiduaires traitements biologiques et physico-chimiques*, 147-152.
174. Ramel, M. (1993). *Caractérisation physicochimique des émissions d'odeurs—*

Une approche quantifiée du problème. Exemple d'une unité de compostage d'ordures ménagères. 12.

175. Ramel, M., Bloquel, M., Paillier, A., & Foray, J. P. (2000). Réduction des nuisances olfactives par pulvérisation de produits de désodorisation. *Pollution atmosphérique*, 166. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.3052>
176. Ramel, M., & Fischer, M. (1992). Nuisances olfactives en station d'épuration des eaux : Méthodologie de caractérisation des émissions. *Congre international de technologie et de recherche pour l'environnement, Bâle, 2*, 151-162.
177. Razafindrazka, H., Pereda, V., Ferdenzi, C., Ricaut, F. X., Letellier, T., Bensafi, M., & Pierron, D. (2016). Neuro-anthropologie de l'olfaction : Une approche évolutive. *La lettre des Neurosciences*, 50, 18-20.
178. Reisert, J., & Zhao, H. (2011). Response kinetics of olfactory receptor neurons and the implications in olfactory coding. *The Journal of General Physiology*, 138(3), 303-310. <https://doi.org/10.1085/jgp.201110645>
179. Riedel, S. (2005). Edward Jenner and the History of Smallpox and Vaccination. *Baylor University Medical Center Proceedings*, 18(1), 21-25. <https://doi.org/10.1080/08998280.2005.11928028>
180. Riesenmey, C. (2008). *Evaluation de l'impact d'un centre de stockage de déchets sur la qualité de l'air : Approche par méthodes statistiques et modélisation déterministe*. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.
181. Rognon, C., & Pourtier, L. (2001, juillet 10). *Mesurer les odeurs* (2001) [Text]. Ref : TIP800WEB - « Environnement » ; Editions T.I. | Techniques de l'Ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-environnement-tiag0/archive-1/mesurer-les-odeurs-g2940/>
182. Ronnett, G. V., & Moon, C. (2002). G Proteins and Olfactory Signal Transduction. *Annual Review of Physiology*, 64(1), 189-222. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.64.082701.102219>
183. Rosch, E. H. (1973). Natural categories. *Cognitive Psychology*, 4(3), 328-350. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90017-0)
184. Rosenstein, D., & Oster, H. (1988). Differential Facial Responses to Four Basic Tastes in Newborns. *Child Development*, 59(6), 1555-1568. <https://doi.org/10.2307/1130670>
185. Rospars, J.-P. (2010). Odour Transduction in Olfactory Receptor Neurons. *The Chinese Journal of Physiology*, 53(6), 364-372. <https://doi.org/10.4077/CJP.2010.AMM038>
186. Rotstein, M., Stolar, O., Uliel, S., Mandel, D., Mani, A., Dollberg, S., Reifen, R., Steiner, J. E., Harel, S., & Leitner, Y. (2015). Facial Expression in Response to Smell and Taste Stimuli in Small and Appropriate for Gestational Age Newborns. *Journal*

- of *Child Neurology*, 30(11), 1466-1471.
<https://doi.org/10.1177/0883073815570153>
187. Rouil, L. (2005). Modélisation de la dispersion des odeurs. *Journées techniques nationales "Pollutions olfactives des installations classées de l'évaluation de la gêne aux techniques de réduction*, 95-99.
188. Salesse, R., & Gervais, R. (Éds.). (2012). *Odorat et goût : De la neurobiologie des sens chimiques aux applications*. Éditions Quae.
189. Salesse, R., & Sanz, G. (2016). Récepteurs olfactifs des vertébrés. *La lettre des Neurosciences*, 50, 15-17.
190. Sardou, F. (2014). Fabrication industrielle de principes actifs pharmaceutiques par séparation chirale et racémisation compétitive mondiale par rapport aux voies de synthèse énantiosélective [Université de Lorraine]. http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_T_2014_SARDOU_FANNY.pdf
191. Schaal, B., & Candau, J. (2019). L'olfactilité sociale des humains : La science fluctuante d'un sens omniprésent. In *À vue de nez : Odorat et communication* (CNRS Éditions, p. 49-74).
192. Schirmer, W. N., Jucá, J. F. T., Schuler, A. R. P., Holanda, S., & Jesus, L. L. (2014). Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: Evaluation in refuse of different ages. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(2), 373-384. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002468>
193. Schmitt-Foudhil, H. (2010). *Météorologie de la couche limite atmosphérique*. http://cerea.enpc.fr/fich/support_cours/POLU1_2010-2011/cours_CLA_2_nov_2010_HSF_final.pdf
194. Scotto, C., & Fernandez, X. (2017). La pollution olfactive en environnement urbain : Cas particulier des odeurs des restaurants. *Pollution atmosphérique*, 234, 20. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6198>
195. Sevkan, R., Velings, N., & Jerkovic, V. (2013). Approche scientifique de l'univers des odeurs par la caractérisation de molécules odorantes. *Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels*, 27, 129-147.
196. Sicard, G., Chastrette, M., & Godinot, N. (1997). Des représentations de l'espace olfactif : Des récepteurs à la perception. *Intellectica*, 24(1), 85-107. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1548>
197. Silguy, C. de. (1996). *Histoire des hommes et de leurs ordures : Du Moyen Âge à nos jours*. Le Cherche midi.
198. Silver, W. L., Clapp, T. R., Stone, L. M., & Kinnamon, S. C. (2006). TRPV1 Receptors and Nasal Trigeminal Chemesthesis. *Chemical Senses*, 31(9), 807-812. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjl022>

199. Sinding, C. (2012). *Perception des mélanges d'odeurs : Étude comportementale et psychophysique chez le lapin nouveau-né et l'homme adulte* [Université de Bourgogne]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01124036/file/2012DIJOS113.pdf>
200. Slotnick, B. (2004). Olfaction in Olfactory Bulbectomized Rats. *Journal of Neuroscience*, 24(41), 9195-9200. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1936-04.2004>
201. Song, H. G., Young Kwon, J., Soo Han, H., Bae, Y. C., & Moon, C. (2008). First Contact to Odors: Our Current Knowledge about Odorant Receptor. *Sensors*, 8(10), 6303-6320. <https://doi.org/10.3390/s8106303>
202. Soussignan, R. (1997). Olfaction, réactivité hédonique et expressivité faciale chez l'enfant. *Enfance*, 50(1), 65-83. <https://doi.org/10.3406/enfan.1997.3047>
203. Steiner, J. E. (1979). Human Facial Expressions in Response to Taste and Smell Stimulation. *Advances in Child Development and Behavior*, 13, 257-295. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(08\)60349-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60349-3)
204. Stevens, J. C., & Dadarwala, A. D. (1993). Variability of olfactory threshold and its role in assessment of aging. *Perception & Psychophysics*, 54(3), 296-302. <https://doi.org/10.3758/BF03205264>
205. Stewart, J. R. (1997). Odeurs, cognition, transduction. *Intellectica. Revue de l'Association pour la Recherche Cognitive*, 25(2), 219-224. <https://doi.org/10.3406/intel.1997.1565>
206. Tenon, J. (1788). *Mémoires sur les hôpitaux de Paris, par M. Tenon* <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6275882s>
207. Thibaud, J-P., (resp. scientifique) *La ville à l'épreuve des sens*. Rapport d'HDR, Grenoble, UPMF, 2003
208. Tijou, A. (2007). *Contribution à l'intégration et à l'évaluation du retour olfactif en environnement virtuel*. Université d'Angers.
209. Vacon, G. L. (2006). Histoire de l'hygiène. *Séminaire DES de Santé Publique du 21/11/2006*. <https://docplayer.fr/3379915-Histoire-de-l-hygiene-seminaire-des-de-sante-publique-du-21-11-2006-gael-le-vacon-sources.html>
210. Venthur, H., & Zhou, J. J. (2018). Odorant Receptors and Odorant-Binding Proteins as Insect Pest Control Targets: A Comparative Analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 1163. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01163>
211. Vigneron, M. (2010) [https://sites.google.com/site/lesodeursetnotpsychisme/le-systeme-olfactif-et-les-proprietes-des-molecules-odorantes](https://sites.google.com/site/lesodeursetnotropsychisme/le-systeme-olfactif-et-les-proprietes-des-molecules-odorantes)
212. Vigneron, S., Hermia, J., & Chaouki, J. (1994). *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries*. https://books.google.com/books/about/Characterization_and_Control_of_Odour

