



Nuisances odorantes industrielles : prévision et représentation spatiale des niveaux de gêne olfactive et d'impact socio-économique sur un territoire

Billy Pottier

► To cite this version:

Billy Pottier. Nuisances odorantes industrielles : prévision et représentation spatiale des niveaux de gêne olfactive et d'impact socio-économique sur un territoire. Géographie. IMT - MINES ALES - IMT - Mines Alès Ecole Mines - Télécom, 2023. Français. NNT : 2023EMAL0014 . tel-04482537

HAL Id: tel-04482537

<https://theses.hal.science/tel-04482537>

Submitted on 28 Feb 2024

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 POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR
DE L'INSTITUT MINES-TELECOM (IMT) –
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES D'ALÈS (IMT MINES ALÈS)**

En Géographie

École doctorale R&S - Risques et Société portée par l'université de Nîmes

Unité de recherche Laboratoire des Sciences des Risques

**Nuisances odorantes industrielles : prévision et
représentation spatiale des niveaux de gêne olfactive et
d'impact socio-économique sur un territoire**

Présentée par Billy POTTIER

Le 5 décembre 2023

Sous la direction de Jean-Louis FANLO

Devant le jury composé de

Pierre LE CLOIREC, Professeur Université de Rennes

Damien SERRE, Professeur associé à UVSQ – CEARC, Mayane

Véronique THIREAU, Professeure Université de Nîmes

Mathilde CHAIGNAUD, Docteur Olentica

Didier BUTY, Docteur ARIA Technologies

Jean-Louis FANLO, Professeur IMT Mines Alès, Olentica

Jérôme TIXIER, Maître assistant Hors Classe IMT Mines Alès

Sylvain OLIVIER, Maître de conférences Université de Nîmes

Rapporteur

Rapporteur

Présidente du jury

Examinatrice

Examineur

Directeur de thèse

Encadrant

Encadrant



RESUME

Les odeurs industrielles sont aujourd'hui de plus en plus rejetées par les riverains qui craignent un impact sur leur santé, leur qualité de vie ou sur la valeur de leur bien. Pour éviter que des situations conflictuelles ne surviennent, des recherches ont été initiées il y a une dizaine d'années pour anticiper la gêne olfactive occasionnée par de futurs sites industriels.

L'objectif de ce travail est de proposer un nouveau modèle de prévision et de représentation cartographique de la gêne olfactive pour aider les décideurs à gérer de manière proactive les problèmes d'odeurs et leurs conséquences potentielles sur le fonctionnement de leur territoire. Les travaux de recherche présentés dans cette thèse de doctorat font suite à ceux initiés par Popa (2013). Parmi les nombreuses pistes d'amélioration évoquées à l'issue de ce travail, l'amélioration de la transférabilité du modèle à d'autres territoires constituait un point important.

Pour y parvenir, le jeu de données nécessaire a été simplifié. Une méthode innovante a été proposée pour évaluer et prévoir le potentiel de nuisance des odeurs émises par un futur site industriel et prévoir ses impacts sur un territoire. La représentation des résultats a été adaptée aux problèmes d'odeur ainsi qu'aux utilisateurs de l'outil. Finalement, notre méthode permet d'évaluer et de cartographier l'impact odorant d'une industrie existante ou future sous le prisme des caractéristiques de l'odeur ainsi que de trois enjeux : celui des riverains, des activités économiques et des infrastructures publiques.

La méthode a été validée autour d'un site industriel en confrontant ses prévisions avec les données issues d'un observatoire des odeurs en place autour du site d'étude. Même si ce travail ouvre encore la porte à plusieurs perspectives de recherche pour affiner son utilisation opérationnelle, la pertinence des résultats obtenus à ce stade permet de considérer qu'il constitue d'ores et déjà un outil d'aide à la décision utile pour une répartition équilibrée des activités et des hommes, dans le cadre d'un aménagement durable du territoire, lieu de vie, mais aussi d'activité.

Mots-clés : odeurs industrielles, gêne olfactive, prévision, modèle, risque, territoire, SIG.

ABSTRACT

Today, industrial odours are less and less accepted by local residents who fear an impact on their health, their quality of life or the value of their property. To avoid conflict, research was initiated around ten years ago to anticipate the odour nuisance caused by future industrial sites.

The aim of this work is to propose a new model for predicting and representing odour nuisance on maps, to help decision-makers proactively manage odour problems and their potential consequences on the functioning in their territory. The research in this thesis follows the work initiated by Popa (2013). One possibility of improvement suggested in this work was to enhance the transferability of the model to other territories.

To achieve this, the data set required was simplified. An innovative method was proposed for assessing and predicting the annoyance potential of odours emitted by a future industrial site, and forecasting its impact on a territory. The representation of the results has been adapted to the odour problem and to the users of the tool. Finally, our method can be used to assess and map the odour impact of an existing or future industry from the point of view of odour characteristics and three issues: local residents, economic activities and public infrastructures.

The method was validated around an industrial site by comparing its predictions with data from an odour observatory in place around the study site. Even if this work still opens the door to several research perspectives to refine its operational use, the relevance of the results obtained at this stage allows us to consider that it already constitutes a useful decision-making tool for a balanced distribution of activities and people, within the framework of a sustainable development of the territory, place of life, but also of activity.

Keywords: industrial odours, odour nuisance, forecasting, model, risk, territory, GIS.

REMERCIEMENTS

Il m'est agréable d'exprimer toute ma reconnaissance et toute ma gratitude aux personnes qui ont contribué au succès de cette thèse et qui m'ont soutenu au fil des ans.

Je remercie vivement mon directeur Jean-Louis Fanlo et mes encadrants Jérôme Tixier et Sylvain Olivier de m'avoir permis de réaliser cette thèse et de l'avoir dirigée. Je les remercie également pour leur expertise et leurs précieux conseils dans la réalisation de ce travail.

Si une thèse peut parfois prendre l'allure d'un long chemin de croix, j'ai eu la chance de le parcourir avec des collègues formidables qui ont tenu une importance incontestable dans le succès de cette aventure. Je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous les membres de l'Institut des Sciences des Risques (ISR) avec qui j'ai passé des moments plus qu'agréables. A toutes ces personnes, pour leur amitié et leurs encouragements : Abdelhak, Anne Catherine, Antonin, Aurélia B., Aurélia G., Cécilia, Clément, Christian, Cyril, Dimitri, Domi, Farès, Fred, Ingrid, Kattialyn, Laurent, Mélanie, Naouel, Noémie, Philippe, Sandrine, Sophie, Sylvie, Veronica. Merci pour ces bons moments au labo et en dehors.

Une pensée également pour Cathy Balieu, Benjamin Gaillard, Romain Ravel, Sandrine Bayle, Gérard Fouassier et tout le personnel de la cafétéria de l'école qui ont contribué à ces bons moments pendant ma thèse.

Je tiens à remercier grandement Mathilde Chaignaud pour ses nombreuses implications dans ce travail. Grâce à elle et ses sacs nauséabonds, j'ai affûté mon sens de l'odorat et découvert une certaine curiosité pour le malodorant. Ce fut un plaisir de travailler ensemble, tout comme de partager ces bons moments à la maison ou au bord des rivières à épier les oiseaux.

A ma tribu, ma bande, mes poteaux qui m'ont toujours soutenu, aussi bien dans la joie que dans le désarroi. Mes parents, mes sœurs, Arsène, José, Némó, Romain, Shuko, Vince.

Enfin, je voudrais remercier chaleureusement ma chère et tendre Marie, pour son soutien inconditionnel, sa bonne humeur et son enthousiasme contagieux. Si j'écris ces lignes, c'est en partie grâce à elle. Je voudrais lui dédier ce travail.

Parce que la liste serait trop longue, que tous ceux qui m'ont accompagné, de près ou de loin, trouvent ici l'expression de mes sentiments les meilleurs.

TABLES DES MATIERES

RESUME	2
ABSTRACT	3
REMERCIEMENTS	4
TABLES DES MATIERES	5
TABLE DES FIGURES.....	8
TABLE DES TABLEAUX.....	10
LISTE DES ABREVIATIONS	11
INTRODUCTION	12
PARTIE I. LA GENE OLFACTIVE SUR LE TERRITOIRE.....	15
I.1. DE L'ODEUR A LA GENE OLFACTIVE	16
I.1.1. <i>L'odeur, une perception complexe</i>	16
I.1.1.1. Qu'est-ce qu'une odeur ?	16
I.1.1.2. Les caractéristiques de l'odeur	17
I.1.1.3. De l'odeur à la nuisance odorante	20
I.1.2. <i>La gêne olfactive</i>	21
I.1.2.1. Définition de la gêne olfactive	21
I.1.2.2. La gêne olfactive à travers l'histoire	22
I.2. ÉVALUER LA GENE OLFACTIVE - LES APPROCHES A POSTERIORI	25
I.2.1. <i>Évaluer la gêne olfactive : un enjeu social et économique</i>	25
I.2.1.1. Pourquoi évaluer la gêne olfactive ?.....	25
I.2.1.2. Réglementation environnementale	26
I.2.2. <i>Les méthodes pour évaluer l'impact odorant</i>	27
I.2.2.1. Les méthodes du panache et de la grille.....	27
I.2.2.2. Les modèles de dispersion atmosphérique.....	29
I.2.2.3. Les données météorologiques	30
I.2.3. <i>Les méthodes existantes pour évaluer la gêne olfactive</i>	31
I.2.3.1. Les enquêtes auprès des riverains	32
I.2.3.2. L'analyse des plaintes	33
I.2.3.3. Les observatoires des odeurs/comité de riverains	34
I.2.4. <i>Synthèse</i>	35
I.3. UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE POUR CARACTERISER LA VULNERABILITE DU TERRITOIRE	36
I.3.1. <i>Concept de vulnérabilité territoriale en géographie</i>	37
I.3.2. <i>Caractériser la vulnérabilité d'un enjeu</i>	39
I.3.3. <i>Synthèse</i>	42
I.4. PREVOIR LA GENE OLFACTIVE	43
I.4.1. <i>Pourquoi prévoir la gêne olfactive ?</i>	43
I.4.2. <i>Évaluer et prévoir les effets de la nuisance : les facteurs FIDOL</i>	43
I.4.2.1. Fréquence, Intensité et Durée	44
I.4.2.2. L'acceptabilité de l'odeur.....	46
I.4.2.3. La localisation.....	47
I.4.3. <i>De la source aux effets sur la population : le concept de S-P-R</i>	48
I.4.4. <i>Présentation des méthodes de prévision existantes</i>	50
I.4.4.1. Présentation de la méthode Invernizzi (2016)	50
I.4.4.2. Présentation de la méthode Popa (2013)	53
I.4.5. <i>Synthèse</i>	59
I.5. CONCLUSION.....	61

PARTIE II. NOUVELLE METHODE DE PREVISION DE LA GENE OLFACTIVE.....	63
II.1. PROBLEMATIQUE	63
II.2. CONTEXTE ET OBJECTIFS	63
II.3. METHODOLOGIE	65
II.3.1. <i>La gêne olfactive considérée comme un risque</i>	65
II.3.1.1. Principe	66
II.3.1.2. Évaluation et représentation de la gêne olfactive comme un risque	68
II.3.1.3. Décomposition de la problématique	69
II.3.2. <i>Caractérisation du potentiel de nuisance</i>	72
II.3.2.1. Calcul de l'intensité de l'odeur	73
II.3.2.2. Calcul de l'acceptabilité de l'odeur	74
II.3.2.3. Discretisation des niveaux d'intensité et d'acceptabilité de l'odeur	75
II.3.2.4. Calcul du potentiel de nuisance de l'odeur	77
II.3.3. <i>Caractérisation de la vulnérabilité des enjeux</i>	77
II.3.3.1. Vulnérabilité humaine	78
II.3.3.2. Vulnérabilité des activités économiques et des infrastructures publiques.....	79
II.3.3.3. Discretisation des enjeux	90
II.3.4. <i>Calcul du risque de gêne olfactive</i>	94
II.3.4.1. Normaliser pour pondérer	94
II.3.4.2. Fonctions de calcul des indices de risque	95
II.3.4.3. Discretisation des indices de gêne	96
II.4. CONCLUSION.....	98
PARTIE III. APPLICATION DE LA METHODE.....	101
III.1. DEVELOPPEMENT DE L'OUTIL SIG	101
III.1.1. <i>R : un outil de recherche intégrant un SIG</i>	102
III.1.2. <i>Le carroyage comme support de modélisation</i>	104
III.2. PRESENTATION DU TERRITOIRE D'ETUDE	106
III.2.1. <i>Maisons-Alfort et ses alentours</i>	106
III.2.2. <i>Histoire de la levurerie et de son territoire</i>	108
III.2.3. <i>Les odeurs de la levurerie</i>	111
III.3. RESULTATS OBTENUS	112
III.3.1. <i>Évaluation du potentiel de nuisance</i>	112
III.3.1.1. Modélisation de la dispersion atmosphérique des odeurs	112
III.3.1.2. Type d'odeur considérée	115
III.3.1.3. Cartographie du potentiel de nuisance de l'odeur	115
III.3.2. <i>Indices de vulnérabilité</i>	118
III.3.2.1. Cartographie de la vulnérabilité humaine.....	118
III.3.2.2. Cartographie de la vulnérabilité économique.....	119
III.3.2.3. Cartographie de la vulnérabilité sociale.....	120
III.3.3. <i>Indices de risque</i>	121
III.3.3.1. Cartographie du risque de gêne olfactive	122
III.3.3.2. Cartographie du risque de préjudice économique.....	124
III.3.3.3. Cartographie du risque de préjudice social.....	127
III.3.4. <i>Synthèse</i>	130
III.4. ÉVALUATION DE LA REPRESENTATIVITE DU MODELE	131
III.4.1. <i>Présentation de l'observatoire des odeurs</i>	131
III.4.2. <i>Confrontation des résultats</i>	133
III.4.3. <i>Analyse de différents scénarios</i>	137
III.4.4. <i>Synthèse</i>	141
III.5. CONCLUSION.....	141

PARTIE IV. APPORTS ET LIMITES DE LA METHODE	143
IV.1. LES APPORTS.....	143
IV.1.1. <i>La transposabilité</i>	143
IV.1.2. <i>L'évaluation du potentiel de nuisance de l'odeur</i>	144
IV.1.3. <i>La représentation de résultats</i>	144
IV.2. LES LIMITES	145
IV.2.1. <i>La caractérisation de la source</i>	145
IV.2.2. <i>La modélisation de la dispersion atmosphérique</i>	146
IV.2.3. <i>L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux</i>	147
IV.2.3.1. La caractérisation de la vulnérabilité humaine	147
IV.2.3.2. La caractérisation de la vulnérabilité économique et de la vulnérabilité sociale	148
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	150
BIBLIOGRAPHIE	154
ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE.....	161
ANNEXE 2 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE	166
ANNEXE 3 : CODE R : CALCUL DU RISQUE DE GENE OLFACTIVE.....	171
ANNEXE 4 : CODE R : CALCUL DU RISQUE D'IMPACT ECONOMIQUE ET SOCIAL	174
ANNEXE 5 : CODE R : IMPORT DES OBJETS OSM	180