s_a.html?hl=fr&id=_InU5xHsoKcC

213. Vito, S. D., Massera, E., Miglietta, M., Fattoruso, G., & Francia, G. D. (2015). Electronic Nose as an NDT Tool for Aerospace Industry. *Physics Procedia*, 62, 23-28. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.02.006>
214. Vito, S. D., Piga, M., Martinotto, L., & Francia, G. D. (2009). CO, NO₂ and NO_x urban pollution monitoring with on-field calibrated electronic nose by automatic bayesian regularization. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 143(1), 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.08.041>
215. Wathelet, O. (2009). *Anthropologie de la transmission des savoirs et savoir-faire sensoriels : Étude de cas : La transmission d'un patrimoine olfactif à l'intérieur de la famille*. Université de Nice - Sophia Antipolis.
216. Watts, S. (2004). Boucherie et hygiène à Paris au XVIIIe siècle. *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, 51-3(3), 79. <https://doi.org/10.3917/rhmc.513.0079>
217. Weiss, T., Soroka, T., Gorodisky, L., Shushan, S., Snitz, K., Weissgross, R., Furman-Haran, E., Dhollander, T., Sobel, N., (2020). Human Olfaction Without Apparent Olfactory Bulbs, *Neuron*. 2020 Jan 8;105-1-11. doi: 10.1016/j.neuron.2019.10.006
218. Wilson, A. D. (2015). Advances in Electronic-Nose Technologies for the Detection of Volatile Biomarker Metabolites in the Human Breath. *Metabolites*, 5(1), 140. <https://doi.org/10.3390/metabo5010140>
219. Wolton, D. (2016). *La voie des sens*. CNRS Éditions.
220. Wnuk, E. and Majid, A. (2014). Revisiting the limits of language: the odor lexicon of Maniq. *Cognition* 131, 125–138.
221. Wright, J. W., & Harding, J. W. (1982). Recovery of olfactory function after bilateral bulbectomy. *Science*, 216(4543), 322-324. <https://doi.org/10.1126/science.7063891>
222. Zarzo, M. (2015). A Sensory 3D Map of the Odor Description Space Derived from a Comparison of Numeric Odor Profile Databases. *Chemical Senses*, 40(5), 305-313. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjv012>
223. Zufall, F., Firestein, S., & Shepherd, G. M. (1991). Analysis of single cyclic nucleotide-gated channels in olfactory receptor cells. *The Journal of Neuroscience*, 11(11), 3573-3580. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.11-11-03573.1991>

Sites internet

1. Odotech.org
2. Groupe IRH environnement
3. Atmo-sud.org
4. <http://michael.ozanon.free.fr/Le%20nez%20Electronique.htm>
5. <http://www.vousnousils.fr/fiche-pedagogique/litterature-olfaction-dans-la-litterature>
6. <http://www.ineris.fr/centredoc/Microsoft Word Produits de desodorisation.pdf>
7. <http://andrefabre.e-monsite.com/pages/histoire-de-la-medecine/olfaction-et-litterature-1.html>
8. <https://www.csst.qc.ca/>

Table des figures

Figure 1. L'escalier (version n°1), savons de Marseille installation -2004 Galerie Le Rire Bleu, Figeac.....	27
Figure 2. Les IRMs des différents patients soumis à l'expérimentation.....	31
Figure 3. Le niveau de détection des odorants par les sujets.....	32
Figure 4. Égout romain (à Narbonne), d'une largeur de 0.70 m, sur 72 m de long, et une hauteur variante entre 1.30 et 1.80 m.	38
Figure 5. Extrait du dictionnaire de Trévoux 1771 (t. 4 p. 916).....	41
Figure 6. Les odeurs de Barcelone.	45
Figure 7. Les odeurs de Londres.	45
Figure 8. La circulation d'une molécule odorante.	47
Figure 9. La muqueuse olfactive.	48
Figure 10. Le bulbe olfactif.	49
Figure 11. Représentation schématique du mécanisme de transduction d'un récepteur olfactif.	52
Figure 12. Schéma illustrant la chimiotopie chez la souris.	53
Figure 13. L'effet des odeurs.	54
Figure 14. Sac Teflar.	62
Figure 15. Prélèvement d'une source canalisée.	63
Figure 16. Schéma d'une cloche munie d'une cheminée.....	64
Figure 17. Chambre de flux pour un prélèvement surfacique.....	65
Figure 18. Une seringue à gaz.....	65
Figure 19. Les différents types de mesures.....	66
Figure 20. Olfactomètre à dilution dynamique.....	72
Figure 21. Loi de puissance selon Stevens.....	74
Figure 22. La mesure de l'intensité d'une odeur par la méthode des équivalences olfactives.....	76
Figure 23. Les trois classes d'odeurs selon le Père Polycarpe Poncelet.	78
Figure 24. Cône de gêne tracé à partir de la direction et de la vitesse du vent.....	87
Figure 25. Échelle verbale précédée par une question « filtre ».....	88
Figure 26. Comparaison entre le fonctionnement d'un nez humain et un nez électronique.	95
Figure 27. Les 22 villes retenues dans la région Sud.....	108
Figure 28. Le nombre de plaintes par an dans la région Sud.....	110
Figure 29. Le nombre des plaintes dans quelques villes autour de l'Étang de Berre.....	111
Figure 30. Affiche d'une manifestation au Cannet-des-Maures contre Balançan.....	113
Figure 31. Le nombre de plaintes par an dans les communes du Cannet-des-Maures, du Luc et de Ventavon.....	114
Figure 32. Le nombre de plaintes par mois dans la région Sud.....	115
Figure 33. Le nombre de plaintes par mois à Ventavon et Vedène.....	116
Figure 34. Le nombre de plaintes par jour dans la région Sud.....	117
Figure 35. Le nombre de plaintes par jour à Martigues et à Gardanne.....	118