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : COURBE DE STEVENS (FANLO, 2006)	18
FIGURE 2 : SCHEMA INTEGRANT LES DIFFERENTS TYPES DE VULNERABILITE AU NIVEAU TEMPOREL ET SPATIAL. (VAN DER VEEN ET AL., 2009)	40
FIGURE 3 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE L'INTENSITE PERÇUE POUR DEUX SUBSTANCES ODORANTES (I ET J) A CONCENTRATION D'ODEUR EQUIVALENTE (WU ET AL., 2016)	45
FIGURE 4 : NIVEAU SUPERIEUR DE LA STRUCTURE HIERARCHIQUE PERMETTANT L'ÉVALUATION DE LA GENE OLFACTIVE (POPA, 2013)	53
FIGURE 5 : AGREGATION DES INDICES ET CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE RISQUE DE GENE OLFACTIVE (POPA, 2013)	54
FIGURE 6 : AGREGATION DES INDICES ET CARTOGRAPHIE DES NIVEAUX DE RISQUE DE PREJUDICE ECONOMIQUE (POPA, 2013)	55
FIGURE 7 : STRUCTURE HIERARCHIQUE DE LA VULNERABILITE HUMAINE (POPA, 2013)	57
FIGURE 8 : STRUCTURE HIERARCHIQUE DE LA VULNERABILITE ECONOMIQUE (POPA, 2013)	58
FIGURE 9 : LES PRINCIPALES ETAPES DU PROCESSUS DE LA GENE OLFACTIVE (ADAPTE DE POPA, 2013)	61
FIGURE 10 : LES PRINCIPALES ETAPES DE LA METHODOLOGIE	65
FIGURE 11 : CONCEPT S-P-R : DE LA SOURCE AUX EFFETS SUR LES RECEPTEURS	67
FIGURE 12 : ÉVALUATION DE LA GENE OLFACTIVE COMME UN RISQUE	69
FIGURE 13 : DECLINAISON DU RISQUE D'IMPACT ODORANT SELON L'ENJEU CONSIDERE	70
FIGURE 14 : DISCRETISATION DE L'INTENSITE ET DE L'ACCEPTABILITE DE L'ODEUR	76
FIGURE 15 : CALCUL DU POTENTIEL DE NUISANCE DE L'ODEUR	77
FIGURE 16 : EXEMPLE D'OBJETS OSM SELECTIONNES ET VISUALISATION DANS LE CARROYAGE 200M×200M DE L'INSEE	82
FIGURE 17 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE SUR LA CAPACITE A SUPPORTER UNE MAUVAISE ODEUR AU RESTAURANT ET AU FAST-FOOD	84
FIGURE 18 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE SUR LA CAPACITE A SUPPORTER UNE MAUVAISE ODEUR PENDANT UNE ACTIVITE COMMERCIALE ALIMENTAIRE EST UNE ACTIVITE COMMERCIALE NON ALIMENTAIRE	85
FIGURE 19 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE SUR LA CAPACITE A SUPPORTER UNE MAUVAISE ODEUR PENDANT UN SEJOUR AU CAMPING OU UN SEJOUR A L'HOTEL	85
FIGURE 20 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE SUR LA CAPACITE A SUPPORTER UNE MAUVAISE ODEUR PENDANT CERTAINES ACTIVITES SPORTIVES ET DE LOISIRS	86
FIGURE 21 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE SUR LA CAPACITE A SUPPORTER UNE MAUVAISE ODEUR DANS CERTAINES STRUCTURES PUBLIQUES	87
FIGURE 22 : TYPOLOGIE DES REpondANTS DU QUESTIONNAIRE	88
FIGURE 23 : DISCRETISATION DE LA VULNERABILITE HUMAINE	91
FIGURE 24 : DISCRETISATION DE LA VULNERABILITE DES ACTIVITES ECONOMIQUES	92
FIGURE 25 : DISCRETISATION DE LA VULNERABILITE DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES	93
FIGURE 26 : CONSTRUCTION ET DISCRETISATION DES RISQUES D'IMPACT	97
FIGURE 27 : LES DIFFERENTES ETAPES DE LA METHODOLOGIE	99
FIGURE 28 : PRESENTATION DE L'OUTIL SIG	103
FIGURE 29 : REPRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	107
FIGURE 30 : CARTE D'ETAT-MAJOR (1820- 1866) A MAISONS-ALFORT	109
FIGURE 31 : CARTE IGN (1950) A MAISONS-ALFORT	110
FIGURE 32 : ROSE DES VENTS A BIOSPRINGER (MAISONS-ALFORT) DU 1 ^{ER} JUIN 2020 AU 1 ^{ER} JUIN 2021	113
FIGURE 33 : POINTS DE PRELEVEMENT ET VALEURS D'EMISSION CORRESPONDANTES	114
FIGURE 34 : NIVEAU DE POTENTIEL DE NUISANCE DE L'ODEUR SELON LA DISTANCE AU SITE EMETTEUR	116
FIGURE 35 : CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL DE NUISANCE DE L'ODEUR	117
FIGURE 36 : CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE CHEZ SOI	118
FIGURE 37 : CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DES ACTIVITES ECONOMIQUES	120
FIGURE 38 : CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES	121
FIGURE 39 : CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE GENE OLFACTIVE CHEZ SOI	122
FIGURE 40 : NIVEAU DE RISQUE DE GENE OLFACTIVE SELON LA DISTANCE AU SITE EMETTEUR	123
FIGURE 41 : CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE PREJUDICE ECONOMIQUE	125
FIGURE 42 : NIVEAU DE RISQUE DE PREJUDICE ECONOMIQUE SELON LA DISTANCE AU SITE EMETTEUR	126
FIGURE 43 : CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE PREJUDICE SOCIAL	128

FIGURE 44 : NIVEAU DE RISQUE DE PREJUDICE SOCIAL SELON LA DISTANCE AU SITE EMETTEUR	129
FIGURE 45 : SYNTHESE DES RESULTATS OBTENUS.....	130
FIGURE 46 : CARTOGRAPHIE DES LIEUX DE RESIDENCE DES MEMBRES DE L'OBSERVATOIRE DES ODEURS ET DES OBSERVATIONS SUR UNE ANNEE.....	132
FIGURE 47 : TRANSECTS DE L'ACCEPTABILITE ET DE L'INTENSITE DE L'ODEUR PERÇUE PAR LES MEMBRES DE L'OBSERVATOIRE SELON LA DE DISTANCE AU SITE EMETTEUR ET COMPARAISON AVEC LES RESULTATS DU POTENTIEL DE NUISANCE OBTENUS	134
FIGURE 48 : COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS POUR L'INDICE DE GENE OLFACTIVE SELON LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES	137
FIGURE 49 : COMPARAISON DES RESULTATS OBTENUS POUR L'INDICE DE GENE OLFACTIVE SELON LE LIEU D'IMPLANTATION	139

TABLE DES TABLEAUX

<i>TAB</i> LEAU 1 : <i>EXEMPLES D'INDICATEURS DE VULNERABILITE UTILISES DANS LE CADRE D'ETUDES SUR LES RISQUES NATURELS (ADAPTE DU PROJET EUROPEEN ENSURE, 2009)</i>	41
<i>TAB</i> LEAU 2 : <i>LISTE DES FACTEURS QUI AFFECTENT LE CONCEPT DE S-P-R (ADAPTE DE BULL ET AL., 2018)</i>	50
<i>TAB</i> LEAU 3 : <i>VALEUR DU FACTEUR A(O) SELON LE TON HEDONIQUE DE L'ODEUR (INVERNIZZI ET AL, 2016)</i>	51
<i>TAB</i> LEAU 4 : <i>VALEUR DU FACTEUR P(L) SELON LA SENSIBILITE DU MILIEU RECEPTEUR (INVERNIZZI ET AL, 2016)</i>	52
<i>TAB</i> LEAU 5 : <i>LISTE DES OBJETS GEOGRAPHIQUES RECUPERES VIA L'API D'OSM</i>	81
<i>TAB</i> LEAU 6 : <i>LISTE DES OBJETS GEOGRAPHIQUES RECUPERES VIA L'API D'OSM ET VALEURS DE SENSIBILITE ASSOCIEES</i>	89
<i>TAB</i> LEAU 7 : <i>CARACTERISTIQUES DES SOURCES DE DONNEES CARROYEES DISPONIBLES SUR LA POPULATION</i>	105
<i>TAB</i> LEAU 8 : <i>DENOMBREMENT DES ENJEUX HUMAINS, ECONOMIQUES ET SOCIAUX DANS LES 11 COMMUNES DE LA ZONE D'ETUDE (SOURCES : INSEE, OPEN STREET MAP)</i>	108
<i>TAB</i> LEAU 9 : <i>DENOMBREMENT DES ENJEUX CONCERNES CONCERNEES SELON LE NIVEAU DE POTENTIEL DE NUISANCE</i>	117
<i>TAB</i> LEAU 10 : <i>NOMBRE DE CARREAUX CONCERNES SELON LE NIVEAU DE GRAVITE (RISQUE DE GENE OLFACTIVE)</i>	124
<i>TAB</i> LEAU 11 : <i>NOMBRE DE CARREAUX CONCERNES SELON LE NIVEAU DE GRAVITE (RISQUE DE PREJUDICE ECONOMIQUE)</i>	126
<i>TAB</i> LEAU 12 : <i>NOMBRE DE CARREAUX CONCERNES SELON LE NIVEAU DE GRAVITE (RISQUE DE PREJUDICE SOCIAL)</i>	129
<i>TAB</i> LEAU 13 : <i>NOMBRE DE SIGNALEMENTS DE L'OBSERVATOIRE RECUEILLIS DU 1^{ER} JUIN 2020 AU 1^{ER} JUIN 2021 SELON L'INTENSITE ET L'ACCEPTABILITE DE L'ODEUR PERÇUE</i>	133

LISTE DES ABREVIATIONS

AASQA	Association Agréées de Surveillance de la Qualité de l’Air
Acc	Acceptabilité de l’odeur
AFNOR	Association Française de NORmalisation
AHP	Analytic Hierarchy Process
API	Application Programming Interface
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CSP	Catégorie Socio-Professionnelle
C _{OD}	Concentration de l’odeur (exprimée en uoE/m ³)
DREAL	Direction Régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement
EAUK	Environment Agency of United Kingdom
ERP	Etablissement Recevant du Public
FIDOL	Fréquence (F), Intensité (I), Durée (D), Ton hédonique (O), Localisation (L)
FIDOR	Fréquence (F), Intensité (I), Durée (D), Ton hédonique (O), Récepteur (R)
FIDOS	Fréquence (F), Intensité (I), Durée (D), Ton hédonique (O), Sensibilité (S)
HTML	Hyper propre Text Markup Language
<i>I</i>	Intensité de l’odeur
IAQM	Institute of Air Quality Management
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l’Environnement
IGN	Institut national de l’information géographique et forestière
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IRIS	Îlots Regroupés pour l’Information Statistique
LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air
MAJIC	Mise A Jour des Informations Cadastreales
NAF	Nomenclature d’Activités Française
NIMBY	Not In My BackYard
OSM	Open Street Map
<i>PN</i>	Potentiel de nuisance de l’odeur
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
SIG	Système d’Information Géographique
SIRENE	Système Informatique pour le Répertoire des ENtreprises et des Établissements

INTRODUCTION

Certains secteurs industriels, essentiels au quotidien, sont bien connus pour rejeter dans l'atmosphère des composés odorants : l'élevage, l'industrie agroalimentaire, l'industrie pétrolière et gazière, chimique, pharmaceutique, le secteur du traitement et/ou de la valorisation des déchets (station d'épuration des eaux usées, centre de compostage, méthanisation, etc.). Si les odeurs industrielles étaient autrefois mieux acceptées, car synonymes d'emploi, elles sont aujourd'hui de plus en plus systématiquement rejetées par les riverains qui craignent un impact sur leur santé ou sur la valeur de leur bien. Il faut rechercher l'origine de cette diminution de notre tolérance aux odeurs au XVIII^e siècle, date à partir de laquelle l'industrialisation des sociétés a multiplié les dégradations environnementales et augmenté l'inquiétude des populations vis-à-vis d'un risque sanitaire (Jarrige and Le Roux, 2017). Une conscience des enjeux environnementaux se développe par la suite dans la seconde moitié du 20^e rendant les populations de plus en plus attentives à la qualité de l'environnement et à leur cadre de vie, associant parfois les odeurs perçues à des polluants atmosphériques potentiellement dangereux (Conti, Guarino and Bacenetti, 2020). Cette croyance en une menace pour la santé et le bien-être peut être à l'origine d'une modification du comportement physique, intellectuel et social d'une personne, et par là même, avoir un impact sur le fonctionnement du territoire.

Le nombre de plaintes liées aux odeurs ne cesse de croître, et représente aujourd'hui le deuxième motif de plainte après celles liées au bruit (Rozec *et al.*, 2003). Ces dernières années, les problèmes d'odeurs ont gagné en visibilité. Les manifestations publiques et les pétitions se multiplient contre les odeurs rejetées par des sites industriels existants ou en projet. Elles témoignent de la volonté des citoyens de voir des solutions apportées à ces problèmes, comme en témoigne l'actualité récente à Garons (30) où un collectif de riverains se mobilise depuis le début de l'année 2023 contre l'implantation d'une usine de croquettes pour animaux à proximité des habitations. Le futur site de 12 000 m² est encore en phase de projet et suscite déjà une forte opposition des populations concernées. Malgré la création de 90 emplois, les riverains craignent l'impact des odeurs sur leur qualité de vie, sur la valeur de leur bien, mais aussi sur les emplois et les commerces de leur commune (Hanin, 2023). Même si l'industriel promet des abattements d'odeurs conséquents (92 à 96%), certains riverains redoutent une situation semblable à celle de l'usine Royal Canin d'Aimargues (30) connue pour ses odeurs parfois très fortes (Macé, 2023). Pour lutter contre ce projet, les opposants ont manifesté devant Nîmes métropole le 26 juin 2023. Ils ont également créé le collectif « Garons sans odeurs » et ont mis en ligne une pétition qui recueille près de 1200

signatures pour une commune de 5000 habitants : « *Si vous aimez votre village, que vous espérez un meilleur avenir pour vos enfants et que votre habitation est l'investissement de toute une vie, signez et partagez un maximum pour que ce projet n'aboutisse pas* ». Parmi eux, Michel Kayser, le chef deux étoiles du restaurant Alexandre à Garons, craint l'impact des futures nuisances odorantes et n'exclut pas une relocalisation de son activité (Selliez and Beaufils, 2023).

De telles situations sont amenées à se reproduire dans la mesure où la pression démographique, l'urbanisation croissante et le manque de terrains disponibles conduiront les futures constructions à se rapprocher toujours plus des zones industrielles (Peters *et al.*, 2014). De plus, certains pays comme la France expriment leur volonté de s'insérer dans une dynamique de relocalisation de certaines activités industrielles, jugées stratégiques (Wells, 2013). Même si elle peut être source potentielle d'emploi, cette volonté de réindustrialisation est appelée à se heurter au syndrome NIMBY (« Not In My Back Yard » : « pas dans mon arrière-cour » en français) qui désigne le refus d'un projet sauf à ce qu'il se fasse ailleurs, loin de son lieu de résidence, car potentiellement source de nuisances (bruits, odeurs, détérioration du paysage).

Dans ce contexte, anticiper les conséquences de l'existence de problèmes d'odeurs sur le fonctionnement d'un territoire apparaît donc primordial. Depuis une dizaine d'années, quelques recherches ont été initiées pour développer des méthodes capables de prévoir l'impact d'une nuisance odorante sur des populations. Les travaux de Popa (2013) constituent certainement à ce jour l'approche la plus aboutie pour anticiper et représenter des niveaux de gêne olfactive et leurs conséquences sur un territoire. La méthode, basée sur une analyse la plus exhaustive possible de la vulnérabilité de la population et du territoire, permet d'obtenir une vision globale du niveau de gêne olfactive et de ses conséquences économiques pour une période donnée. Sa validation autour d'un site industriel, si elle a permis d'acquérir une première preuve du concept, ouvre néanmoins la porte à de nombreuses perspectives de recherche pour atteindre une efficacité opérationnelle optimale.

C'est dans ce contexte qu'il nous a semblé pertinent de prolonger et d'approfondir ces travaux pour proposer une nouvelle méthodologie de prévision et de représentation de la gêne olfactive sur un territoire. L'une des principales limitations évoquées par Popa à l'issue de son travail concerne le manque de transférabilité de la méthode à d'autres territoires. Pour y remédier, il sera essentiel de simplifier le jeu de données et la méthode de calcul tout en vérifiant que cette simplification n'altère pas la validité des résultats obtenus. Cet objectif soulève plusieurs questions : Comment améliorer la

caractérisation de l'impact odorant d'un site industriel existant ou futur ? Comment caractériser la vulnérabilité des enjeux exposés à une nuisance odorante ? Quelles sources de données mobiliser pour permettre une utilisation n'importe où en France et même au-delà ? Quelle importance accorder aux différents paramètres qui entrent en jeu dans l'évaluation d'un risque de gêne olfactive ?

La méthode développée, si elle doit pouvoir être facilement transposable d'un territoire à l'autre, doit également pouvoir s'adapter à n'importe quel type d'activité génératrice d'odeurs. La finalité de ce travail est donc d'aboutir à un outil d'aide à la décision opérationnel, à destination des acteurs impliqués (collectivités, industriels), pour gérer de manière proactive les problèmes d'odeurs sur un territoire.

La première partie de ce document est consacrée à l'état de l'art des moyens disponibles pour évaluer et prévoir la gêne olfactive. Ce premier travail aborde le mécanisme d'émergence de la gêne olfactive ainsi que l'évolution de notre sensibilité aux odeurs au fil du temps. Les méthodes d'évaluation *a posteriori* de la gêne olfactive sont présentées d'un point de vue fonctionnel (objectifs, protocole, résultats). Les concepts et les facteurs qui permettent d'anticiper l'impact d'une nuisance odorante sur un territoire sont examinés. Enfin, deux méthodes prédictives d'évaluation de la gêne olfactive sont analysées et permettent de nous positionner sur les futurs développements à mettre en œuvre.

La deuxième partie expose la mise en place de notre méthode. Son développement s'appuie sur les méthodes d'analyse et d'évaluation des risques pour aboutir à un outil capable de prévoir et de représenter des niveaux de gêne olfactive et leurs conséquences sur un territoire. Celui-ci permet d'évaluer et de cartographier l'impact odorant d'une industrie existante ou future en intégrant à la fois le potentiel de nuisance de l'odeur et la vulnérabilité de l'enjeu considéré (celle des riverains, des activités économiques ou des infrastructures publiques).

La troisième partie porte sur l'application de notre méthode autour de la levurerie Biospringer située à Maisons-Alfort dans le Val-de-Marne (94). L'ensemble des résultats obtenus est analysé et mis en perspective avec les résultats d'un observatoire des odeurs mis en place autour du site d'étude.

En fin de manuscrit, nous abordons les apports méthodologiques et opérationnels de notre travail ainsi que ses limites.

PARTIE I. LA GÊNE OLFACTIVE SUR LE TERRITOIRE

Notre rapport aux odeurs est le résultat de plusieurs siècles de pression culturelle. Depuis le Moyen Âge et les temps de peste, la tolérance des populations face aux problèmes d'odeurs a progressivement diminué. Les populations sont aujourd'hui de plus en plus attentives à la qualité de l'environnement et à leur cadre de vie (Conti, Guarino and Bacenetti, 2020). Les odeurs industrielles, autrefois perçues comme annonciatrices d'emplois, sont aujourd'hui de plus en plus rejetées, notamment par crainte d'un risque pour la santé. Même inoffensives, ces odeurs peuvent, à plus ou moins long terme, affecter la qualité de vie des populations et dans une plus large mesure le fonctionnement du territoire.

En réponse à ces préoccupations, des réglementations environnementales émergent pour réguler les émissions odorantes. Des méthodes ont ainsi été développées pour évaluer l'impact des odeurs sur les riverains. On distingue deux types de méthodes, qui peuvent être utilisées individuellement ou conjointement : les méthodes d'évaluation de la gêne olfactive une fois que les problèmes d'odeurs sont apparus sur un territoire, et les méthodes de prévision qui constituent des outils d'aide à la décision pour anticiper l'impact odorant d'un futur site industriel ou d'une modification de l'activité (changement de process ou du type de production).

La première partie de ce travail de recherche est consacrée à la présentation théorique de notre objet d'étude, la gêne olfactive. Quatre sections la composent.

Une première expose le mécanisme d'émergence de la gêne olfactive et son évolution au fil du temps. La notion d'odeur et ses principales caractéristiques sont détaillées afin de comprendre dans quelles conditions une odeur peut constituer une nuisance, et comment elle peut aboutir au sentiment de gêne olfactive.

Une deuxième section fait l'état de l'art des méthodes existantes pour évaluer la gêne olfactive *a posteriori* au sein d'une population. Celle-ci présente les méthodes utilisées pour caractériser la perception des riverains, et celles qui permettent d'évaluer l'impact odorant d'un site industriel.

En s'appuyant sur des notions empruntées à la géographie et au domaine de l'analyse des risques, une troisième section s'intéresse aux moyens disponibles pour caractériser la vulnérabilité d'un territoire vis-à-vis d'un aléa (naturel, industriel, humain). La caractérisation du territoire apparaît essentielle pour anticiper et représenter la réponse des populations exposées, dans notre cas, à une nuisance odorante.

Enfin, une quatrième section se concentre sur les méthodes prédictives d'évaluation de la gêne olfactive. Celle-ci fait le point sur les concepts et les facteurs reconnus dans la littérature comme déterminants pour évaluer et prévoir l'effet d'une nuisance odorante. Deux méthodes ont été identifiées et sont ici détaillées. Cette analyse doit permettre de proposer une nouvelle méthode d'évaluation et de prévision de la gêne olfactive remédiant aux limites identifiées des méthodes existantes.

I.1. DE L'ODEUR A LA GENE OLFACTIVE

I.1.1. L'odeur, une perception complexe

I.1.1.1. Qu'est-ce qu'une odeur ?

À chaque instant, nous respirons un air chargé d'une multitude de molécules odorantes. Ces molécules se détachent d'elles-mêmes des corps, des organismes et des objets qui nous entourent (meubles, matériaux, textiles, etc.). La sensation d'odeur résulte d'une alchimie complexe entre ces molécules odorantes (stimulus, synthèse, biochimie), le système olfactif et les caractéristiques physiologiques de chaque personne (perception, restitution, expérience, éducation, etc.) (Gréillon, 2010).

Le terme *odeur* est souvent galvaudé et ne doit pas être confondu avec les molécules odorantes qui en sont responsables. La substance odoriférante émet dans l'air des molécules dont certaines (les odorants) sont à l'origine de la perception olfactive (l'odeur) (Dartiguepeyrou, 2013). Plusieurs définitions coexistent pour caractériser l'odeur :

- Jaubert parle d'une « interprétation par le cerveau (perception) des signaux fournis par les récepteurs olfactifs lors de leur stimulation par des substances (potentiellement) odorantes » (Jaubert, 2005).
- Rognon et Pourtier considèrent l'odeur comme une perception résultant d'un ensemble de processus neurosensoriels, cognitifs et mnésiques complexes qui permettent à une personne d'établir une relation avec son environnement olfactif (Rognon and Pourtier, 2010).
- L'odeur est définie par la norme ISO 5492:2008 comme un ensemble de sensations perçues par l'organe olfactif en « flairant » certaines substances volatiles (ISO 5492:2008, 2008).

Ainsi, une odeur peut être définie comme une interprétation subjective et affective par le cerveau, résultant de la stimulation du système olfactif par une molécule ou un mélange de molécules odorantes (Jaubert, 2010a).

I.1.1.2. Les caractéristiques de l'odeur

L'interprétation de la perception olfactive est influencée par les caractéristiques principales de l'odeur (Amanzougarene, Chachoua and Zeitouni, 2012; Shi, Wu and Stein, 2015). Ces caractéristiques sont au nombre de quatre :

- La persistance : sa sensibilité à la dilution (détection) ;
- L'intensité : la force de l'odeur (quantification) ;
- La qualité : sa nature spécifique, son identité (qualification) ;
- Le ton hédonique : son caractère agréable ou désagréable, son acceptabilité (appréciation).

I.1.1.2.1. La persistance

La détection d'une odeur par un individu nécessite la présence dans l'air qu'il respire d'une concentration minimale de la substance odorante. Cette concentration correspond au seuil dit « de perception ». Une notion d'importance en lien direct avec le seuil de perception est celle de « concentration d'odeur ». On soulignera ici que ce groupe nominal est volontairement mis entre guillemets, car utiliser abusivement, en application de la législation actuelle (EN 13725, 2003). Ce concept correspond à la persistance de l'odeur, définie par le lien entre la concentration des odorants et l'intensité de la perception. Il exprime la sensibilité de l'odeur à la dilution. L'évaluation de la concentration d'odeur se fait sur la base d'un échantillon représentatif d'une population donnée en recherchant le taux de dilution de l'odeur nécessaire pour qu'elle ne soit perçue que par 50% des membres du jury ainsi constitué (seuil de perception collective). La concentration d'odeur au seuil de perception est supposée égale à 1 UO_E/m³ (UO_E : Unité d'Odeur Européenne) pour le jury (Delva, Cobut and Fanlo, 2017).

I.1.1.2.2. L'intensité

L'intensité de l'odeur représente la force perçue de la sensation olfactive (Stuetz and Frechen, 2001; Sucker *et al.*, 2008; Rognon and Pourtier, 2010). Selon la norme AFNOR NF X 43-103, l'intensité odorante est la grandeur de la sensation pour un stimulus supérieur à celui correspondant au seuil de perception. L'intensité odorante est le plus souvent une fonction croissante de la concentration du mélange odorant dans l'air inspiré (NF X43-103, 1996). La loi de Stevens (1957) permet d'établir une relation entre l'échelle d'intensité du stimulus odorant (concentration du mélange odorant) et l'échelle d'intensité de la sensation olfactive (Carre and Fanlo, 2006):

$$\text{Log } I = n\text{Log}(C - C_0) + Cte$$

Où :

I : intensité perçue

C : concentration du composé ou du mélange odorant dans l'air inhalé (en ppm)

C_0 : concentration au seuil de perception du composé ou du mélange odorant (en ppm)

n : coefficient de l'accroissement de l'intensité odorante

Cte : constante propre à chaque mélange

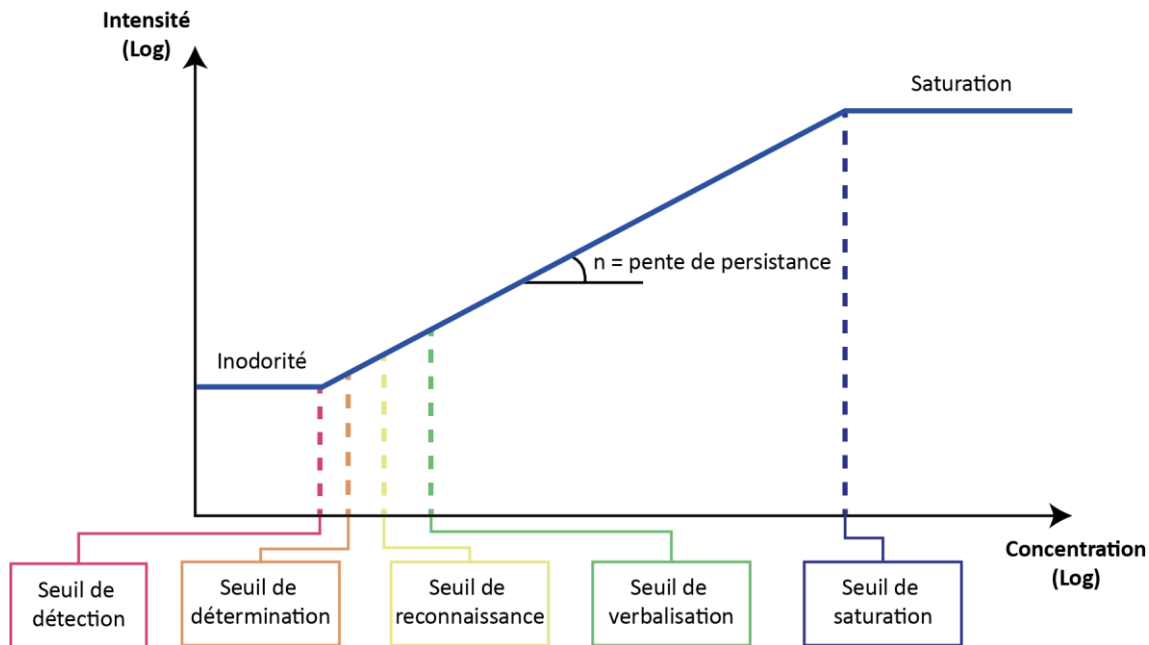


Figure 1 : Courbe de Stevens (Fanlo, 2006)

L'examen de cette courbe (Figure 1) montre que l'intensité odorante évolue dans une gamme comprise entre le seuil de détection et le seuil de saturation. La pente de la courbe entre ces deux seuils traduit la sensibilité de l'odorat à la variation de la concentration du composé odorant (Popa, 2013; Rognon and Pourtier, 2014) :

- Si la pente est faible, la dilution de la substance a peu d'influence sur sa perception. L'odeur est persistante.
- Si la pente est forte, la dilution réduit largement l'intensité de la perception. L'odeur est peu persistante ou fugace.

En psychophysique, la loi de Weber-Fechner (1860) décrit la relation entre sensation mentale et la grandeur physique d'un stimulus, selon laquelle la sensation est proportionnelle au logarithme de l'excitation (Benzécri, 1979). Appliquée aux odeurs, on obtient :

$$I = k_1 * \text{Log}_{10}(C) + k_2$$

Où :

I : intensité de la sensation perçue

k : constantes

$\text{Log}_{10}(C)$: Logarithme base 10 de la concentration en UO_E/m^3

Ces fonctions restent difficiles à utiliser car le seuil de détection, le seuil de saturation et la pente de persistance varient fortement en fonction de l'odorant considéré (Rognon and Pourtier, 2010). Pour évaluer l'intensité d'une odeur, on recommande généralement d'utiliser une méthode objective s'affranchissant à la fois de la nature et de l'acceptabilité de l'odeur. La norme AFNOR NF X 43-103 définit les principes et les méthodes pour mesurer l'intensité d'une odeur en la comparant à une échelle d'intensité de référence. Une fois que la concentration de l'odeur est déterminée, un jury est exposé à des dilutions supraliminaires pour évaluer l'intensité de la perception sur une échelle allant par exemple de 0 (pas d'odeur) à 10 (odeur extrêmement forte) (Lebrero *et al.*, 2011).

I.1.1.2.3. La qualité

La qualité de l'odeur correspond à la nature intrinsèque de l'odeur, à son identité, son évocation (odeur de brûlé, boisée, florale, etc.). Elle peut être définie comme la verbalisation de l'odeur.

Contrairement au goût pour lequel il est possible de définir cinq goûts fondamentaux (salé, sucré, acide, amer et umami), il est impossible de définir une liste d'odeurs fondamentales. Plusieurs tentatives de classifications ont été développées, mais celles-ci proposent généralement une assimilation grossière de l'odeur à une odeur assez fréquemment rencontrée, et de ce fait, connue (Carre and Fanlo, 2006).

La reconnaissance des odeurs n'est pas innée. La description d'une odeur varie d'un individu à l'autre selon ses caractéristiques et son vécu. Il nous arrive parfois de détecter une odeur sans pour autant pouvoir la décrire. Il existe même des odeurs qu'on ne peut pas qualifier.

Pour dépasser ces barrières sémantiques, Doré et Jaubert ont développé en 1984 une méthode d'apprentissage des odeurs basée sur des références de base (molécules pures) positionnés dans un espace olfactif appelé « Champ des odeurs ». Cet outil utilise quarante-cinq notes odorantes de base qui permettent de décrire les odeurs industrielles dans l'environnement. Cette méthode permet d'apprendre un langage des odeurs sans tenir compte de ses évocations (Jaubert, Tapiero and Dore, 1995; Popa, 2013). Le « Champ des odeurs » a servi de base en 2016 au « langage des nez ». Ce langage simplifié en 24 notes odorantes, est destiné à être utilisé par le plus grand

nombre (particuliers, pompiers, surveillance de la qualité de l'air, mairie, bureaux d'études...)(Chaverou, El Idrissi and Petillon, 2016).

I.1.1.2.4. Le ton hédonique

Le ton hédonique (ou acceptabilité de l'odeur) fait référence au caractère agréable ou désagréable d'une odeur perçue par un individu. C'est la première information que nous renvoie notre cerveau lorsque nous percevons une odeur.

Cette appréciation n'est pas innée, elle dépend de facteurs psychologiques et culturels : l'éducation, la culture, la façon de s'alimenter et le cadre de vie de chaque individu. Même si la dimension affective d'une odeur est propre à chacun, quelques règles générales émergent sur le caractère hédonique des odeurs (Köster, 1991; Balez, 2001; Popa, 2013):

- Toute odeur agréable devient désagréable à de très fortes concentrations.
- Les réactions affectives d'un groupe sont associées à des habitudes et à des cultures.
- La tolérance vis-à-vis des odeurs désagréables diffère considérablement selon les personnes.

Les odeurs n'étant pas ressenties de la même manière partout, l'évaluation et la mesure de l'acceptabilité d'une odeur s'avère délicate dans une population par essence hétérogène. À ce jour, il n'existe pas d'échelle de mesure ni de descripteurs universellement acceptés pour évaluer l'acceptabilité d'une odeur.

Le guide européen VDI 3882-2 (1994) reste une référence pour évaluer l'acceptabilité d'une odeur. Il propose une échelle avec une classification de 9 points où : +4 est « extrêmement agréable », 0 est « neutre » et -4 est « extrêmement désagréable ». Cette classification a été utilisée par plusieurs auteurs comme Van Harreveld et al. (2001), Sucker et al. (2008).

I.1.1.3. De l'odeur à la nuisance odorante

L'odeur est une interprétation subjective et affective par le cerveau, résultant de la stimulation du système olfactif par un composé odorant ou un mélange de composés odorants (Ritter and Rozec, 2003). Cette stimulation peut conduire à une perception positive ou négative selon les caractéristiques de l'individu, son expérience, le contexte de la perception, etc. Si le ressenti est négatif, l'odeur constitue alors une nuisance odorante.

Van Harreveld définit la nuisance comme « un ensemble complexe de réactions humaines qui se produit à la suite d'une exposition immédiate à un facteur de stress ambiant (odeur) qui, une fois perçu, provoque une évaluation cognitive négative qui nécessite un certain degré d'adaptation » (Griffiths, 2014; Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016). L'IAQM précise que la nuisance est « l'expression d'un bien-être altéré provoqué par une perception olfactive négative dans un environnement (Freeman and Cudmore, 2002) ».

Le niveau de nuisance peut être différent d'un individu à l'autre en fonction de plusieurs facteurs (âge, sensibilité, santé, etc.). De la même manière, ce niveau de nuisance peut varier pour un même individu selon le lieu et le moment de la perception (EAUK, 2002).

La nuisance odorante existe lorsqu'une personne exposée à une odeur perçoit cette dernière comme indésirable. La nuisance peut, ou non, conduire à une gêne et à une action de plainte.

I.1.2. La gêne olfactive

Une exposition répétée à une nuisance odorante peut conduire les riverains d'une installation à l'agacement et au refus de l'odeur. Face à cette gêne, certains riverains portent plainte ou intentent des poursuites, alors que d'autres tentent de modérer leurs propres réactions émotionnelles (Van Harreveld, 2001).