Figure 36. Le nombre des plaintes par heure dans la région Sud	119
Figure 37. Importation des données sous DEOGEOCODEUR	121
Figure 38. La localisation des plaintes dans la région Sud (2001-2016)	122
Figure 39. Les 500 mots les plus fréquents dans le <i>corpus</i> représentés sous la forme d'un nuage de mots.....	126
Figure 40. La fréquence relative pour les 5 termes revenant le plus souvent dans le corpus de plaintes entre 2001 et 2016	127
Figure 41. Les principales sources de nuisances olfactives dans nos 22 villes d'intérêt en région Sud.....	128
Figure 42. Le nombre de plaintes par secteurs.....	129
Figure 43. Le nombre de plaintes concernant les décharges, les centres de compostages et les incinérateurs dans la région Sud	131
Figure 44. Le nombre de plaintes par raffinerie	135
Figure 45. La localisation des stations météo les plus proches de nos 22 villes d'intérêt dans la région Sud.....	147
Figure 46. Le genre des plaignants.....	149
Figure 47. La durée de la gêne olfactive	151
Figure 48. Carte des plaintes et des sources d'odeurs à Chateaurenard	154
Figure 49. Carte topographique de Châteaurenard et transect topographique (NNE – SSW).....	154
Figure 50. Le niveau de gêne ressenti par le plaignant	157
Figure 51. Le nombre de plaintes par niveaux d'irritation	159
Figure 52. Le nombre de plaintes par symptômes	161
Figure 53. La localisation des nez actifs dans la région de sud en 2017 et 2018.....	163
Figure 54. Les 500 mots les plus fréquents dans le <i>corpus</i> représenté sous la forme d'un nuage de mots (les commentaires des jurés de nez)	174
Figure 55. Le réseau bayésien émerge des données par IA.....	181
Figure 56. Inversion des arcs.....	182
Figure 57. Affichage symétrique pour une meilleure lecture du réseau.....	183
Figure 58. Cartographie 3D du réseau bayésien.....	184
Figure 59. Le monitoring initial du réseau bayésien	187
Figure 60. Apprentissage supervisé de type architecture naïve sur le nœud cible « gêne »	188
Figure 61. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « gêne »	189
Figure 62. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « source » catégorie 1	190
Figure 63. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « source » catégorie 6	190
Figure 64. Apprentissage supervisé de type architecture naïve sur le nœud cible « vitesse du vent, vv ».....	193
Figure 65. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « vitesse du vent, vv » et pour des vents faibles (<3,575m/s).....	194
Figure 66. Le monitoring du réseau bayésien sur le nœud cible « vitesse du vent, vv » pour des vents modérés (6,227m/s).....	195
Figure 67. Le <i>plugin time manager</i>	197

Table des tableaux

Tableau 1. Exemples d'énantiomères ayant des odeurs différentes	36
Tableau 2. Les principales sources d'odeur	57
Tableau 3. La concentration en mg/m ³ de quelques composés émis lors de fermentations anaérobies d'ordures ménagères	58
Tableau 4. Adsorbants utilisés pour le piégeage de molécules odorantes	60
Tableau 5. Exemples de solutions de barbotage pour l'absorption de famille de composés odorants	61
Tableau 6. Les différentes normes européennes pour la mesure des odeurs et des composants odorants.....	68
Tableau 7. Caractéristiques de deux types d'olfactométrie	69
Tableau 8. Les 10 classes d'odeurs	80
Tableau 9. Les 10 classes d'odeurs	81
Tableau 10. Les différents types de modèles de dispersions	86
Tableau 11. Nombre de plaintes par niveau de gêne.....	89
Tableau 12. Les composés odorants sources de nuisances olfactives	93
Tableau 13. Récapitulatif des textes applicables en fonction du type d'activité	101
Tableau 14. La distance entre des tiers et la source selon le niveau de l'odeur	102
Tableau 15. Le débit d'odeur maximum conseillé en fonction de la hauteur d'émission	103
Tableau 16. Les réglementations dans différents pays européens et nord-américains	105
Tableau 17. Les 22 villes retenues dans la région Sud.....	108
Tableau 18. Le niveau de gêne et les symptômes irritatifs des plaignants après l'incident de Berre-L'Etang (entre le 14 juillet et le 31 juillet, à Rognac)	112
Tableau 19. Le nombre de plaignants dans les 22 villes retenues.	120
Tableau 20. Les mots les plus fréquemment rapportés dans le corpus des remarques des plaignants	125
Tableau 21. Les autres industries	141
Tableau 22. Les sources secondaires	145
Tableau 23. Les stations météo les plus proches de nos 22 villes d'intérêt dans la région Sud	147
Tableau 24. Le fonctionnement des stations météo entre 2000 et 2018	148
Tableau 25. La différence de niveau de gêne entre les femmes et les hommes	150
Tableau 26. La différence de symptôme d'irritation entre les femmes et les hommes	150
Tableau 27. Le nombre des plaintes par classe de vitesse des vents "quelques heures"	152
Tableau 28. Le nombre de plaintes par classe de vitesse des vents « plusieurs jours ».....	152
Tableau 29. Le nombre des plaintes par classe de vitesse des vents « 1-2 jours ».....	152
Tableau 30. Le nombre des plaintes par classe de vitesse des vents "moins d'une heure" .	153
Tableau 31. Evaluation du nombre de jury de nez par département entre 2006 et 2018 ...	179
Tableau 32. L'origine des odorants.....	179
Tableau 33. Les catégories d'odorants.....	180
Tableau 34. La durée de la gêne.....	180

Table des vidéos

La vidéo annuelle de 2003 à 2016 (durée 18 s.)	198
La vidéo mensuelle (durée 3 mn 65 s.)	198
La vidéo journalière (durée 1 h 23 mn 49 s.)	198
La vidéo annuelle des plaintes de 2003 à 2016 selon les catégories d'odeurs.....	199
La vidéo mensuelle des plaintes de 2003 à 2016 selon les catégories d'odeurs.....	199
La vidéo journalière des plaintes de 2003 à 2016 selon les catégories d'odeurs.....	199

Index des lieux

A

Aix-en-Provence	14,112, 123, 146, 148
Alpes de Haute-Provence	163
Alpes-Maritimes	113, 122, 133, 141, 163
Avignon	14, 122, 146, 148

B

Bouches-du-Rhône	14, 15, 107, 146, 162, 163, 198
------------------	---------------------------------

C

Cannes	147, 148
Cannet-des-Maures (Le)	113, 114, 120, 123, 126, 203
Carros	157
Châteauneuf-les-Martigues	107, 120, 132, 146, 148, 199,
Chateaufort	107, 115, 119, 120, 122, 124, 146, 148, 154, 199, 200, 202, 232

E

Ensuès-la-Redonne	115, 132, 142, 144,148, 199, 234, 239
Entraigues	108, 133, 147, 148, 198, 199, 236, 241

F

Fos-sur-Mer	86, 115, 120, 134, 140, 146, 148, 200, 202, 236
-------------	---

G

Gardanne	107, 117, 118, 120, 122, 124, 125, 129, 132, 140, 141, 143, 144, 146, 148, 200, 233, 234, 238
Grasse	22, 27, 108, 120, 123, 140, 142, 147, 148, 198, 199, 200, 239, 241, 242

H

Hautes-Alpes	108, 147, 163
--------------	---------------

L

Mède (La)	134, 136, 159, 239
Lançon-de-Provence	120, 130, 140, 148,199, 200, 236, 242
Lavera	115, 135, 236, 238, 239
Luc	107, 113, 114, 120, 123, 147, 148, 198, 199, 242

M

Marseille 14, 27, 28, 107, 120, 122, 134, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 148, 155, 161, 198, 199, 204, 232, 235, 237, 240, 243

Martigues -----4, 86, 107, 115, 117, 118, 119, 120, 122, 134, 135, 136, 139, 148, 155, 199, 200, 202, 242, 243