I.1.2.1. Définition de la gêne olfactive

Si l'on interroge des riverains confrontés à une odeur désagréable, les avis diffèrent sur sa description, sur son caractère acceptable ou intolérable, sur la date du dernier épisode odorant, etc. La notion de gêne olfactive est alors difficile à caractériser puisque qu'elle ne dépend pas seulement des propriétés physiques ou chimiques des composés odorants en question mais aussi des caractéristiques du territoire et du processus de perception et d'évaluation des populations (Tansel and Inanloo, 2019).

En 1973, Lindvall et Radford ont proposé de définir la gêne olfactive comme une « sensation désagréable associée à un agent ou une condition pouvant affecter un individu ou un groupe » (Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016). Plus récemment, Jaubert considère que nous sommes gênés lorsque nous sommes dérangés par une odeur qui « polarise notre attention et nous empêche de nous concentrer sur nos activités » (Delva, Cobut and Fanlo, 2017). Van Harreveld la définit comme la conséquence d'une odeur spécifique qui provoque une appréciation négative chez

l'homme et nécessite une adaptation lorsqu'elle est perçue dans l'environnement de vie (domicile, travail, loisirs) (Van Harreveld, 2001).

La gêne olfactive affecte la qualité de vie et entraîne des changements de comportement tels que le manque de plaisir à rentrer chez soi, des tensions familiales ou des activités extérieures perturbées. La gêne ressentie peut être différente d'un individu à l'autre selon sa sensibilité, mais aussi pour un même individu selon le lieu et le moment de la perception (EAUK, 2002). Elle a des conséquences sur la qualité de vie des riverains et des conséquences indirectes sur le fonctionnement du territoire (NF EN 16841-2, 2016).

Les caractéristiques des odeurs (persistance, qualité, intensité, ton hédonique) et les caractéristiques d'émission (fréquence, durée) sont des facteurs importants dans la sensation de gêne olfactive. Pour autant, le niveau de gêne olfactive ressenti dépend de nombreux paramètres, plus subjectifs, liés à la fois à l'individu et à l'environnement. La sensibilité olfactive et l'état psychologique des individus (âge, état, genre, etc.), le moment de la perception, le cadre de vie, l'image de l'usine émettrice d'odeur, l'origine attribuée aux odorants, la météorologie (Jaubert, 2010a).

La variabilité de la qualité de l'odeur est également un facteur déclencheur de gêne. Une population peut être accoutumée aux odeurs émises par l'usine voisine : l'odeur est identifiée, acceptée et ne concentre plus toute l'attention. En revanche, la perception d'une odeur différente peut soulever une série de questions sur l'origine, la toxicité de l'odeur et aboutir à un ressenti négatif (nuisance), et à terme au sentiment de gêne olfactive.

I.1.2.2. La gêne olfactive à travers l'histoire

Notre rapport aux odeurs a évolué avec le temps. Il est le résultat de plusieurs siècles de pression culturelle (Muchembled, 2017). L'atmosphère des villes et villages européens du passé était chargée d'émanations nauséabondes issues entre autres des matières organiques en décomposition (sang des saignées, déjections animales et humaines, tripes et viscères près des abattoirs et des poissonneries) ou d'activités pestilentielles (tanneries, mégisseries, teintureries, fonderies de suif, etc.) (Muchembled, 2017). Ce paysage olfactif insupportable était aussi présent dans les centres urbains grandissants que dans les campagnes (Boni, 2022). L'augmentation de la population urbaine et l'industrialisation aggravent la situation jusqu'au développement du tout-à-l'égout à la fin du XIX^e siècle (Muchembled, 2017).

Dès la fin du Moyen Âge, on retrouve des traces de conflits ou de règlements anciens qui signalent un souci de salubrité ou une crainte de la souillure. En 1363, des étudiants

de l'université de Paris se plaignent de leurs voisins bouchers qui jettent le sang et leurs ordures dans la rue Sainte-Geneviève, et corrompent ainsi l'air tout autour de la place Maubert (Muchembled, 2017). À Villeneuve-lès-Béziers (Hérault), une ordonnance de 1513 interdit de faire des fumiers dans les rues et de mettre à tremper les lins et chanvres dans les « caves » ou fossés du village. A Lauzières (Hérault), des prescriptions sanitaires de la fin du XVI^e siècle interdisent le dépôt des immondices et le lavage des draps dans les fontaines. Ces règlements manifestent la peur d'une nouvelle épidémie, les épisodes de peste ayant marqué les esprits. L'odeur putride est perçue comme un simple désagrément ou comme un risque pour la santé des hommes et du bétail (Olivier, 2019).

L'odeur du cadavre semble avoir été la première à susciter le plus largement l'intolérance. Depuis les temps de peste, Corbin rappelle « qu'un lien direct s'est noué entre les odeurs et la mort » (Corbin, 1982). Les plaintes se multiplient aux abords des cimetières, par crainte d'une contamination. Ceux-ci sont peu à peu déplacés hors des murs de la ville ou abandonnés. À Paris, le cimetière de la Trinité est désaffecté en 1678, celui des Innocents est déplacé en 1780. L'odeur des cimetières inquiète toute la France. À Alès, « Mgr d'Avéjan demande et obtient, en 1722, le transfert du cimetière hors les remparts », mais trop petit et nauséabond, il sera à nouveau déplacé en 1753 (Chabrol and Vezon, 2017).

Selon Alain Corbin, l'acte décisif de cette « révolution olfactive » s'est joué à partir du milieu du XVIII^e siècle, au moment où les avancées scientifiques permettent de mieux conceptualiser les pollutions, les odeurs ou encore la transmission des maladies (Olivier, 2019). Sous l'influence des chimistes, l'air n'est plus simplement considéré comme un fluide élémentaire mais comme un mélange de gaz qui peut agir de multiples manières sur les corps. Les miasmes sont accusés de véhiculer des maladies (Corbin, 1982; Tran Ba Huy, 2010). Cette nouvelle conception amène à « redéfinir l'insupportable » et transforme l'imaginaire qui accompagne la perception olfactive. La population confère progressivement de plus en plus d'importance à l'air qu'elle respire (Pierrette, 2009). Ce qui était commun et accepté est devenu inacceptable. Ce discours, diffusé par les médecins, ravive les inquiétudes d'un air contaminé et amorce un mouvement de lutte contre le malsain et le malodorant, deux notions alors étroitement associées (Corbin, 1982). Cette confusion entre odeur nauséabonde et infection mortelle perdure jusqu'à la fin du XIX^e siècle (Pierrette, 2009). Cette nouvelle sensibilité se diffuse progressivement et affecte en premier lieu une « minorité progressiste alarmée » avant de déborder vers d'autres catégories sociales (Muchembled, 2017).

La gêne croissante ressentie provoque une véritable prise de conscience olfactive de la part des autorités politiques et médicales. Une stratégie sanitaire se met en place dès le début du XVIII^e siècle pour désinfecter, et donc désodoriser, l'espace public. Sous l'influence des hygiénistes, des travaux d'aménagement débutent pour éliminer la puanteur ambiante des villes et campagnes : on assèche les marais et on draine les zones humides, on canalise les immondices, on pave les rues, on déplace les activités malodorantes hors des murs de la ville, on organise les premiers ramassages d'ordures (Tran Ba Huy, 2010). Les lieux publics sont les laboratoires de la désodorisation : le lit unique est imposé dans les hôpitaux pour éviter la promiscuité et la contagion, les barreaux de prison remplacent les portes pour assurer la circulation de l'air, et des normes d'hygiène sont imposées dans les casernes militaires. Les miasmes sont combattus avec les premiers désinfectants chimiques comme l'eau de chaux, le noir animal ou le sulfate de fer (Corbin, 1982).

L'industrialisation de l'Occident apporte avec elle des fumées et de nouvelles odeurs qui font craindre un risque sanitaire. Face à ces nouvelles nuisances, des Conseils de Salubrité se créent dans les principales villes du royaume dès le début du XIX^e siècle. Ces conseils traduisent la nouvelle « vigilance olfactive » impulsée par les hygiénistes. Ils regroupent des chimistes, des médecins et des ingénieurs qui promulguent de nombreux décrets à l'efficacité relative (Tran Ba Huy, 2010).

La désodorisation de l'espace public s'accompagne de l'ascension de la notion de personne. Une fracture sociale émerge entre certains quartiers rénovés et aérés de la capitale et d'autres plus populaires. La désodorisation bourgeoise s'oppose à la puanteur prolétarienne. D'un côté le silence olfactif des classes supérieures, et de l'autre les « intouchables » nauséabonds que sont les prostituées, les vidangeurs, les égoutiers, les boyaudiers, les chiffonniers, les équarrisseurs ou les matelots (Corbin, 1982). Cette échelle sociale des odeurs traduit de nouvelles pratiques d'hygiène : le lavage à l'eau remplace progressivement le camouflage du parfum, le shampooing et le brossage des dents se développent progressivement chez les classes aisées (Tran Ba Huy, 2010).

À partir du XX^e siècle, l'achèvement du tout-à-l'égout et l'obligation de la poubelle libèrent les villes des odeurs d'ordures et d'excréments (Pierrette, 2009). L'attention olfactive se déporte sur l'industrialisation grandissante et ses nouvelles odeurs qui commencent à faire craindre un risque pour la santé, mais aussi pour l'environnement (Corbin, 1982). La législation se renforce pour réglementer les émissions en termes d'odeurs et de pollution. De nos jours, le secteur industriel a l'obligation de prendre

en compte les nuisances qu'il génère et ne doit pas dépasser certaines valeurs limite d'émission pour limiter la gêne ressentie par le voisinage.

Cette analyse historique montre que la tolérance face aux problèmes d'odeurs a fortement diminué. La désodorisation a fait naître en nous une sorte de « tolérance zéro » à tout ce qui perturbe le « silence olfactif » de notre environnement (Tran Ba Huy, 2010).

I.2. ÉVALUER LA GÊNE OLFACTIVE - LES APPROCHES A POSTERIORI

I.2.1. Évaluer la gêne olfactive : un enjeu social et économique

I.2.1.1. Pourquoi évaluer la gêne olfactive ?

En France, l'article L220-2 du code de l'environnement (aujourd'hui intégré dans la loi « Grenelle II » du 12 juillet 2010) considère une « nuisance olfactive excessive » comme une pollution. Cela implique de démontrer que la nuisance est excessive, et donc non tolérable (ADEME, 2005).

Le secteur industriel doit donc plus que jamais prendre en compte les nuisances qu'il peut générer et la gêne qui peut en résulter. Les industriels et les décideurs locaux sont souvent amenés à répondre aux plaintes des riverains, et le non-respect de la réglementation et/ou le manque de communication peuvent conduire à des conflits entre les riverains du site et l'industriel. L'évaluation de la gêne olfactive doit donc répondre aux plaintes de la population et s'assortir de propositions de solutions à l'industriel et d'une planification de leur mise en œuvre. Cette évaluation doit répondre à plusieurs questions (ADEME, 2005; Jaubert, 2010a) :

- Quelle est l'origine des conflits ?
- Quelle est la contribution relative des odeurs d'un site par rapport aux autres sources ?
- Quelles sont les conditions de fabrication spécifiques à l'origine de la nuisance et des plaintes ?
- Quelles sont les relations entre le mode d'exploitation, la météorologie et les nuisances odorantes perçues par les riverains ?
- Les solutions mises en œuvre pour réduire la gêne ont-elles été efficaces ? Pour limiter ces nuisances, des cadres réglementaires ont été progressivement institués pour contrôler les émissions.

I.2.1.2. Réglementation environnementale

La prise en compte de la problématique « odeurs » s'ébauche avec le décret impérial du 15 octobre 1810, édicté par Napoléon Ier. Il précise que « les manufactures ateliers qui répandent une odeur insalubre ou incommode ne pourront être formés sans une permission de l'autorité administrative » (Konz and Pourtier, 2008).

Depuis, les populations sont devenues de plus en plus attentives à la qualité de l'environnement et à leur cadre de vie (Conti, Guarino and Bacenetti, 2020). Ces nouvelles conventions culturelles ont été progressivement intégrées au contexte réglementaire. Seuls les textes réglementaires les plus marquants depuis la deuxième moitié du XX^e siècle sont présentés (Carre and Fanlo, 2006; Konz and Pourtier, 2008; Rognon and Pourtier, 2014) :

- La loi du 2 août 1961 constitue le texte de base dans la lutte contre les nuisances odorantes. Elle oblige les structures (établissements, industries) à tenir compte de leurs émissions dans l'atmosphère, de manière à « éviter les pollutions de l'atmosphère et les odeurs, qui incommodent la population [...] ». Elle confère également un pouvoir de sanction si les prescriptions ne sont pas respectées.
- Le décret du 13 mai 1974 définit la notion d'émission polluante : « par émission polluante, il y a lieu d'entendre l'émission dans l'atmosphère du gaz ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorants, de nature à compromettre la santé publique ou la qualité de l'environnement [...] ».
- La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE dite loi Lepage) du 30 décembre 1996 fixe des dispositions de surveillance de la qualité de l'air sur ses effets sur la santé et sur l'environnement. Elle abroge la loi de 1961, et propose une définition plus précise de la pollution atmosphérique. Elle considère les émissions odorantes excessives comme une pollution atmosphérique : « Constitue une pollution atmosphérique [...] l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à [...] provoquer des nuisances olfactives excessives ». Ces dispositions ont été par la suite intégrées dans le code de l'environnement par l'ordonnance du 18 septembre 2000.
- Des arrêtés concernant les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) généralement associées à des problèmes d'odeurs.
- Des arrêtés spécifiques à des secteurs d'activité tels que le traitement des eaux usées, les déchets, l'incinération, les papeteries...

Depuis les années 2000, dans un souci d'harmonisation des réglementations européennes et de prévention de la qualité de vie des riverains, la législation française a défini l'objectif de 5 unités odeur à ne pas dépasser 2 % du temps (soit 175 heures par an) (Rognon and Pourtier, 2014).

En résumé, les cadres réglementaires s'attachent à contrôler les émissions, mais prennent pour base la concentration d'odeur, c'est-à-dire sa persistance. Ils n'introduisent pas la notion d'acceptabilité de l'odeur, facteur pourtant essentiel dans l'évaluation de la nuisance.

I.2.2. Les méthodes pour évaluer l'impact odorant

La délimitation spatiale du panache odorant permet d'évaluer la portion du territoire impactée par une odeur. Plusieurs méthodes existent : la méthode du panache, la méthode de la grille et l'utilisation de logiciels de dispersion atmosphérique. Si la méthode du panache est encore largement utilisée en Allemagne, en Belgique et aux Pays-Bas, les logiciels de dispersion sont de plus en plus utilisés (P. 2 Guideline VDI 3940, 2006; Delva, Cobut and Fanlo, 2017).

I.2.2.1. Les méthodes du panache et de la grille

Les méthodes du panache et de la grille sont utilisées pour déterminer l'impact odorant d'une source spécifique à l'aide d'observation directe sur le terrain par les membres d'un jury dans des conditions météorologiques spécifiques (Guillot and Luillery, 2017). Au-delà de la simple délimitation du panache odorant, ces observateurs peuvent être utilisés pour évaluer d'autres caractéristiques des odeurs comme le ton hédonique ou l'intensité. Ces méthodes sont basées sur le protocole 3940 (parties 1 et 2) du Verein Deutscher Ingenieure (VDI), un organisme de normalisation allemand, et le code de bonne pratique flamand (VITO) (P. 1 Guideline VDI 3940, 2006; P. 2 Guideline VDI 3940, 2006; Bilsen, De Fré and Bosmans, 2008; Brancher *et al.*, 2017).

Des études ont expliqué comment adapter ces méthodes dans un contexte multi source (Nicolas, Craffe and Romain, 2006) ou comment coupler ces mesures avec un logiciel de dispersion (Van Langenhove and Van Broeck, 2001). Dans le cadre du Comité Européen de Normalisation (CEN/TC264 « Qualité de l'air »), les méthodes du panache et de la grille sont désormais normalisées au niveau européen : NF EN 16841-1 et 2. Ces méthodes fournissent une base commune aux États membres de l'Union Européenne pour déterminer la présence d'odeurs par inspection sur le terrain (NF EN 16841-2, 2016; Guillot and Luillery, 2017).

Un panel d'observateurs qualifiés (recrutés conformément à la norme EN 13725) est chargé de parcourir le territoire impacté par la nuisance odorante à différents moments avec des points d'observation fixe. Ces observateurs utilisent un protocole d'évaluation spécifique. Dans le cas de la méthode du panache, les mesures consistent à déterminer la présence ou l'absence d'odeurs identifiables (oui/non) sur plusieurs axes d'intersection perpendiculaires à la direction du vent. Dans le cas de la méthode de la grille, des observateurs effectuent des mesures de qualité (odeur de compost, d'eaux usées, etc.) d'une durée de 10 minutes chacune, en plusieurs points d'intersection de la grille.

L'étendue du panache est décrite par les points de transition entre l'absence et la présence de l'odeur reconnaissable. Les mesures doivent être de préférence effectuées lorsque l'atmosphère est neutre ou légèrement instable (entre les classes de stabilité B et E, selon les classes de stabilité atmosphérique de Pasquill). Ces conditions permettent une dispersion normale de l'odeur, qui peut donc être bien perçue par les membres du jury. Les conditions extrêmes de stagnation ou de dilutions excessives sont évitées (NF EN 16841-2, 2016; Delva, Cobut and Fanlo, 2017)

Les résultats de ces méthodes permettent d'évaluer un pourcentage du temps pendant lequel l'odeur est perçue dans une année. Bien que similaires, leur utilisation dépend de l'objectif de l'étude. La méthode du panache est davantage utilisée pour évaluer l'intensité de l'odeur à la source et/ou pour calibrer le logiciel de dispersion. La méthode de la grille, basée sur une mesure qualitative de l'odeur, est plutôt utilisée dans les procédures d'autorisation et de surveillance, ou dans la planification urbaine pour caractériser la charge odorante de la zone étudiée (P. 1 Guideline VDI 3940, 2006; P. 2 Guideline VDI 3940, 2006).

Cependant, les méthodes du panache et de la grille présentent certaines limites :

- Elles ne sont pertinentes que si l'émission à la source ne varie pas trop. Par exemple, les décharges ou les centres de compostage émettent des bouffées odorantes discontinues et diffuses en fonction de la phase de traitement des déchets (Nicolas, Craffe and Romain, 2006).
- Les conditions météorologiques doivent être stables pour effectuer les mesures. De plus, certains auteurs mettent en avant ces méthodes qui ne prennent pas en compte les micro variations atmosphériques. En effet, à quelques mètres d'un point de mesure, la perception peut être très différente (Mylne and Mason, 1991; Mylne, 1992; Nicolas, Craffe and Romain, 2006).

- L'environnement du site d'étude peut être difficile d'accès, ce qui rend les mesures rapides difficiles (Nicolas, Craffe and Romain, 2006).
- Ces méthodes sont lourdes et coûteuses à mettre en œuvre.

I.2.2.2. Les modèles de dispersion atmosphérique

Pour surmonter ces limites, un logiciel de dispersion atmosphérique est souvent utilisé pour délimiter l'impact odorant d'une source. Les modèles de dispersion atmosphérique permettent de simuler la façon dont les odeurs se dispersent dans l'atmosphère et ainsi déterminer les zones géographiques impactées par les nuisances odorantes. Ils sont indépendants de la perception humaine et prennent en compte les données d'émission du site, les données météorologiques sur au moins un an, l'occupation du sol et les bâtiments (Capelli *et al.*, 2012). Cette simulation est utilisée pour cartographier (2D ou 3D) l'impact odorant sur les riverains (Pourtier, Deiber and Piet, 2007).

Ces modèles de dispersion atmosphérique sont utilisés (ADEME, 2005; Pourtier, Deiber and Piet, 2007; Rognon and Pourtier, 2014) :

- Pour vérifier la conformité réglementaire de l'impact olfactif d'une industrie existante ou future.
- Pour dimensionner une installation en fonction d'un impact déterminé. Ces modèles de dispersion permettent d'anticiper une valeur limite de débit d'émission ou une hauteur minimale d'émission à la cheminée pour garantir un niveau d'odeurs acceptable pour les riverains.
- Comme outil d'aide à la décision. Ces modélisations apportent des éléments de réflexion quant aux mesures que l'exploitant peut être amené à prendre.

Selon le type d'activité, l'administration fixe une valeur de concentration d'odeurs (exprimée en unité d'odeurs) qui ne doit pas être dépassée plus de 2 % du temps, soit 175 heures par an (percentile 98). La valeur couramment utilisée est de 5 UO_E/m³. Cette valeur correspond au niveau de concentration d'odeurs pour lequel un individu est susceptible de reconnaître une odeur et donc d'être potentiellement gêné (EN 13725, 2003)(Pourtier, Deiber and Piet, 2007).

Les modèles de dispersion atmosphérique calculent généralement les « concentrations moyennes d'odeurs » sur une heure pour chaque récepteur du territoire d'étude. Cependant, la sensation de l'odeur dépend de la concentration momentanée (« pic ») de l'odeur. Pour évaluer ces « pics » un facteur dit « peak-to-mean » est utilisé afin de tenir compte de ces fluctuations. Ce facteur est calculé en divisant le pic de

concentration par la concentration moyenne sur une heure. La valeur de « peak-to-mean » appliquée diffère d'un pays à l'autre (Conti, Guarino and Bacenetti, 2020).

Il existe plusieurs types de modèles de dispersion atmosphérique : les modèles de dispersion gaussiens et les modèles tridimensionnels tels que les modèles eulériens et lagrangiens (ADEME, 2005; Pourtier, Deiber and Piet, 2007).

Le modèle de dispersion gaussien est le plus largement utilisé et le plus facile à mettre en œuvre. Ce modèle suppose que les odeurs sont émises par une ou plusieurs source(s) ponctuelle(s) (type cheminée), linéique(s) ou surfacique(s), dans des conditions d'émission constantes et des conditions météorologiques stationnaires. Ce type de modèle reste limité dans la prise en compte de certains écoulements complexes : relief marqué, obstacles. Un modèle de type intégral a été développé pour compléter l'approche gaussienne, notamment dans le cadre d'études sur la dispersion des gaz plus denses que l'air (ADEME, 2005).

Les modèles tridimensionnels décrivent la dispersion atmosphérique d'un panache d'odeurs dans les trois dimensions dans des conditions météorologiques non stationnaires. Les modèles lagrangiens et eulériens sont basés sur la résolution des équations de la mécanique des fluides telles que la conservation de la masse, du mouvement et de l'énergie (ADEME, 2005; Pourtier, Deiber and Piet, 2007). Ils modélisent la dispersion du panache dans un environnement complexe en tenant compte des variations des paramètres météorologiques, des obstacles et des reliefs abrupts. Ils ont l'avantage de prendre en compte les différentes phases de fonctionnement d'une installation dans le temps et ainsi d'identifier les pics d'émissions d'odeurs. Ces modèles tridimensionnels permettent une analyse détaillée de la dispersion dans le temps mais nécessitent des temps de calcul très long (de 20 minutes à quelques heures pour un scénario avec un rejet d'une heure), et donc des coûts plus élevés (Pourtier, Deiber and Piet, 2007).

Le choix du modèle dépend de plusieurs critères tels que la topographie, les conditions météorologiques locales, l'échelle d'étude, le type de sources (Pourtier, Deiber and Piet, 2007; Rognon and Pourtier, 2014). Quel que soit le modèle utilisé, ils doivent être validés sur le terrain pour évaluer leur fiabilité (Capelli *et al.*, 2013). Ils constituent les outils de base nécessaires à la réflexion et à la prise de décision (ADEME, 2005).

I.2.2.3. Les données météorologiques

Les données météorologiques doivent être obtenues à partir d'une station de surveillance représentative. Les données peuvent provenir de différentes sources (Bull *et al.*, 2018) :

- Une station météorologique représentative (station météorologique, aéroport) ;
- Une station météorologique sur site ;
- Si aucune station n'est disponible, ou si le site présente des caractéristiques locales spécifiques susceptibles d'influencer la dispersion de manière significative, il convient d'envisager l'utilisation de données météorologiques prédictives telles que les NWP (Numerical Weather Prediction).

Plusieurs années de données météorologiques sont nécessaires pour évaluer les variations interannuelles. L'agence de l'environnement du Royaume-Uni suggère d'utiliser des données météorologiques horaires sur au moins trois ans pour représenter les conditions d'une « année moyenne » (Environment Agency, 2011). L'institut pour la gestion de la qualité de l'air du Royaume-Uni (IAQM) recommande quant à lui de modéliser des années individuelles et d'utiliser cinq années de données. Ces cinq années peuvent être utiles pour rapporter chaque résultat et ainsi démontrer la variation des concentrations prédites. Dans tous les cas, les conclusions doivent se baser sur les résultats les plus défavorables (Bull *et al.*, 2018).

I.2.3. Les méthodes existantes pour évaluer la gêne olfactive

Nous l'avons précisé précédemment, une nuisance odorante peut être tolérée ou non selon le niveau de gêne qu'elle provoque, en fonction du contexte de perception, de l'effet associé à l'odeur, de la fréquence de perception, de la crainte qu'elle suscite pour la santé ou de la crainte d'une dépréciation de la valeur d'un bien. C'est pourquoi la gêne olfactive doit être évaluée directement auprès des riverains, car ils sont les seuls à pouvoir exprimer leur ressenti. (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2014; Delva, Cobut and Fanlo, 2017).

Aucune procédure définitive n'a encore été approuvée pour évaluer la gêne olfactive ressentie par les riverains. L'association Française de normalisation (AFNOR) précise dans la norme NF X 43-103 qu'« il n'est possible d'utiliser directement ni le facteur de dilution au seuil de perception, ni l'intensité de l'odeur pour mesurer la gêne éventuellement provoquée par les odeurs, puisqu'il n'existe pas de relation simple entre le facteur de dilution au seuil de détection, l'intensité de l'odeur et son caractère agréable ou désagréable. La mesure de ce caractère appelle une démarche particulière qui tient compte des réactions de la population concernée » (NF X43-103, 1996).

Plusieurs méthodes existent. Chacune a ses avantages, ses limites et ses applications privilégiées (Bull *et al.*, 2018). Elles sont mises en place dans le milieu récepteur, là où il est possible de caractériser la perception olfactive des riverains. D'après la littérature,

on peut distinguer trois catégories de méthodes pour évaluer la gêne olfactive *a posteriori*, c'est-à-dire une fois que les problèmes d'odeurs sont apparus : les enquêtes auprès de la population, les jurys de riverains et l'analyse de plaintes (ADEME, 2005; Nicolas *et al.*, 2010; Rognon and Pourtier, 2014; Delva, Cobut and Fanlo, 2017; Bull *et al.*, 2018).

I.2.3.1. Les enquêtes auprès des riverains

Le sentiment de gêne olfactive peut être lié à d'autres problèmes que celui des odeurs : sentiment de dégradation de l'environnement, dépréciation des biens, promesses non tenues, etc. On distingue dans la littérature deux méthodes qui utilisent l'enquête pour évaluer la gêne olfactive : les enquêtes d'opinion et l'analyse de conflits. L'objectif de ces méthodes est de révéler les préoccupations des habitants gênés, d'évaluer l'importance du problème et de connaître ses véritables origines (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2010).

I.2.3.1.1. L'analyse de conflits

L'analyse de conflits est menée sous la forme d'entretiens semi directifs avec des riverains qui se plaignent d'odeurs. L'enquêteur permet aux riverains de parler librement de l'industrie avec des questions du type « je voudrais que vous me parliez de l'industrie X ». Si besoin, il aborde la question des odeurs et demande de les décrire (ADEME, 2005).

Une fois les entretiens réalisés, les différents thèmes abordés par les riverains (histoire du site, relations entre l'exploitant et les riverains, propositions d'amélioration, souhaits pour l'avenir, etc.) sont analysés. Une analyse linguistique permet également de comptabiliser le nombre de phrases dans lesquelles les mots liés aux odeurs sont associés à d'autres thèmes (toxicité, dépréciation du patrimoine, nuisance, etc.) (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2010).

Les résultats de ces analyses permettent de caractériser la représentation qu'ont les riverains du site émetteur en général, et de ses odeurs en particulier (Rognon and Pourtier, 2010; Popa, 2013). Ces résultats sont ensuite présentés dans un rapport aux riverains, à l'exploitant et aux décideurs locaux pour prendre connaissance des observations de la population et présenter des solutions de traitement. L'analyse de conflits ouvre le dialogue entre les différents acteurs et permet d'identifier et de caractériser les sources d'odeur (ADEME, 2005).

I.2.3.1.2. Les enquêtes d'opinion

Les enquêtes d'opinion prennent la forme d'un questionnaire adressé à la population. Elles peuvent être réalisées directement en face-à-face, par téléphone ou par l'envoi d'un coupon-réponse (Van Broeck and Van Langenhove, 2000). L'objectif de l'enquête est de déterminer si les habitants d'un territoire sont gênés par les odeurs provenant d'un site industriel voisin. Ces enquêtes sont généralement basées sur la directive allemande VDI 3883-I, les caractéristiques du site émetteur et du territoire étudié (Guideline VDI 3883, 1997).

Pour établir une cartographie de la perception de la gêne, la zone géographique étudiée est divisée en îlots selon la densité de population, le type d'habitat ou le relief. Ce découpage doit assurer la représentativité de l'échantillon et représenter au mieux la population de la zone d'étude (tranches d'âge, sexe, type d'habitat, CSP, etc.) (ADEME, 2005; Nicolas *et al.*, 2010; Popa, 2013).

Le thème du questionnaire est présenté comme une enquête sur l'environnement et le cadre de vie. Pour éviter tout biais dans les résultats, d'autres facteurs de nuisance comme le bruit sont abordés de la même manière que les odeurs (Pierrette, 2009)

I.2.3.2. L'analyse des plaintes

La plainte est l'une des formes les plus courantes d'expression de la gêne ressentie par les populations. L'analyse de ces plaintes peut servir à localiser les zones sensibles, à identifier et prévenir les situations exceptionnelles de l'industrie ou à vérifier l'efficacité des traitements à la source (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2010; Delva, Cobut and Fanlo, 2017). Cette analyse de plaintes doit mettre en relation le fonctionnement du site avec les données météorologiques correspondant à la période du dépôt de plainte (Pierrette, 2009).

Dans la pratique, la plupart des plaintes ne font pas l'objet d'une analyse au travers d'une étude de site, elles sont simplement enregistrées par l'organisme qui les reçoit (Popa, 2013). La qualité des informations apportées par les plaintes repose essentiellement sur la qualité de leur collecte (EAUK, 2002). Des structures de centralisation (caserne de pompiers, DREAL, mairie, industriel, structures spécialisées) permettent de consigner les informations comme la fréquence des plaintes, le nombre de plaignants, les événements auxquels elles se rapportent (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2010; Delva, Cobut and Fanlo, 2017). Encore faut-il que le riverain ait connaissance de l'existence de ce registre.

Néanmoins, l'analyse de ces plaintes doit être interprétée avec vigilance car les plaintes recueillies représentent une faible proportion des gens réellement gênés. Une grande

partie de la population ne porte jamais plainte tandis que d'autres se plaignent souvent. Il faut garder à l'esprit que les plaintes sont déposées en dehors de tout protocole, principalement lors d'épisodes odorants importants. Elles sont souvent induites par l'accumulation répétée d'épisodes odorants ou une odeur soudaine avec un niveau excessif, par la volonté de faire pression sur les décideurs ou par crainte pour la santé (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2010). De plus, porter plainte dépend de l'accessibilité des autorités locales, de la conviction que la plainte aura un effet, mais aussi des informations communiquées par les médias ou les groupes d'actions (Guideline VDI 3883, 1993). Les plaignants ne sont donc pas représentatifs de l'ensemble des personnes gênées (Jaubert, 2010b).

Pour pallier ces limites, Jaubert distingue les plaintes spontanées des plaintes sollicitées. Dans le cadre de plaintes sollicitées, les riverains sont incités à reporter les odeurs perçues selon un protocole prédéfini (Jaubert, 2010b). Dès qu'un riverain se sent gêné par une odeur, il est invité à reporter son observation dans un « journal des odeurs ». Il permet ainsi de suivre les événements odorants à court et à long terme (Nicolas *et al.*, 2010).

En conclusion, l'analyse des plaintes permet d'évaluer l'importance du problème. Elle fournit un bon indicateur des incidents industriels mais ne suffit pas pour évaluer un niveau de gêne général (Pierrette, 2009).

I.2.3.3. Les observatoires des odeurs/comité de riverains

Les observatoires des odeurs ou comités de riverains sont couramment mis en place par les industriels pour gérer les nuisances occasionnées par leurs activités sur les riverains (Daniel, 2016). Ils représentent une structure de suivi des odeurs et des nuisances odorantes. Selon la problématique, ils sont mis en place pour une période de quelques mois, pour répondre à une problématique particulière d'un industriel, ou à long terme avec un rôle de surveillance de manière à couvrir toutes les conditions météorologiques ainsi que les diverses conditions de fonctionnement de l'industrie. La constitution d'un comité de riverains s'accompagne généralement d'une structure de suivi des observations qui assure la collecte et le stockage des informations des riverains, des données météorologiques et de fonctionnement du site émetteur. Le comité de riverains va permettre de mesurer la fréquence des épisodes odorants, d'identifier les origines de la nuisance, mais aussi de calculer et de suivre l'évolution d'un indice de gêne (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2010).