N

Nice ----- 14, 34, 82, 122, 160

P

Pontet (Le) -----107, 120, 147, 148, 191, 198, 202

Port-de-Bouc -----107, 115, 120, 140, 146, 148, 156, 160, 200, 202, 238, 241

R

région Sud----- 14, 15, 106, 107, 108, 109, 110, 116, 118, 120, 123, 124, 130, 132, 133, 142

Rognac ----- 107, 112, 113, 120, 132, 136, 140, 141, 144, 146, 148, 203, 232, 235, 239, 242

Rouret (le)----- 160

S

Saint-Saturnin -----107, 120, 133, 148, 147, 198, 236, 242

Sausset-les-Pins-----120, 130

Septèmes-les-Vallons-----140, 236

Sorgues ----- 107, 120, 147, 202, 235

T

Tallard-----147, 149

Tarascon----- 107, 120, 124, 131, 136, 140, 144, 146, 148, 202, 238, 240, 242

Toulon-----14

V

Vaucluse ----- 107, 147, 163

Vedène-----107, 116, 117, 120, 124, 142, 147, 236

Venelles----- 161

Ventavon ----- 108, 114, 116, 120, 123, 147, 152, 202, 234

Vitrolles-----107, 112, 120, 124, 133, 144, 146, 161, 235, 236, 240, 242

Annexe 1

. Les catégories d'odeurs selon les sources émettrices

Source	Nombre de plaintes	Types d'odeurs évoqués dans le <i>Corpus par le plaignant</i>	Catégories
Activité de mûrissement des bananes	1	<i>Butane (1)</i>	Gaz
Apples composites	6	<i>Solvants (5)</i>	Chimique
ARKEMA	9	<i>Soude (2) ; benzène (1) ; chlore (2) ; d'ammoniac (1) ; ricin (1)</i>	Cl, NH3
Boulodrome de Sainte Sophie	1	<i>Brulé (1)</i>	Brûlé
Centrale à bitume (Lançon)	25	<i>Bitume (30) ; d'enrobé (4) ; goudron (4) ; bitume (1) ; compostage (1)</i>	Hydrocarbures
Centre des déchets urbains quartiers Nord	18	<i>Déchets (9) ; ménagères (5) ; d'ordures (4) ; ordures (3) ; putréfaction (2) ; décomposition (1)</i>	Biologique
Eusacolor	80	<i>Poisson (29) ; surimi (19) ; pourri (12) ; poissons (8) ; crabe (4) ; chimiques (2) ; décomposition (2) ; acétone (1) ; acétone (1) ; bromure (1) ; brûlé (1) ; champignons (1) ; choux fleur (1)</i>	Biologique
Fabriquant de piscines	10	<i>Solvant (9)</i>	Chimique
Fourrière municipale	1	<i>NR</i>	NR
Kerry	45	<i>Chimiques (1) ; décomposition (1) ; désagréable (1) ; parfumerie (1) ; pue (1) ; résidu (1)</i>	Chimique

Société SE.RA.HU	2	<i>Déchets industriels (1) ; huiles (1)</i>	Chimique
Laboratoire BOUCHEY	1	NR	NR
Lafarge Marseille	37	<i>Bitume (12) ; d'hydrocarbures (10) ; goudron (9) ; pétrole (4) ; brûlé (2) ; d'essence (2) ; infection (2) ; pique (2) ; plastique (2) ; bitume (1) ; carburant (1) ; chimique (1) ; combustible (1) ; d'enrobé (1) ; d'enrobée (1) ; enrobés (1) ; gaz (1) ; goudronnage (1) ;</i>	Hydrocarbures
Legré Mante (Marseille)	20	<i>Chimique (9) ; café (3) ; poussière (3) ; aigre (2) ; fumée (2) ; acide (1) ; acre (1) ; d'acide (1) ; d'ammoniac (1) ; fumées (1) ;</i>	Chimique
Malespine	894	<i>Gaz (326) ; biogaz (163) ; d'œuf (59) ; parfumer (34) ; déchets (68)</i>	Gaz
Mane	8	<i>Parfums (3) ; caramel (1)</i>	Chimique
ORTEC	360	<i>Poubelles (58) ; compost (48) ; compostage (35) ; boue (34) ; fermentation (23) ; boues (19) ; mercaptans (14) ; biogaz (13) ; déchets (13) ; putréfaction (12) ; pourriture (9) ; d'ordures (8) ; chimique (7) ; d'excréments (6) ; décomposition (6)</i>	Biologique
Pressing	1	NR	NR
Samat (Rognac)	7	<i>Gaz (1)</i>	Gaz
SATR (Marseille)	11	<i>D'hydrocarbures (5) ; goudron (4) ; d'enrobé (2) ; goudronnage (2) ; d'enrobée (1) ; d'hydrocarbure (1)</i>	Hydrocarbures
Sotreco (Chateaubrenard)	1925	<i>Compost (349) ; pourriture (208) ; putréfaction (169) ; écœurante (148) ; fermentation (134) ; cadavres (106) ;</i>	Biologique

		décomposition (67) ; cadavérique (65) ; d'excréments (63) ; poubelles (56) ; pourri (48) ; fumier (46) ; merde (46) ; fécale (44) ; cadavre (37) ; lisier (35) ; acide (33) ; nauséabonde (32) ; puanteur (30) ; fosse (26) ; septique (24) ; fécales (21)	
TPA	60	D'hydrocarbures (2) ; H2S (2) ; œufs (2) ; poisson (2) ; pourris (2) ; charbon (1) ; déchets (1) décomposition (1)	Soufre
Usine des produits pour l'agriculture	2	Soufre (1)	Soufre
VEOLIA	2	Chlore (1)	Cl, NH3
Abattoir-tara	6	NR	NR
Aéroport	6	Kérosène (6) ; No (1) ; NO2 (1) ; pneus (1)	Hydrocarbures
AFINE	1	Poussière (1)	NR
Agricole	24	Fumier (3) ; boues (2) ; brûlé (2) ; chimique (2) ; épandage (2) ; compostage (1) ; d'épuration (1) ; d'excrément (1)	Biologique
Albe marle	4	Chlore (2) ; chimical (1) ; gaz (1)	Cl, NH3
Alteo (Gardanne)	4	Poussières (1)	NR
Arcelor (Fos/Mer)	88	Gaz (20) ; cokerie (18) ; fumées (7) ; charbon (5) ; brûlé (4) ; mittal (4) ; poussières (4) ; brûlé (3) ; fumée (3) ; soufre (3)	Brûlé
Atelier	1	Forte (2) ; solvant (1)	Chimique
Azur chimie	1	Brûle (1)	Brûlé

Balaçan (Le Cannet-des-Maures)	767	<i>Poubelles (218) ; déchets (51) ; pourriture (50) ; gaz (45) ; fermentation (21) ; décomposition (17) ; poubelle (17) ; méthane (13) ; pestilentielle (13) ; d'épuration (9) ; d'œuf (9) ; solvants (9)</i>	Biologique
Barraco (Gardanne)	1	<i>NR</i>	NR
Beynon (Ventavon)	320	<i>Gaz (171) ; poubelles (120) ; décomposition (28) ; fermentation (26) ; déchets (19) ; pourriture (7) ; ménagères (4) ; pourri (4) ; puanteur (4) ; biogaz (3) ; d'œuf (3) ;</i>	Biologique
BG Tradition-snack-Rognac	1	<i>Friture (1)</i>	Brûlé
Biotechnie (Ensuès-la-Redonne)	1784	<i>Fermentation (264) ; merde (180) ; compost (127) ; d'excrément (108) ; pourriture (99) ; andains (95) ; fosse (83) ; pourri (81) ; vent (74) ; septique (68) ; d'urine (53) ; d'excréments (46) ; fumier (46) ; parfum (46) ; d'andain (40) ; fécale (38) ; d'excréments (28) ; décomposition (25) ; gaz (25) ;</i>	Biologique
Boîte de nuit	1	<i>Tabac (1)</i>	Brûlé
Boulangerie	1	<i>Mazout (1)</i>	Hydrocarbures
Brûlage	126	<i>Brûlage (38) ; brûlé (34) ; déchets (20) ; plastique (16) ; fumée (9) ; brûlés (8) ; fumées (8) ; brulage (7) ; âcre (5) ; feuilles (5) ; vent (5) ; brûlées (4) ; cendres (4) ; d'incinération (4) ; brulé (3) ; brulées (3) ; brûlages (3) ; brûler (3) ; enfumé (3) ; cadavérique (2)</i>	Brûlé
Butagaz	18	<i>Gaz (11) ; butane (3) ; propane (1)</i>	Gaz
Caoutchouc brûlé	13	<i>Brûlé (12) ; caoutchouc (12)</i>	Brûlé

Carrosserie	7	Peinture (7) ; d'acétone (1)	Chimique
Alex Automobile-carrosserie	19	Forte (11) ; peinture (10) ; solvant (10) ; fumée (3) ; peintures (2) ; d'acétone (1) ; fumées (1) ; infecte (1) ; vernie (1)	Chimique
Casse auto ferrailles	1	D'essence (1)	Hydrocarbures
CEREXAGRI	12	Gaz (2) ; gazs (2)	Gaz
Centre d'enfouissement technique (Entraigues)	866	Déchets (103) ; gaz (97) ; fermentation (94) ; poubelles (90) ; boues (49) ; d'ordures (37) ; ménagères (36) ; poubelle (33) ; pourriture (25) ; fermentés (23) ; biogaz (22) ; ménagers (16) ; acide (11) ; méthane (11)	Biologique
Chantier	5	Fumées (1) ; l'œuf pourri (1) ; plastiques (1)	Brûlé
Charabot	4	Chimiques (1) ; d'égout (1)	Chimique
Cheminée	13	Fuel (8) ; fumée (2) ; brûlé (1)	Hydrocarbures
Circulation	34	D'échappement (6) ; gaz (6) ; carburant (2) ; d'essence (2) ; d'hydrocarbure (2) ; soufre (2) ; acide (1)	Hydrocarbures
Clean13 (Rognac)	23	Acide (2) ; âcre (2) ; chimiques (1) ; d'acétone (1) ; gaz (1) ;	Chimique
Colas midi (Vitrolles)	4	Goudron (2) ; huile de ricin (1) ; huile végétale (1)	Chimique
Compagnie des Détergents et des Savons de Marseille (CDSM)	12	Fumées (8) ; savons (5) ; acides (1) ; d'acide (1) ; gras (1)	Chimique
Continental N (Entraigues-sur-Sorgues)	41	Égout (3) ; charogne (2) ; pourriture (2) ; asphyxie égouts (1)	Biologique

Décharge de Septèmes les Vallons	11	<i>Gaz (3) ; pourris (2) ; propane (2) ; œufs (2) ; brûlures (1) ; chlore (1) ; d'engrais (1) ; déchets (1) ; javel (1) ; méthane (1)</i>	Gaz
Décharge Arbois (Vitrolles)	575	<i>Poubelles (255) ; biogaz (48) ; déchets (38) ; lixiviat (38) ; ménagères (34) ; d'ordures (32) ; poubelle (24) ; ménagers (17) ; décomposition (11) ; pourri (10) ; fermentation (9) ; d'excréments (7) ; gaz (7) ; impossible (7) ; pourriture (7) ; rance (7) ; chimique (6)</i>	Biologique
Déchetterie d'Istres La Bayanne	4	<i>Brûlé (4) ; âcre (1) ; compost (1) ; désagréable (1) ; poubelles (1)</i>	Brûlé
Déchetterie Entraigues	4	<i>Déchets (1) ; forte (1) ; macération (1) ;</i>	Biologique
Déchetterie (Lançon-de-Provence)	3	<i>D'ordures (1) ; écœurante (1) ; écœurantes (1) ; irritante (1) ; poubelles (1) ; pourri (1) ; pourriture (1) ;</i>	Biologique
Déchetterie (Saint-Saturnin-les-Avignon)	8	<i>Méthane (1) ; nauséabonde (1) ; poubelles (1)</i>	Gaz
Déchetterie (Vitrolles)	4	<i>Poubelles (2) ;</i>	Biologique
Demeo (Vitrolles)	4	<i>Déchets (5) ; plastique (3) ; plastiques (2) ; brûlé (1) ; fumée (1) ; fumées (1) ;</i>	Brûlé
DJ Pal (Vedène)	2	<i>Brulage des palettes</i>	Brûlé
Dépôt de pétrole (Fos-sur-Mer)	25	<i>Soufrée (5) ; grésil (4) ; soufre (3) ; caoutchouc (2) ; d'œuf (2) ; pétrole (2) ; brulé (1) ; brûlé (1) ; d'hydrocarbure (1) ; d'hydrocarbures (1) ; gasoil (1) ; gaz (1) ; grésil (1) ; purin (1) ;</i>	Soufre
Ecoval (Beaucaire)	17	<i>Poubelles (11) ; aigre (4) ; d'ordures (4) ; ménagères (4) ; acre (1) ;</i>	Biologique
EDF (Lavera)	3	<i>Gaz (3) ; d'ail (2) ;</i>	Gaz

Égout	79	<i>D'égout (19) ; d'égouts (18) ; égouts (7) ; l'égout (5) ; composite (4) ; solvants (4) ; d'égout (3) ; d'excrément (3) ; égout (3) ; gaz (3) ; h2s (3)</i>	Biologique
Entreprise Uni Mer (Marseille)	1	<i>Poisson pourri (1)</i>	Biologique
Esso (Fos-sur-Mer)	398	<i>Gaz (59) ; soufre (44) ; d'hydrocarbures (37) ; pétrole (31) ; d'œuf (30) ; gasoil (14) ; brûlé (13) ; fumées (13) ; soufrée (13) ; d'essence (11) ; fumée (11) ; grésil (11) ; chimique (7) ; plastique (6) ; fioul (5)</i>	Hydrocarbures
Étang de Berre	24	<i>Vase (12) ; d'algues (5) ; putréfaction (3) ; algues (1) ; d'égout (1) ; d'épuration (1) ; excrément (1) ; fosse (1) ; septique (1) ; soufre (1)</i>	Biologique
EURENCO	1	<i>Acides (1) ; soude (1)</i>	Chimique
Eurolink defense SIPR	23	<i>Âcres (3) ; fumées (2) ; soufre (1) ; huile brûlé (1)</i>	Chimique
Evere	121	<i>Poubelles (42) ; déchets (30) ; chimique (8) ; acide (5) ; d'ordures (5) ; plastique (5) ; acre (4) ; brûlé (4) ; brûlées (4) ; chimiques (4) ; brûlés (3) ; d'engrais (2) ; déchets (2)</i>	Biologique
Fibre excellence	624	<i>Cellulose (126) ; soufrée (74) ; chou (47) ; choux (44) ; (33) ; pourri (32) ; soufre (21) ; fumée (12) ; compost (7)</i>	Cellulose
Fientes de pigeons	1	<i>Désagréables (1)</i>	NR
Garage	6	<i>NR</i>	NR
Hammam	1	<i>NR</i>	NR