Les riverains sont recrutés par voie postale, par l'utilisation des supports d'informations locaux (affichage, presse), à l'occasion de dépôt de plainte ou lors de

manifestations de communication (expositions, journées portes ouvertes). Ces volontaires sont, si possible, bien répartis sur le territoire d'étude et représentatifs d'une population appréciée sur des critères socioprofessionnels (ADEME, 2005; Rognon and Pourtier, 2010). Les riverains reçoivent généralement une rapide formation permettant de s'accorder sur les différents types d'odeurs perçues et sur les pratiques de reconnaissance et de relevés (Daniel, 2016). Ils doivent rendre compte des événements odorants en utilisant une méthodologie systématique, généralement à l'aide d'un « journal des odeurs » (Hayes, Stevenson and Stuetz, 2014). Ils pourront y décrire de manière régulière ou spontanée les odeurs rencontrées : origine, intensité, durée, ton hédonique, caractère irritant et les éléments circonstanciels (date, heure, position).

Ces comités de riverains révèlent les enjeux associés à la gestion de la nuisance odorante. La gêne olfactive ne correspond pas seulement à une forme d'intrusion anxigène dans les espaces de vie, elle implique également une dépréciation du patrimoine immobilier riverain (Daniel, 2016). Néanmoins, ce dispositif comporte ses propres formes d'incertitude : variabilité des sensibilités des observateurs, problème d'assiduité et de maintien des volontaires, précision des signalements, maintien de la mémoire olfactive dans le temps (Pierrette and Moch, 2009; Rognon and Pourtier, 2014).

I.2.4. Synthèse

Les méthodes présentées ci-dessus sont mises en place dans le milieu récepteur, là où il est possible de caractériser la perception des riverains. Ces méthodes ne sont mises en place qu'une fois les problèmes d'odeurs objectivés sur le territoire. Elles sont généralement utilisées pour identifier la source de la nuisance, suivre l'évolution de la situation odorante ou encore ouvrir le dialogue entre les différents acteurs. Le choix d'une méthode par rapport à une autre dépendra de l'objectif de l'étude, de la source de l'odeur ainsi que des caractéristiques de la population.

Ces méthodes se basent sur une représentation individuelle de la gêne olfactive (Popa, 2013). Elles s'appuient généralement sur un petit échantillon de la population qui englobe des conditions de perception différentes pour chaque individu (Sucker, Both and Winneke, 2001). Elles ne permettent pas une évaluation globale de la gêne olfactive sur un territoire mais plutôt de se faire une image de la perception des populations. En termes de représentation cartographique, une évaluation collective de la gêne olfactive semble davantage adaptée pour la gestion et l'anticipation des problèmes d'odeurs sur un territoire (Popa, 2013).

Une évaluation collective de la gêne olfactive sur un territoire nécessite de s'intéresser aux caractéristiques de la source d'odeurs, mais aussi aux récepteurs et à leur environnement au moment de la perception. Cette évaluation doit dépasser les réglementations actuelles qui se basent toujours sur la simple concentration de l'odeur pour évaluer l'exposition. Celles-ci doivent intégrer une méthode pour évaluer la réponse des populations en s'appuyant sur les caractéristiques du territoire et des enjeux en présence.

I.3. UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE POUR CARACTERISER LA VULNERABILITE DU TERRITOIRE

La notion de territoire, qui peut être considérée de prime abord comme un concept géographique, est au cœur des débats politiques, économiques, scientifiques. La définition de territoire est polysémique et débattue. Pour Gaimard, le territoire peut être défini comme un système, un espace délimité, approprié, organisé où interagissent les différents acteurs qui le composent et le font vivre (Gaimard, 2019). Dans le rapport final du projet ESPON 2.3.2 de la commission européenne sur la gouvernance territoriale, le territoire est considéré comme un ensemble complexe de valeurs et de ressources, de biens communs matériels et immatériels, comme un « fait » politique et économique, une « construction sociale » dérivant de l'action collective de groupes, d'intérêts et d'institutions (European Commission, 2006).

La notion de vulnérabilité fait l'objet de nombreuses recherches pluridisciplinaires puisqu'elle recouvre de nombreuses dimensions : géographique, sociologique, démographique, sanitaire, économique, politique, etc (Gaimard, 2019). Tout comme la notion de territoire, la définition de vulnérabilité est débattue. Plusieurs définitions coexistent selon les disciplines et les enjeux considérés. Wisner *et al* (2004) traduisent la vulnérabilité comme les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe, et de leur environnement qui influencent leur capacité à anticiper, à faire face, à résister et à se rétablir de l'impact d'un aléa (Wisner *et al.*, 2004). Dans le domaine de l'analyse des risques, la vulnérabilité d'un enjeu (naturel, humain, économique, etc.) désigne « l'ensemble des faiblesses ou défaillances susceptibles de le dégrader ou d'interrompre son fonctionnement, voire de le détruire, quelles qu'en soient les causes » (D'Ercole and Metzger, 2009). La vulnérabilité implique une combinaison de facteurs qui déterminent la mesure dans laquelle un enjeu peut être menacé. La vulnérabilité d'un enjeu peut être évaluée selon plusieurs critères : la sensibilité aux dommages, le degré de dépendance, la capacité d'adaptation, la résilience (Géoconfluences, 2021b).

En géographie, la combinaison de ces deux notions a fait émerger le concept de vulnérabilité territoriale. Les sections suivantes s'intéressent aux différentes approches développées autour de ce concept, ainsi qu'aux méthodes utilisées dans le domaine de l'évaluation des risques pour évaluer la vulnérabilité d'un territoire.

I.3.1. Concept de vulnérabilité territoriale en géographie

Les études de risques analysent généralement la vulnérabilité d'un territoire d'après plusieurs aspects selon l'aléa considéré : inondation, incident technologique, feux de forêt, etc. Depuis les travaux des géographes Michael Watts et Hans-Georg Bohleen en 1993 sur « *Vulnerability of Space* », de Susan Cutter en 1996 sur « *Hazard of place model of vulnerability* », les recherches sur la vulnérabilité accordent de plus en plus d'importance à la dimension spatiale dans leurs études (Etzold and Sakdapolrak, 2016). Leurs travaux ont contribué à élaborer des méthodes et des techniques d'analyse des risques qui tiennent compte des multiples aspects de la vulnérabilité d'une ville ou d'un territoire (Sapountzaki *et al.*, 2009). Plusieurs approches ont été développées autour du concept de vulnérabilité territoriale. On synthétise ici trois approches, formulées entre 2005 et 2016, apportant chacune un point de vue différent sur ce concept.

Le projet européen ESPON 1.3.1 sur les effets spatiaux et le management des risques naturels et technologiques en Europe (2005) n'utilise pas encore le terme de vulnérabilité territoriale mais celui de vulnérabilité régionale ou de vulnérabilité des centres urbains (Schmidt-Thomé *et al.*, 2005). Ce projet suit l'approche de Cutter (1996) qui définit la vulnérabilité d'un lieu comme la combinaison d'une probabilité d'exposition aux aléas et une probabilité de survenue de conséquences défavorables dans une zone géographique spécifique (Cutter, 1996). Cela signifie que l'exposition aux aléas est considérée comme un élément interne (inhérent) de la vulnérabilité d'un lieu, contrairement aux approches classiques de l'analyse des risques qui distinguent le potentiel de danger et la vulnérabilité des enjeux. L'évaluation de la vulnérabilité est spécifique au lieu et non pas à l'aléa. Cette vulnérabilité régionale (ou des centres urbains) recouvre la vulnérabilité biophysique et la vulnérabilité sociale. Le potentiel de danger est filtré par le contexte géographique (site, situation, proximité) et les caractéristiques des personnes exposées (indicateurs socio-économiques, perception du risque, capacité de réaction). Dans le cadre du projet ESPON, la vulnérabilité agit soit comme un facteur d'intensification, soit comme un facteur d'atténuation du potentiel de danger (Sapountzaki *et al.*, 2009).

En 2009, D'Ercole et Metzger développent le concept de vulnérabilité territoriale. Ils proposent un autre point de vue sur l'évaluation de la vulnérabilité qui repose sur un ensemble d'interrelations entre les enjeux et le territoire. Cette approche permet de focaliser l'attention sur les enjeux majeurs du territoire et de s'affranchir du type d'aléa considéré (Sapountzaki *et al.*, 2009). Selon D'Ercole et Metzger (2009), ce concept renvoie à l'idée qu'il existe, au sein de tout territoire, « des éléments localisables susceptibles d'engendrer et de diffuser leur vulnérabilité à l'ensemble d'un territoire, provoquant des effets qui peuvent perturber, compromettre, voire interrompre son fonctionnement et son développement ». Celui-ci repose sur deux mécanismes de transmission de la vulnérabilité : la vulnérabilité d'un enjeu se transmet à l'ensemble du territoire par dépendance, et la vulnérabilité d'un espace se transmet aux enjeux par localisation. Cette approche se concentre sur l'identification et la localisation des principales entités vulnérables, quel que soit le type d'aléa, puisqu'elles sont essentielles au fonctionnement du territoire. L'objectif n'est pas de représenter les éléments ou espaces vulnérables face à un aléa contrairement aux approches classiques, mais de mettre en avant les lieux particulièrement sensibles « générateur de vulnérabilité » pour le reste du territoire (D'Ercole and Metzger, 2009).

Les géographes Etzold et Sakdapolrak (2016) proposent une autre approche pour aborder la vulnérabilité d'un territoire : la vulnérabilité socio-spatiale (Etzold and Sakdapolrak, 2016). Celle-ci se base sur les relations entre les multiples formes de spatialité identifiées par Jessop *et al* (2008) : lieu, réseau, territoire et échelle (Jessop, Brenner and Jones, 2008). Cette analyse « polymorphe » de la vulnérabilité étudie le déroulement dynamique des catastrophes et l'expérience de la vulnérabilité des enjeux. Cette perspective géographique met en avant une analyse multi-scalaire de la vulnérabilité en tenant compte des pratiques spatiales des personnes, des réseaux qui connectent les lieux et des spécificités du territoire.

Les approches présentées ci-dessus offrent un cadre conceptuel pour évaluer la vulnérabilité d'un territoire en remettant en cause la primauté de l'aléa dans les études de risque. La vulnérabilité des enjeux est évaluée selon les caractéristiques du territoire, et non pas seulement selon l'aléa considéré. Ces approches établissent des relations entre les vulnérabilités d'entités géographiques complexes (sociale, biophysique, économique, culturelle, institutionnelle, organisationnelle, etc.) pour évaluer la résistance et le potentiel de résilience d'un territoire. Selon le contexte démographique, géographique, économique, social, culturel ou politique, un territoire ne produit pas les mêmes vulnérabilités. Finalement, plusieurs cartographies de la vulnérabilité territoriale sont produites à différentes échelles. Même si elles sont encore

peu utilisées, elles offrent des éléments de réflexion pour de futures recherches dans le domaine de la vulnérabilité du territoire.

I.3.2. Caractériser la vulnérabilité d'un enjeu

Le concept de vulnérabilité n'est pas nouveau, mais le contexte actuel le replace au cœur de nombreux sujets de recherche : réchauffement climatique, sécurité alimentaire, risques naturels, etc. (Vogel and O'Brien, 2004).

En pratique, le concept interdisciplinaire de la vulnérabilité conduit à une multitude d'approches, généralement adaptées au type d'enjeu considéré. On retient la classification de Cardona qui distingue trois grandes dimensions de la vulnérabilité (Cardona *et al.*, 2012):

- La dimension environnementale. Celle-ci recouvre les systèmes physiques structurels (bâtiments, industries, infrastructures, etc.) et les écosystèmes potentiellement vulnérables (îles, déserts, zone côtière, région montagneuse, etc.), l'impact sur ces systèmes (inondation, migration, etc.), la réponse ou l'adaptation à des conditions environnementales.
- La dimension sociale. Multifforme et transversale, elle s'intéresse principalement à l'organisation sociétale et collective plutôt qu'aux individus. Celle-ci recouvre la démographie, les migrations, les groupes sociaux, l'éducation, la santé, le bien-être, la culture, les institutions, la gouvernance, etc.
- La dimension économique. Celle-ci désigne la vulnérabilité d'un système économique (public ou privé) à subir des dommages et pertes potentielles causées par un aléa.

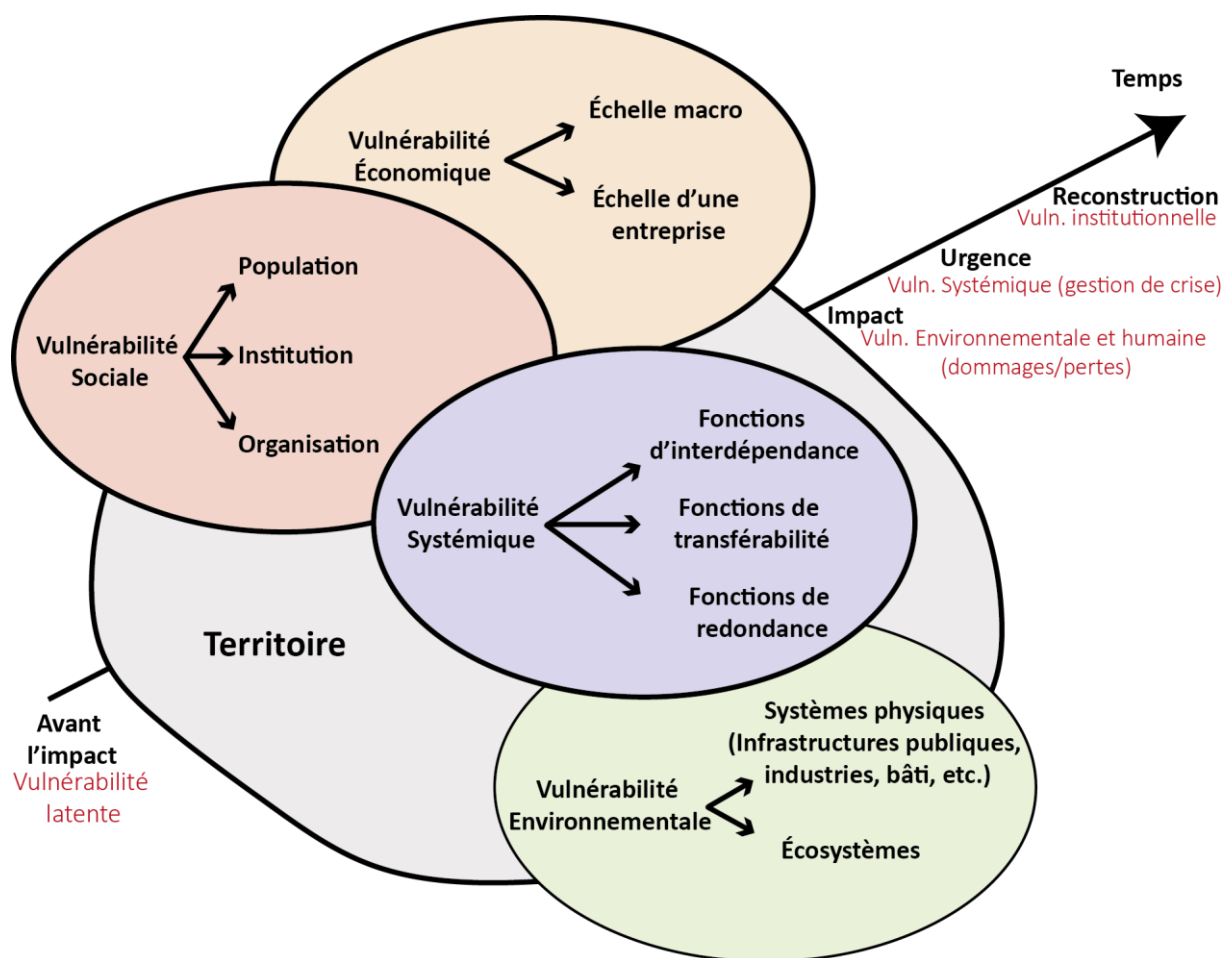


Figure 2 : Schéma intégrant les différents types de vulnérabilité au niveau temporel et spatial. (Van der Veen et al., 2009)

À l'échelle d'un territoire, plusieurs enjeux avec une certaine vulnérabilité coexistent avec des liens plus ou moins établis entre eux (Figure 2). Ces différentes vulnérabilités sont interconnectées et il est par conséquent important de prendre en compte ces interrelations (Foerster et al., 2009). En somme, la vulnérabilité est multidimensionnelle et différentielle (Vogel and O'Brien, 2004):

- Elle varie dans l'espace physique et au sein des groupes sociaux ;
- Elle dépend de l'échelle de représentation et des unités d'analyse (individus, ménages, régions, systèmes) ;
- Et elle est dynamique car les caractéristiques de la vulnérabilité évoluent dans le temps.

En pratique, les études qui portent sur la vulnérabilité d'un territoire cherchent à identifier, caractériser et hiérarchiser les enjeux et les espaces soumis à une certaine vulnérabilité. Les méthodologies utilisées pour évaluer la vulnérabilité dépendent de l'enjeu et du type d'aléa considéré, de l'échelle de représentation, de la qualité et de la

quantité des données disponibles. Un ou plusieurs indicateurs sont sélectionnés pour caractériser la vulnérabilité d'un enjeu (Tableau 1). Selon les méthodologies, ces indicateurs peuvent être combinés, pondérés, puis intégrés dans une fonction d'évaluation de la vulnérabilité.