IMMUNOTECH	2	NR	NR
Imprimerie	1	Solvant (1) ; acétone (1)	Chimique
Imprimerie Rockso	1	Fumées (1)	NR
Incinérateur (Lançon)	1	D'acide (1) ; d'œuf pourri (1)	Chimique
Ineos	7	D'h2s (3) ; brûlé (1) ; d'hydrocarbures (1) ; gaz (1) ; infecte (1) ; nauséabonde (1)	Soufre
JCG Environnement	26	Pourriture (3) ; brûlage (1) ; brûler (1) ; d'oeuf (1) ;	Brûlé
Centrale thermique (Gardanne)	40	Gaz (1) ; biogaz (1) ; acre (1)	Gaz
Société EGC (Tarascon)	1	Brûlé (1)	Brûlé
Lafarge (Port-de-Bouc)	7	Fumées (3) ; âcre (1) ; fumées (1) ; poussières (1)	NR
Lavera	2125	Gaz (484) ; hydrocarbures (185) ; pourri (155) ; soufre (145) ; fumées (136) ; œuf (103) ; pétrole (102) ; pétrochimique (92) ; brûlé (69) ; chimique (62) ; essence (58) ; gasoil (56) ; essence (54) ; fioul (40) ; naphta (39) ; S02 (35) ; fumée (34) ; chimiques (31) ; chlore (31)	Hydrocarbures
L'école d'art plastique (Gardanne)	1	Soude (1)	Chimique
L'usine de compostage de Gignac	2	Fortes (1) ; putréfaction (1)	Biologique
Lyondell	554	Gaz (114) ; d'hydrocarbures (81) ; pétrole (35) ; brûlés (30) ; chimique (26) ; chimiques (25) ; pneus (23) ; soufre (22) ; brûlé (14) ; fioul pourri (14) ; gasoil (13) ; d'hydrocarbure (12)	Hydrocarbures

Maison de café (Chateaubrenard)	6	Café (7) ; grillé (5) ; (1) ; torréfaction (1)	Brûlé
Restaurant (Rognac)	1	Poisson grillé (1)	Brûlé
McDonald Rognac	1	Fritures (1)	Brûlé
Mède	422	Gaz (98) ; hydrocarbures (42) ; pourri (41) ; soufre (37) ; œuf (30) ; pétrole (30) ; brûlé (13) ; chimique (12) ; gasoil (9) ; brûlés (8) ; hydrocarbure (7) ; fumée (6)	Hydrocarbures
Mer Ensues-la-Redonne	1	Putréfaction (1)	Biologique
Naphta (lavera)	210	naphta (38) ; gaz (34) ; pourri (18) ; nauséabonde (15) ; soufre (12) ; brûlée (11) ; d'huile (11) ; d'œuf (11) ; désagréable (10) ; d'hydrocarbures (8) ; brûlé (7) ; gasoil (6) ; écœurante (5) ; chimique (4) ; d'hydrocarbure (4) ; l'huile (4) ; peinture (4) ; pétrole (4) ; puanteur (4) ; so2 (4) ; souffre (4) ; chimiques (3) ; chlore (3)	Hydrocarbures
Oredui (Grasse)	4	NR	NR
Orgasynth (Grasse)	2	Fumé (1)	NR
Papeterie GROMELLE	2	NR	NR
Parking (Marseille)	10	D'échappement (1) ; gaz (1)	Gaz
Plastique brûlé	67	Plastique (62) ; brûlé (48) ; brulé (6) ; caoutchouc (5) ; brûlés (3) ; plastiques (3) ; brulage (2) ; pneu (2) ; acre (1) ; brules (1) ; brulés (1) ; brûlage (1) ; brûlure (1) ; charbons (1)	Brûlé

Pneu brûlé	14	<i>Pneus (9) ; brûlés (8) ; pneu (5) ; brûlé (4) ; écoeurante (2) ; brulé (1) ; brulée (1) ; brûlés nuages (1)</i>	Brûlé
Port (Marseille)	7	<i>D'hydrocarbures (2) ; d'hydrocarbures (1)</i>	Hydrocarbures
Port-Saumaty (Marseille)	10	<i>Poissons (7) ; poisson (4) ; pourris (4) ; ordures (3) viande (2) ; décomposition (1) ; nauséabonde (1) ; pourri (1) ; pourrie (1) ; pourriture (1) ; putréfactions (1)</i>	Biologique
Poubelles	11	<i>Poubelles (11) ; d'ordures (2) ; composite (1) ; d'ordure (1) ; derniers (1) ; déchets (1) ; décomposition (1) ; fermentés (1)</i>	Biologique
PROFER (Marseille)	8	<i>Fumées (6) ; brûlé (3) ; plastique (3) ; l'essence (2) ; brûlage (1) ; déchets (1)</i>	Brûlé
Provence tomate (Tarascon)	14	<i>Pourri (2) ; putride (1) ; soufrées (1) ; supportable (1)</i>	Soufre
Restaurant	11	<i>Barbecue (1) ; frit (1) ; frites (1) ; fumée (1) ; grillades (1)</i>	Brûlé
Rue sale	2	<i>Déjections (2) ; urines (1)</i>	Biologique
SAMAN Vitrolles	1	<i>Odeur d'olives (1)</i>	Biologique
Sede (Tarascon)	296	<i>Compost (83) ; fosse (29) ; septique (28) ; d'excréments (23) ; boues (19) ; fumier (15) ; engrais (13) ; chou (12) ; fécale (12) ; choux (10) ; pourriture (10) ; compostage (9) ; d'engrais (8) ; fermentation (8) ; acide (7) ; d'excrément (7) ; fécales (7) ; d'épuration (6) ; décomposition (5) ; boue (4) ; poubelles (4) ; putréfaction (4)</i>	Biologique

SIDOMRA	8	<i>L'incinérateur (2) ; brulé (1) ; brûlé (1) ; chimie (1) ; déchets (1) ; dérangement (1) ; diesel (1) ; engrais (1) ; fermentes irritantes (1)</i>	Brûlé
SMA	94	<i>Poubelles (36) ; déchets (11) ; d'ordures (10) ; ménagères (10) ; ménagers (9) ; biogaz (5) ; mercaptans (4) ; putréfaction (4) ; compost (2)</i>	Biologique
Solamat	38	<i>Gasoil (4) ; chimique (3) ; fumée (3) ; gaz (3) ; brûlé (2) ; acide (1) ; acré (1) ; brûlages (1) ; butane (1) ; chair brûlé (1) ; chlore (1) ; d'œuf (1) ; éther (1)</i>	Chimique
SOPREMA	883	<i>Gaz (36) ; acides (29) ; butane (1)</i>	Gaz
Sormiou	1	NR	NR
SPB	20	<i>Bitume (7) ; brûlé (3) ; cadavérique (1) ; gasoil (1) ; pétrole (1) ; pique (1) ; pourriture (1)</i>	Hydrocarbures
Spse	1	<i>Chimique (2) ; brûlé (1)</i>	Chimique
Station-Service Port-de-Bouc	1	<i>D'essence (1)</i>	Hydrocarbures
Station-Service Grasse	1	NR	NR
Station d'épuration Chateaubert	1	NR	NR
Station d'épuration Ensues	9	<i>D'andain (1) ; d'eaux (1) ; écœurante (1) ; fosse (1) ; mauvaises (1) ; pourri (1) ; putréfaction (1) ; septique (1)</i>	Biologique
Station d'épuration Entraigues	4	<i>Boues (2) ; Boue (2)</i>	Biologique
Station d'épuration Gardanne	1	NR	NR

Station d'épuration Grasse	6	<i>Usées (3) ; eaux (2) ; d'eaux (1) ; parfum (1) ; parfumeurs (1)</i>	Biologique
Station d'épuration Lançon-de-Provence	36	<i>Compostage (24) ; fécales (22) ; fermentation (16) ; boues (10) ; irritantes (5) ; nauséabondes (5) ; boue (4) ; forte (4) ; fumier (3) ; désagréable (2) ; écœurante (2) ; d'excréments (1) ; d'égouts (1) ; eaux (1) ; fermentation (1) ; fermentations (1)</i>	Biologique
Station d'épuration (le Luc)	1	NR	NR
Station d'épuration (Martigues)	6	NR	NR
Station d'épuration (Marseille)	12	<i>Acre (2) ; d'hydrocarbure (2) ; d'hydrocarbures (2)</i>	Hydrocarbures
Station d'épuration (Rognac)	47	<i>écœurante (9) ; fosse (9) ; septique (8) ; d'excréments (6) ; d'égout (4) ; d'excrément (3) ; nauséabonde (3) ; d'égouts (2) ; fécale (2) ; agréable (1) ; charogne (1)</i>	Biologique
Station d'épuration (Saint-Saturnin-les-Avignon)	1	<i>Brûler (1)</i>	Brûlé
Station d'épuration (Sausset-les-Pins)	23	<i>écœurante (2) ; fermentation (2) ; fermentées (2) ; puante (2) ; âcre (1) ; boues (1) ; chlore (1)</i>	Biologique
Station d'épuration (Tarascon)	12	<i>Boues (2) ; épandage (1) ; forte (1) ; fortes (1) ; gênante (1) ; infectes (1) ; nauséabond (1)</i>	Biologique
Station d'épuration (Vitrolles)	1	NR	NR
Travaux de voirie	1	<i>Goudron (1)</i>	Hydrocarbures

Usine HEINEKEN (Marseille)	1	<i>Fumées (1)</i>	NR
Vallon fou (Martigues)	30	<i>forte (14) ; d'excréments (4) ; déchets (4) ; fortes (3) ; fumier (3) ; poubelles (3) ; terreau (3) ; aigre (2) ; désagréable (2) ; acides (1) ; alvéole (1) ; brulent (1) ; brûlé (1) ; (1) ; d'excrément (1) ; d'excréments (1) ; d'olive (1) ; d'ordures (1) ; déchets (1) ; déclare (1) ; désagréables (1) ; écurie (1) ; égouts (1) ; gasoil (1) ; gaz (1)</i>	Biologique
Voisin	5	<i>Barbecue (1) ; d'eau (1) ; d'égout (1) ; fosse (1)</i>	Biologique
NR (avec commentaire)	536	<i>Gaz (18) ; chimique (14) ; soufre (9) ; chlore (8) ; d'hydrocarbures (6) ; d'œuf (7) ; goudron (6) ; pétrole (5) ; poubelle (5) ; cellulose (4) ; chou (4) ; choux (4) ; d'ail (4) ; d'essence (4) ; gasoil (4) ; mazout (4) ; d'urine (3) ; déchet (3) ; souffre (3) ; d'excrément (2) ; engrais (2) ; fécale (2) fumier (2) ; parfum-s- (4)</i>	Biologique
NR (sans commentaire)	1 156	<i>NR</i>	NR
	16 477		

Annexe 2

. Détails d'une plainte, site SRO AtmoSud

Signaler une gêne

Vous êtes gêné par une odeur désagréable et vous souhaitez nous le signaler. Il vous suffit de compléter le formulaire ci-dessous et de nous l'envoyer.

Votre signalement sera enregistré, comptabilisé et analysé par la Surveillance régionale des odeurs.

Les odeurs gênantes sont une nuisance mais ne présentent pas généralement pas de risque pour la santé. Toutefois, si celles-ci se répètent ou présentent des caractéristiques inhabituelles, elles seront signalées à la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE), qui pourra ordonner une enquête si nécessaire.

Si vous souhaitez participer à la Surveillance régionale des odeurs en devenant « nez bénévole », vous pouvez vous inscrire sur ce site, rubrique « [inscription nez bénévole](#) ».

Lieu et date de la gêne

(* obligatoire)

Numéro	<input type="text"/>	Voie*	<input type="text"/>
Code postal*	<input type="text"/>	Commune*	Choisir <input type="button" value="v"/>
Date (jj-mm-aaaa)*	09-06-2020 <input type="button" value="📅"/>	Heure (hh:mm)*	<input type="text"/>

La gêne

Type	Odeur <input type="button" value="v"/>	Gêne*	Géné <input type="button" value="v"/>
Durée	Quelques heures <input type="button" value="v"/>	Origine	Industrie <input type="button" value="v"/>
Symptôme	Toux Crise d'asthme Autres (indiquer le symptôme dans le commentaire) <input type="button" value="v"/>	Apparement (odeur)	<input type="button" value="v"/>
Remarque *	<input type="text"/>		

** Texte sujet à modération par AtmoSud. ATTENTION : Pas de propos injurieux. Pas de nom, n° de tél ou tout autre élément d'identité personnelle.*

Cryptogramme visuel *  *Majuscules et minuscules sont obligatoires. Vous pouvez choisir un autre cryptogramme en cliquant sur l'image*

Le plaignant

(Information confidentielle facultative)

Genre	Mme <input type="button" value="v"/>	Nom	<input type="text"/>	Prénom	<input type="text"/>
Adresse	<input type="text"/>				
CP	<input type="text"/>	Ville	<input type="text"/>		
Email	<input type="text"/>				

Vous pouvez accéder, modifier, rectifier et supprimer des informations qui vous concernent (loi Informatique et Libertés 6/01/1978) en contactant [le réseau de surveillance de la qualité de l'air](#) qui abrite ce site.

Annexe 3

. Fiche d'observations olfactives des jurés de nez

Mémo pratique pour remplir les fiches d'observations olfactives

IMPORTANT : ne remplir la fiche que si vous faites une observation. Il est nécessaire de renseigner tous les champs de la fiche d'observations olfactives, y compris les commentaires au verso.

1 Périodes de perception

Précisez l'heure d'observation en cochant une seule case par tranche horaire. Selon votre disponibilité, vous réalisez d'une à quatre observations par jour.

lundi ...	3	X	5	6	7
	8	9	10	X	12
	13	14	X	16	17
	X	19	20	21	22

2 Qualification de la gêne olfactive

Quelle que soit votre réponse, elle est unique. Une seule odeur par tranche horaire.

-  pas d'odeur
-  odeur pas gênante
odeur ne gênant pas vos activités
-  odeur peu gênante
odeur supportable
-  odeur gênante
odeur gênant vos activités (déjeuner, sommeil...)
-  odeur très gênante
odeur polarisant l'esprit

3 Origine probable de l'odeur

Plusieurs origines probables vous sont proposées. Un seul choix par tranche horaire. Vous pouvez cocher « autre » si aucune des origines proposées ne correspond à votre choix.