Vulnérabilité	Indicateurs
Démographie	Croissance démographique
	Densité de population
	Pression démographique
Santé	Nombre de médecins (pour 1000 habitants)
	Nombre de lits d'hôpitaux
	Espérance de vie
Sociale	Taux d'illettrisme
	Décentralisation
	Niveau de pauvreté
Économie	PNB par habitant
	Inflation
	Chômage
Dépendance et qualité de l'environnement	Forêts et surfaces boisées
	Dégradation anthropique des sols

Tableau 1 : Exemples d'indicateurs de vulnérabilité utilisés dans le cadre d'études sur les risques naturels (adapté du projet européen ENSURE, 2009)

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) distingue les méthodes utilisées pour évaluer la vulnérabilité des systèmes physiques et des écosystèmes (vulnérabilité environnementale), et les méthodes utilisées pour évaluer la vulnérabilité socio-économique (Foerster, 2009) :

- De manière générale, l'évaluation de la vulnérabilité environnementale s'appuie sur des méthodologies qualifiées de déterministes car elles permettent de quantifier des dommages potentiellement induits par la survenue d'un aléa (Birkmann *et al.*, 2013). L'évaluation de la vulnérabilité environnementale débute par l'établissement d'une typologie des enjeux exposés. Un indicateur

de vulnérabilité (valeur numérique) ou une fonction de fragilité est ensuite attribué à chaque élément de la typologie. Cette fonction permet, selon le type d'aléa considéré, de quantifier la probabilité que celui-ci atteigne un niveau de dommages donné.

- L'évaluation de la vulnérabilité socio-économique permet d'identifier un groupe de facteurs sociaux, économiques et/ou environnementaux pour estimer, surveiller et réduire la vulnérabilité. Cette évaluation repose généralement sur des méthodologies qualifiées de probabilistes puisqu'elles s'appuient sur diverses corrélations pour décrire la vulnérabilité de manière qualitative (« faible », « modérée », « élevée ») (Birkmann *et al.*, 2013). Un indicateur de vulnérabilité (traduit sous la forme d'une valeur numérique) est ensuite intégré dans une fonction plus globale d'évaluation du risque.

Les méthodes d'évaluation des risques sont généralement développées pour un type d'aléa considéré. En ce sens, ces méthodes n'évaluent pas la vulnérabilité globale d'un territoire mais la vulnérabilité d'un enjeu particulier soumis à un type d'aléa. Il est donc important de choisir la méthode la plus adaptée en fonction des objectifs de l'évaluation et du contexte géographique, climatique, social et économique du territoire.

I.3.3. Synthèse

La vulnérabilité des territoires est un sujet qui prend de l'importance dans le contexte actuel de changement climatique, de pression économique et sociale. Celle-ci se réfère à la capacité d'un territoire à faire face aux risques et aux menaces (d'origine naturelle ou humaine) qui pèsent sur lui.

Au sein d'un territoire, différents enjeux coexistent avec des relations plus ou moins établies entre eux. Le concept de vulnérabilité territoriale issu du domaine de la géographie s'attache à faire le lien entre les différents enjeux présents pour évaluer la vulnérabilité d'un territoire, quel que soit le type d'aléa considéré. En pratique, les méthodes abordées sont complexes à mettre en place et sont rarement utilisées.

En général, les études qui cherchent à évaluer la vulnérabilité d'un territoire utilisent des méthodologies qui se basent principalement sur des indicateurs spécifiques aux enjeux et aux aléas considérés. La mise en place de ces méthodes dépend grandement des objectifs de l'évaluation et des caractéristiques du territoire étudié.

De ce constat, on peut se demander comment caractériser la vulnérabilité d'un territoire exposé à une nuisance odorante ? Comment prendre en compte la réponse

des riverains vis-à-vis de cette nuisance dans l'évaluation de la vulnérabilité du territoire ? Existe-t-il des méthodes, et si oui, comment les intégrer dans une méthode de prévision de la gêne olfactive ?

I.4. PREVOIR LA GENE OLFACTIVE

Prévoir l'impact d'une future industrie odorante sur un territoire s'inscrit dans une démarche différente, parfois complémentaire des méthodes d'évaluation *a posteriori* de la gêne olfactive. L'objectif de ces méthodes prédictives est de proposer une aide à la décision destinée aux acteurs impliqués pour gérer de manière proactive des problèmes d'odeurs sur un territoire.

Ces méthodes prédictives s'appuient sur les méthodes *a posteriori* présentées ci-dessus mais aussi sur les méthodes d'évaluation des risques pour prévoir l'impact odorant d'un futur site industriel sur un territoire. La mise en place de ces méthodes nécessite une approche spatiale, qui ne tient pas seulement compte de l'aléa mais aussi du territoire et des récepteurs exposés en évaluant le niveau de risque comme le croisement entre un potentiel danger et une vulnérabilité (Tixier *et al.*, 2006).

I.4.1. Pourquoi prévoir la gêne olfactive ?

Il y a deux principales raisons d'utiliser un modèle prédictif d'évaluation de la gêne olfactive. Le souhait d'évaluer l'impact odorant potentiel d'un projet industriel, ou celui de déterminer l'emplacement privilégié d'un futur site industriel.

Lorsque l'industriel est déjà en place, il est possible de combiner les méthodes empiriques d'évaluation de la gêne olfactive avec des méthodes prédictives. En revanche, pour évaluer l'impact odorant d'une future installation, aucune observation empirique ne peut être réalisée. Il doit être modélisé à l'aide d'un logiciel de dispersion (Bull *et al.*, 2018). Ces deux cas de figure permettent deux niveaux de prévision :

- 1^{er} niveau : le site est déjà en place et il est possible d'effectuer des mesures d'émission sur site. Seuls les enjeux présents sur le territoire sont modélisés.
- 2^e niveau : le site n'existe pas et les émissions sont estimées par analogie à d'autres sites existants.

I.4.2. Évaluer et prévoir les effets de la nuisance : les facteurs FIDOL

En 1995, Watts et Sweeten définissent un modèle d'impact environnemental des odeurs à partir de quatre facteurs : la fréquence (F), l'intensité (I), la durée (D) et le ton hédonique (O), créant ainsi le FIDO (Watts and Sweeten, 1995). Plus tard, Freeman et Cudmore intègrent la localisation (L), c'est-à-dire la sensibilité du milieu récepteur,

créant ainsi l'acronyme FIDOL (Freeman and Cudmore, 2002). Ce dernier facteur est étroitement lié à la prévision et à l'attente de l'agrément d'un certain emplacement urbain ou géographique (Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016).

Bien que les réactions individuelles aux odeurs soient très variables, ces cinq facteurs interdépendants sont reconnus par la littérature et les instituts environnementaux de plusieurs pays (Nouvelle-Zélande, Australie, Royaume-Uni) comme des facteurs déterminants pour évaluer l'effet d'une nuisance odorante (ERM, 2012; MfE, 2016; Bull *et al.*, 2018). On détaille ci-dessous l'utilisation de ces cinq facteurs FIDOL et leur évaluation dans plusieurs méthodes permettant d'évaluer et de prévoir l'effet d'une nuisance odorante (Nicell, 2009; Popa, 2013; Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016).

I.4.2.1. Fréquence, Intensité et Durée

Les facteurs de fréquence, d'intensité et de durée sont inextricablement liés dans l'expression du sentiment de gêne (Nicell, 2009). Une odeur de forte intensité se produisant pendant une courte période est susceptible de provoquer un type d'effet négatif différent de celui d'une odeur de faible intensité se produisant presque constamment.

La fréquence (F) désigne la fréquence à laquelle un individu est exposé à une odeur dans l'environnement ambiant. En général, plus une odeur s'imisce fréquemment dans la vie d'une personne, plus l'expérience de l'épisode odorant devient gênante. La fréquence d'exposition aux odeurs est généralement plus élevée dans les zones situées le plus souvent sous le vent de la source d'odeur, en particulier dans des conditions stables avec des vitesses de vent faibles (Freeman and Cudmore, 2002). Son évaluation est généralement liée à un centile, qui peut exprimer la fréquence de dépassement ou le nombre de dépassements autorisés d'une certaine limite de concentration d'odeur sur une période donnée (Griffiths, 2014).

L'intensité (I) de l'odeur représente la force perçue de la sensation olfactive. Elle est étroitement liée à la concentration du mélange odorant. Les approches qui intègrent les facteurs FIDOL traduisent généralement l'intensité de l'odeur par la « concentration d'odeur » au sol (Nicell, 2009; Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016). Cette simplification pose néanmoins problème. La concentration de l'odeur correspond en effet à la sensibilité de l'odeur à la dilution, c'est-à-dire à sa persistance et non à l'intensité de la perception de l'odeur. Deux effluents odorants peuvent présenter la même concentration d'odeur, mais correspondent à des intensités de perception de l'odeur différentes (Wu *et al.*, 2016)(Figure 3).

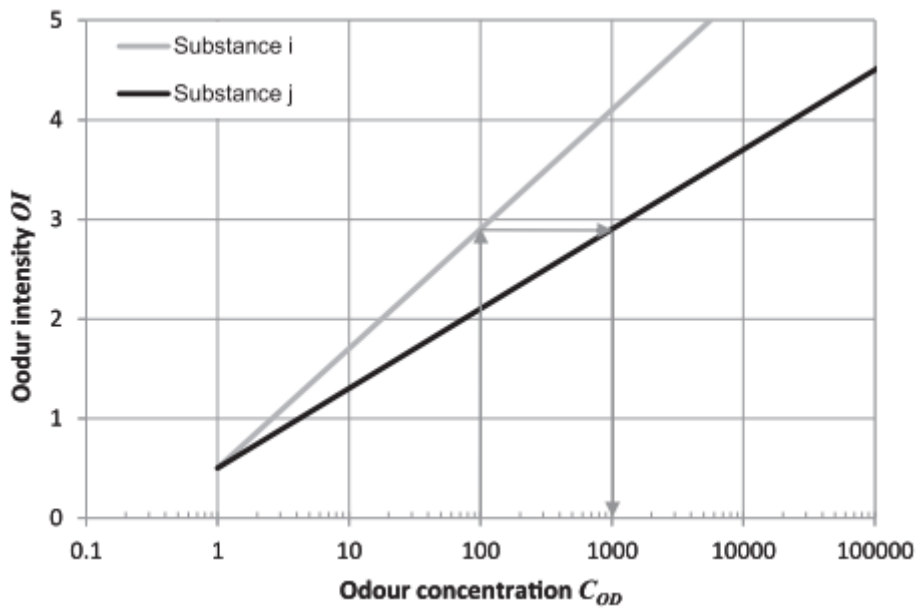


Figure 3 : Représentation schématique de l'intensité perçue pour deux substances odorantes (i et j) à concentration d'odeur équivalente (Wu *et al.*, 2016)

L'évaluation de la concentration d'odeur nécessite de connaître le seuil de perception de l'odeur. Ce seuil correspond à un niveau de dilution pour lequel 50 % d'un panel est capable de détecter l'odeur. Ce seuil est déterminé par olfactométrie dynamique d'après la norme EN 13725 (EN 13725, 2003).

La durée (D) fait référence au temps écoulé pendant lequel une odeur est perçue. La durée est influencée par la source d'émission et ses caractéristiques, les conditions météorologiques et l'emplacement de la source d'odeur (Freeman and Cudmore, 2002). Les riverains peuvent être exposés aux odeurs de manière intermittente pendant de courtes périodes ou pendant des périodes prolongées et continues. Le paramètre de durée est lié au pas de temps du logiciel de dispersion, qui est généralement d'une heure. La modélisation de la dispersion à partir de concentrations horaires moyennes n'est pas représentative de notre perception des odeurs qui dépend de la durée d'une respiration (Mainland and Sobel, 2006). Cette moyenne d'une heure peut ainsi sous-estimer les pics de concentration d'odeurs et donc la nuisance. Il est par conséquent recommandé de prendre en compte ces pics de concentration d'odeur à court terme au moyen d'un facteur correctif appelé « *peak-to-mean* » (Brancher *et al.*, 2017). Ce facteur correctif varie considérablement d'un pays à l'autre selon le niveau de protection désiré (Nicell, 2009).

Ces trois paramètres permettent de définir un niveau d'exposition aux odeurs. Nicell définit un niveau d'exposition acceptable comme une concentration ambiante maximale de 1 UO_E /m³ (I) sur une durée moyenne de 10 minutes (D), qui ne doit pas être dépassée 99,5 % du temps (F). Ces limites particulièrement restrictives permettent

de protéger la majorité des récepteurs (Nicell, 2009). Invernizzi est plus souple en intégrant un facteur de localisation (L) pour définir une concentration ambiante maximale de 1 à 10 UO_E/m³ (I) selon l'emplacement du récepteur sur une durée moyenne d'une heure (affinée avec un facteur « *peak-to-mean* »)(D), qui ne doit pas être dépassée 98 % du temps (F)(Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016).

Selon les auteurs, le pays et le niveau de protection envisagé, les paramètres utilisés pour prévoir l'exposition aux odeurs s'appuient sur des limites différentes. On observe des temps d'intégration (D), des valeurs de centile (F) et de limites de concentration d'odeur (I) différents, ce qui rend les méthodes difficilement comparables entre elles.

I.4.2.2. L'acceptabilité de l'odeur

L'acceptabilité de l'odeur (O) correspond à l'évaluation subjective du caractère agréable ou désagréable d'une odeur. Elle varie d'une personne à l'autre selon l'expérience vécue ou les émotions au moment de la perception.

Différentes méthodes existent pour quantifier l'acceptabilité d'une odeur. Le plus souvent, un jury de nez est amené à répondre sur l'acceptabilité d'une odeur en utilisant une échelle numérique (Nicell, 2009). Jusqu'à présent, aucune échelle n'a été universellement acceptée mais celle de la ligne directrice allemande VDI 3882-2 (1994) constitue une référence. Celle-ci se base sur une échelle de 9 points où : +4 est « extrêmement agréable », 0 est « neutre » et -4 est « extrêmement désagréable ».

Ces méthodes permettent d'évaluer l'acceptabilité d'une odeur à une certaine concentration. Plusieurs auteurs rappellent que l'acceptabilité d'une odeur dépend aussi de sa qualité et de son intensité, qui peuvent varier selon son niveau de dilution (Nicell, 2009; Delva, Cobut and Fanlo, 2017; Guillot, Troussset and Daclin, 2022). La subjectivité de la bonne ou de la mauvaise odeur, qui dépend notamment de sa concentration, rend l'évaluation de l'acceptabilité de l'odeur particulièrement délicate à l'échelle d'un territoire.

Selon les auteurs, le facteur d'acceptabilité de l'odeur (O) est évalué d'après des approches différentes :

- Pour des raisons de subjectivité et de rigueur scientifique, Nicell se limite à une approche qualitative en constituant une liste des activités susceptibles de produire des odeurs désagréables. Les activités présentes sur cette liste doivent s'assurer de respecter certaines valeurs limites d'émission (Nicell, 2009) ;

- Invernizzi (2016) fait intervenir la concentration de l'odeur au 98^e centile pour évaluer l'acceptabilité de l'odeur en tout point du territoire d'étude. (Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016) ;
- Popa (2013) s'appuie sur un jury d'experts pour classer les secteurs d'activités émetteurs d'odeurs selon leur potentiel de nuisance odorante. Ce classement permet d'attribuer un facteur correctif à chaque secteur d'activité dans l'évaluation du potentiel de nuisance sur le territoire.

I.4.2.3. La localisation

La localisation (L) correspond à la sensibilité du milieu récepteur. En général, l'ampleur de l'impact odorant est directement liée aux attentes des personnes qui occupent ou visitent un espace géographique. Par exemple, des odeurs industrielles sont plus susceptibles d'être tolérées dans les zones industrialisées, là où il y a une forte concentration d'odeurs et où l'on s'attend à leur présence. À l'inverse, de telles odeurs auront certainement un impact négatif si elles sont perçues sur le lieu de résidence, là où on ne s'attend pas à ce que de telles odeurs soient présentes (Nicell, 2009).

Selon les auteurs, le facteur de localisation (L) peut se référer :

- À la sensibilité des récepteurs selon le type d'occupation du sol : zone industrielle, rurale, centre historique, etc. (Rossi, 2015; Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016) ;
- À la sensibilité des récepteurs évaluée d'après des critères socio-économiques : ancienneté dans le logement, CSP, propriété, etc. (Popa, 2013) ;
- À la simple localisation des récepteurs sur le territoire : riverains, structures publiques, économiques ou de loisirs (Nicell, 2009).

Par conséquent, certaines communications récentes parlent désormais de FIDOR (R pour Récepteur) ou de FIDOS (S pour Sensibilité) pour apporter davantage d'informations sur l'impact que la seule localisation (L). Ces nouvelles définitions reflètent la vulnérabilité des récepteurs selon le lieu de perception (au domicile, au travail, pendant une activité commerciale, etc.), selon la sensibilité des récepteurs (fatigue, âge, niveau social, etc.), ou d'après la période de temps considérée (semaine, week-end, vacances) (Guillot, Troussset and Daclin, 2022).