4 Exemples de comparaison

Alcool	Fécale	Paraffine
Amande	Fermentation	Peinture
Ammoniac	Foin	Pétrole
Bougie	Fritures	Plastique brûlé
Brûlé	Fumier	Pneu brûlé
Cadavérique	Gasoil	Poisson
Café	Gaz	Poubelles
Caoutchouc	Graisse	Putréfaction
Champignon	Grésil	PVC
Chèvre	Grillade	Savon
Chocolat	Huile brûlée	Solvant
Citronnée	Kérosène	Tabac
Conifère	Laine mouillée	Terre
Cuir	Lisier	Urine
Eau stagnante	Marais	Vanille
Égout	Métallique	Vernis
Élevage	Moisissure	Vinaigre
Épicée	Œuf pourri	Xylophène
Éther		

5 Qualification de l'odeur

Quelle que soit le degré de qualification de la gêne olfactive, vous pouvez aussi qualifier l'odeur observée (irritante, écœurante...).

6 Sources probables

Si vous êtes certain de la provenance de l'odeur observée, vous pouvez en préciser la source (lieu, entreprises...).

7 Commentaires

Il est important de noter vos commentaires au verso de la fiche, vos précisions aideront à la qualité des résultats de la campagne de la surveillance régionale des odeurs.

8 Observations spontanées

Vous pouvez également noter des observations spontanées faites chez vous ou ailleurs. Dans ce dernier cas, vous préciserez dans les commentaires le lieu où la gêne olfactive a été perçue.

Annexe 4

. Les vidéos de 2003 à 2020

 **Les plaintes annuelles pour nuisances olfactives en région Sud de 2003 à 2020**

https://video.wixstatic.com/video/52b082_260f0f5db884461cbe21f12cc8bccb13/480p/mp4/file.mp4

 **Les plaintes mensuelles pour nuisances olfactives en région Sud de 2003 à 2020**

https://video.wixstatic.com/video/52b082_8ead571538b840f68606d713953061c2/480p/mp4/file.mp4

 **Les plaintes journalières pour nuisances olfactives en région Sud de 2003 à 2020**

https://video.wixstatic.com/video/52b082_156ea1c4bdec490680767406768f3cae/480p/mp4/file.mp4

Résumé

L'odeur est une sensation que l'individu perçoit lors d'une stimulation de son système olfactif par un ensemble complexe d'émanations volatiles. L'appréciation de cette odeur connaît une variabilité importante en fonction des individus, des cultures, et bien entendu de la substance en elle-même. Les catégories d'odeurs sont multiples. Des recherches sont en cours afin de les discerner plus précisément, mais il est néanmoins possible de les classer entre odeurs nauséabondes qui constituent une gêne, et celles généralement plus agréables, relatives par exemple à l'ambiance ou l'identité olfactive d'un lieu. Si des géographes s'intéressent aux polluants tels que le dioxyde de soufre (SO₂), les dioxydes d'azote (NO₂), l'ozone (O₃), les PM₁₀, etc., il en existe peu à notre connaissance qui s'intéressent aux odeurs. Or, elles peuvent pourtant être vécues par les riverains comme une véritable pollution de l'air (ADEME). Les odeurs peuvent en effet s'inviter dans les habitations, à n'importe quel moment, et être ressenties comme une véritable intrusion dans l'espace de vie. Les nuisances olfactives ne cessent de croître parallèlement à l'essor de certaines activités (raffinage, traitement des déchets, épuration des eaux, élevage...). Elles sont plus intolérables à certains moments de l'année (saison estivale où les personnes vivent plus dehors), ou de la journée (matin). Le niveau de gêne peut aller parfois jusqu'à déclencher des symptômes physiques comme des nausées, des maux de tête ou bien encore des irritations de la gorge ou des yeux.

Notre travail de thèse porte essentiellement sur la spatialisation de ces odeurs.

Mots clés : *odeurs, nuisances olfactives, spatialisation, santé environnementale, complexe pétrochimique, Étang de Berre*

Summary

Smell is a sensation which the individual perceives during the stimulation of the olfactory system by a complex combination of volatile emanations. How this smell is appreciated will vary greatly depending on the individuals, the cultures, and of course the substance in itself. There are many categories of smells. Research is under way in order to distinguish them more clearly, but it is nevertheless possible to classify them as either nauseous smells which constitute a nuisance, or those which are generally more pleasant, relating to for example an atmosphere or the odor-identity of a place. If geographers take an interest in pollutants such as Sulphur Dioxide (SO₂), Nitrogen Dioxide (NO₂) Ozone (O₃) and the PM₁₀s, etc, **there are few to our knowledge who are interested in odours**. Now, they can, however, be experienced by residents as a real pollution of the air (ADEME). Smells can in fact invite themselves into people's homes at whatever moment, and can be felt as a real intrusion into the living space. Smell nuisances keep on growing, in parallel with the boom in certain activities (refining, waste treatment; water purification; animal rearing...). They are more intolerable at certain moments of the year (summer season, when people live outside more), or of the day (morning). The level of nuisance can sometimes go as far as triggering physical symptoms like nausea, headaches or indeed irritations of the throat or the eyes

Our thesis work mainly concerns the spatialization of these odors.

Keywords: *odors, odor nuisance, spatialization, environmental health, petrochemical complex, Étang de Berre*

تلخيص

الرائحة هي شعور يدركه الفرد عند تحفيز حاسة الشم لديه بسبب مجموعة معقدة من الانبعاثات الغازية. إن تقدير هذه الرائحة يعرف تغيراً كبيراً حسب الأفراد والثقافات وبالطبع حسب مكونات هذه الرائحة.

يمكن تصنيف الروائح إلى عدة فئات ولا زالت البحوث متواصلة من أجل تمييزها بدقة أكبر، و لكن مع ذلك يمكن التمييز بين الروائح الكريهة التي تشكل إزعاجاً، وتلك الأكثر إمتاعاً، والتي تتعلق على سبيل المثال بمحيط أو هوية مكان ما.

إذا كان اهتمام الجغرافيين بالغازات الملوثة مثل ثاني أكسيد الكبريت (SO₂)، وثاني أكسيد النيتروجين (NO₂)، والأوزون (O₃)، و PM₁₀، إلخ... فإنه وعلى حد علمنا، لا يوجد من هو مهتم بالروائح. ومع ذلك، يمكن اعتبارها ملوث حقيقي للهواء مما يؤدي إلى معاناة السكان (ADEME). فهي تدخل البيوت في أي وقت، وتتسبب في إزعاج حقيقي للناس في حياتهم اليومية.

يزداد الانزعاج من الروائح الكريهة باستمرار بالتوازي مع تطوير أنشطة معينة (التكرير ومعالجة النفايات وتنقية المياه والزراعة الخ...). ويصبح من الصعب احتمالها في أوقات معينة من السنة (موسم الصيف: يمارس الناس الكثير من الأنشطة خارج منازلهم)، أو خلال النهار (الصباح). هذا ويمكن أن يصل مستوى الانزعاج في بعض الأحيان إلى حد ظهور أعراض مثل الغثبان والصداع وحتى التهاب الحلق أو العين.

وستسعى من خلال أطروحتنا هذه أساساً بدراسة التوزيع المجالي لهذه الروائح.

الكلمات المفتاحية: الروائح، إزعاج الروائح، التوزيع المجالي، الصحة البيئية، مجمع البتروكيماويات، إيْت دُوْبَاژ