Ce facteur (L) peut faire référence à la seule localisation des récepteurs sur un territoire, ou bien à un indicateur intégrant plusieurs dimensions de la vulnérabilité des récepteurs exposés à une nuisance odorante (localisation, sensibilité, période). Au

final, ce facteur (L) représente la capacité du récepteur à tolérer ou non la présence d'une nuisance odorante.

I.4.3. De la source aux effets sur la population : le concept de S-P-R

Le concept de Source-Pathway-Receptor (S-P-R) décrit la relation potentielle entre la source (S) d'un aléa, la trajectoire (P) par laquelle l'exposition peut se produire et les récepteurs (R) qui pourraient être impactés. Ce concept constitue une approche flexible pour l'évaluation et la prévision de nombreux risques environnementaux. L'institut de gestion de la qualité de l'air du Royaume-Uni (IAQM) s'est basé sur les directives *Green Leaves III* du Defra qui présente le concept de S-P-R pour l'appliquer au domaine des odeurs. Le concept de S-P-R décrit ainsi la relation potentielle entre les caractéristiques de la source d'odeurs (S), la trajectoire (P) qui représente l'exposition sur le territoire et les récepteurs (R) qui pourraient être impactés. Ce concept tient compte à la fois de la nuisance odorante (S) et des populations/activités impactées (R) (Gormley, Pollard and Rocks, 2011; Bull *et al.*, 2018). Derrière ces deux facettes se trouve la relation fondamentale : $\text{Effet} \approx \text{Dose} * \text{Réponse}$. L'effet est le résultat des changements de comportement sur les récepteurs, en tenant compte de leur réponse (c.à.d. leur sensibilité aux odeurs) déterminée par le paramètre L (localisation) des facteurs FIDOL, et de la dose considérée comme l'exposition aux odeurs (impact), déterminée par les quatre facteurs FIDO (Bull *et al.*, 2018).

Les odeurs émises à la source (S) doivent être caractérisées en termes d'émission (mesures, approximations ou prévisions), de qualité (nature de l'odeur) et d'acceptabilité (ton hédonique) pour évaluer le potentiel de nuisance du site émetteur (Eden Green Environmental Limited, 2019).

Pour prévoir comment l'odeur va se disperser et se diluer dans l'air (P), un logiciel de dispersion atmosphérique est généralement utilisé pour modéliser le transport des molécules odorantes dans l'atmosphère et donc la « concentration d'odeur » au sol dans un domaine spatial et temporel défini. Le risque d'exposition aux odeurs (impact) pour chaque récepteur peut ainsi être évalué en combinant le potentiel de nuisance de la source (S) et la dispersion du panache odorant (P) (Bull *et al.*, 2018). Le risque d'exposition ne permet pas à lui seul de prévoir les effets sur les récepteurs (R).

Pour évaluer et prévoir les effets sur les récepteurs (R), l'IAQM préconise de classer chaque récepteur en fonction de sa sensibilité. Selon les études, les récepteurs peuvent désigner des riverains, des infrastructures publiques ou de loisirs (Nicell, 2009; Popa, 2013), ou plus généralement l'occupation du sol (Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016).

Les différents facteurs qui affectent chaque élément du concept de S-P-R sont synthétisés d'après les directives de l'IAQM (2018) dans le tableau 2 ci-dessous.

Potentiel de l'odeur à la source (S)	Trajectoire potentielle (P)	Récepteurs (R)
Les facteurs qui affectent le potentiel de l'odeur à la source sont : - Le volume d'odeur rejeté, - La nature de l'odeur (qualité), - Le caractère désagréable de l'odeur (ton hédonique).	Les facteurs qui affectent le flux d'odeurs vers le récepteur sont : - La distance entre la source et le récepteur, - La fréquence des vents de la source au récepteur, - L'efficacité de toute mesure d'atténuation pour réduire le flux vers le récepteur, - La présence d'obstacles topographiques.	L'IAQM recommande que le praticien de la qualité de l'air utilise son jugement professionnel pour identifier le spectre entre une sensibilité élevée et faible d'un récepteur, en tenant compte des principes généraux suivants.
Potentiel de l'odeur à la source élevé - Grande quantité d'odeurs émises, - Les composés impliqués sont très odorants avec des seuils de détection bas, - Acceptabilité de l'odeur classée comme la plus désagréable (désagréable à très désagréable), - Fonctionnement des opérations sans mesure d'atténuation.	Flux d'odeurs pénalisants - Distance : le récepteur est adjacent à la source/site, - Direction : fréquence élevée des vents de la source au récepteur, - Efficacité de la dispersion/dilution : vent calme.	Récepteurs sensibles - Les personnes s'attendent à un niveau d'agrément élevé, - Les personnes sont présentes ici continuellement, ou du moins régulièrement, - Cela concerne par exemple les habitations résidentielles, les hôpitaux, les écoles ou les espaces touristiques et culturels.
Potentiel de l'odeur à la source moyen - Ampleur des dégagements d'odeurs plus faible (ex. petite station d'épuration) ; - Acceptabilité de l'odeur classée comme « modérément désagréable » (odeur neutre à désagréable)	Flux d'odeurs moyennement pénalisants Distance : le récepteur est proche de la source mais les rejets sont atténués par la présence de bâtiments.	Récepteurs moyennement sensibles - Les personnes s'attendent à un niveau d'agrément raisonnable, mais pas autant qu'à leur domicile ; - Les personnes ne sont pas continuellement présentes ;

- Contrôle/mesure d'atténuation mise en place, mais des odeurs résiduelles importantes subsistent.		- Il s'agit par exemple du lieu de travail ou d'espaces commerciaux
Potentiel de l'odeur à la source faible - Ampleur des dégagements d'odeurs faibles (surface des sources d'une dizaine de mètres carrés) - Les composés concernés ne sont que légèrement odorants ; - Acceptabilité de l'odeur classée comme « peu désagréable » (odeur neutre à très agréable) - Contrôle/mesure d'atténuation efficace conduisant à peu ou pas d'odeurs résiduelles	Flux d'odeurs peu pénalisants Distance : le récepteur est éloigné de la source ; Direction : fréquence faible des vents de la source au récepteur	Récepteurs peu sensibles - Aucun agrément n'est attendu ; - Les personnes sont présentes pendant une période limitée ; - il s'agit par exemple des zones industrielles, agricoles ou des routes.

Tableau 2 : Liste des facteurs qui affectent le concept de S-P-R (Adapté de Bull et al., 2018)

I.4.4. Présentation des méthodes de prévision existantes

Dans la littérature, peu de méthodes mesurent l'effet qui résulte de l'exposition aux odeurs : la gêne - et encore moins permettent de l'anticiper. Cette section bibliographique porte sur les deux seules méthodes prédictives qui ont été développées depuis les 10 dernières années.

Chacune se base sur le concept de l'évaluation des risques pour décrire le processus de la gêne olfactive de la source aux effets sur les récepteurs (concept S-P-R), mais aussi sur les cinq facteurs FIDOL présentés ci-dessus pour évaluer et prévoir les effets de la nuisance odorante sur les récepteurs.

I.4.4.1. Présentation de la méthode Invernizzi (2016)

Invernizzi *et al* (2016) propose une méthode d'évaluation et de quantification de la gêne olfactive qui s'appuie sur les cinq facteurs FIDOL présentés plus haut. La méthode repose sur le concept de l'analyse des risques pour calculer un indice de risque (R) issu du produit de la probabilité (P) qu'un événement survienne et de sa magnitude (M). Ce concept est transposé au domaine des odeurs en considérant le risque (R) comme le risque de gêne olfactive, la magnitude (M) comme une fonction de l'intensité et du ton hédonique de l'odeur, et la probabilité (P) comme une fonction du lieu associé au nombre de récepteurs et à leurs attentes (Invernizzi, Capelli and

Sironi, 2016). Cette transposition permet d'écrire l'équation de l'indice de gêne olfactive (ONI) (Équation 1) :

$$Odour Nuisance Index (ONI) = P(L) \times a(O) \times (LogC_{98})^2 \quad (1)$$

Où :

P(L) : facteur de sensibilité du milieu récepteur

a(O) : facteur d'acceptabilité selon le ton hédonique de l'odeur

LogC₉₈ : concentration de l'odeur au 98^e centile obtenu avec un modèle de dispersion atmosphérique.

Cette méthode n'a pas encore été appliquée et constitue donc une proposition pour l'élaboration de futures méthodes de quantification et de prévision de la gêne olfactive. Même si la nuisance odorante et la sensibilité du milieu récepteur sont caractérisées par des éléments objectifs et quantifiables, des études approfondies sur différents sites et territoires seraient nécessaires pour rendre le modèle applicable à un large éventail de situations (Invernizzi, Capelli and Sironi, 2017).

La caractérisation de la nuisance odorante et de la sensibilité du milieu récepteur est étudiée plus en détail dans les sous-sections suivantes.

I.4.4.1.1. La caractérisation de la nuisance odorante

Invernizzi *et al* (2016) s'appuient sur la relation formulée par Miedema *et al* (2000) pour caractériser la nuisance odorante. Cette adaptation (Équation 2) fait intervenir le ton hédonique de l'odeur (évalué selon la ligne directrice allemande VDI 3882-2) et la concentration au 98^e centile pour calculer un indice de nuisance (O) (Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016):

$$(O) = a(O) \times (LogC_{98})^2 \quad (2)$$

Le coefficient a(O) est déterminé selon le ton hédonique de l'odeur évalué d'après la norme VDI 3882-2. L'échelle de 9 points utilisée dans la norme (où : +4 est « extrêmement agréable », 0 est « neutre » et -4 est « extrêmement désagréable ») est simplifiée en trois catégories : agréable, neutre ou désagréable.

Acceptabilité	Ton hédonique	a(O)
Odeur plaisante	+4 à +1.5	0.5
Odeur neutre	+1.5 à -1.5	1
Odeur désagréable	-1.5 à -4	2

Tableau 3 : Valeur du facteur a(O) selon le ton hédonique de l'odeur (Invernizzi *et al*, 2016)

Invernizzi *et al* définissent ainsi un facteur d'acceptabilité qui respecte un rapport 1 :2 :4 selon le ton hédonique de l'odeur (Tableau 3).

1.4.4.1.2. La caractérisation de la sensibilité du milieu récepteur

Pour définir la sensibilité du milieu récepteur (L), Invernizzi *et al* (2016) utilisent la classification de Rossi (Tableau 4) pour fixer des valeurs limites de concentration d'odeur à ne pas dépasser selon la nature du lieu (zone urbaine, rurale, industrielle, sensible, etc.).

La limite de concentration d'odeur à ne pas dépasser est fixée à 1 UO_E/m³ dans les espaces résidentiels ou sensibles, contre 10 UO_E/m³ dans des zones exclusivement industrielles. Invernizzi *et al* (2016) en déduisent une valeur normalisée entre 0 et 1 pour caractériser la sensibilité du milieu récepteur. Cette variable est étroitement liée à la prévision et à l'attente de l'agrément d'un certain emplacement urbain ou géographique (Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016).

Classe de sensibilité	Concentration d'odeur UO _E /m ³	P(L)
Zone densément peuplée et zone où se trouvent des récepteurs très sensibles (hôpitaux, écoles, églises)	1	1
Zone de moyenne densité de population	2	0.5
Zone de faible densité de population	3	0.333
Zone avec des maisons dispersées	4	0.25
Zone rurale et agricole	5	0.2
Zone industrielle	10	0.1

Tableau 4 : Valeur du facteur P(L) selon la sensibilité du milieu récepteur (Invernizzi *et al*, 2016)

D'autres nomenclatures similaires existent, comme celle du ministère de l'Environnement néo-zélandais qui qualifie la sensibilité d'une dizaine de lieux à la présence d'une nuisance odorante (MfE, 2016).

Au final, la méthode propose une analyse macro par « zone » de l'impact odorant sur le territoire. Cette approche par « zone » est certainement la plus simple et la plus pratique à mettre en place. Cependant, ce niveau de généralisation n'est pas forcément adapté aux problèmes d'odeur qui s'apprécient généralement à une petite échelle. De

plus, il peut arriver que certains bâtiments considérés comme sensibles (hôpitaux, écoles, monuments, etc.) se situent dans des zones qui le sont moins (zone rurale ou industrielle par exemple).

I.4.4.2. Présentation de la méthode Popa (2013)

L'approche de Popa (2013) utilise le concept de risque pour définir le risque de gêne olfactive comme la relation entre le potentiel de nuisance de l'odeur et la vulnérabilité des populations exposées (Figure 4) :

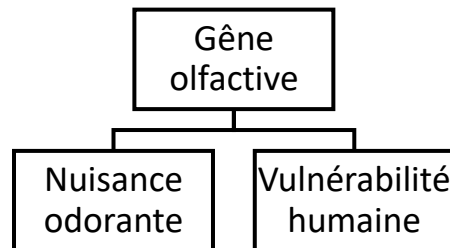
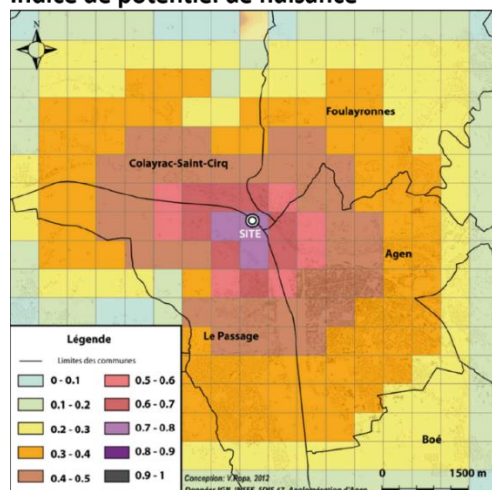


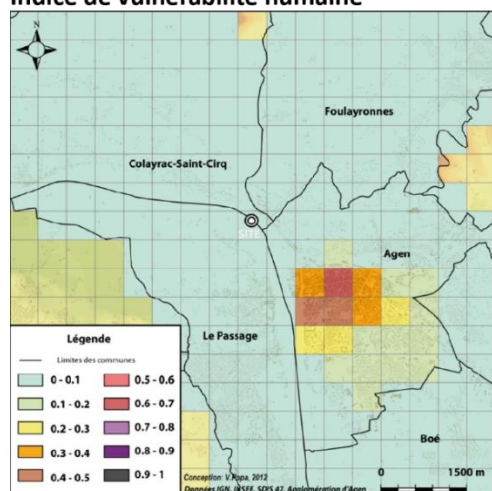
Figure 4 : Niveau supérieur de la structure hiérarchique permettant l'évaluation de la gêne olfactive (Popa, 2013)

En considérant la gêne olfactive comme un risque, le premier niveau de la structure hiérarchique présente deux parties : la nuisance odorante (aléa) et la vulnérabilité des populations (enjeux). Chaque sous-partie est ensuite organisée selon plusieurs éléments en fonction de leur importance dans l'évaluation de la gêne olfactive. Au total, 46 éléments sont retenus pour décrire la nuisance odorante et la vulnérabilité des populations exposées (Popa, 2013). Pour intégrer tous ces éléments, le modèle se base sur la méthode multicritères AHP (Analytic Hierarchy Process) de Saaty pour calculer un indice synthétique (compris entre 0 et 1) agrégé sur la base d'une hiérarchisation et d'une pondération de l'ensemble des éléments retenus pour évaluer un risque de gêne olfactive (Piton *et al.*, 2018). Un indice de risque est ainsi évalué dans chaque carreau ou maille (500m x 500m) du territoire d'étude.

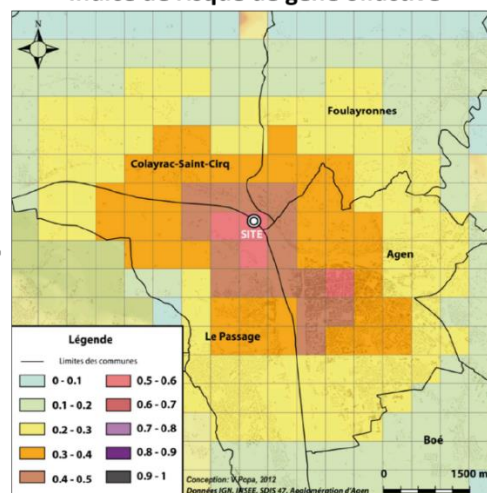
Indice de potentiel de nuisance



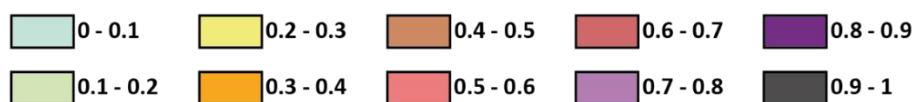
Indice de vulnérabilité humaine



Indice de risque de gêne olfactive



Légende



Conception: V.Popa, 2012 IGN, INSEE, SDIS 47, Agglomération d'Agen

Figure 5 : Agrégation des indices et cartographie des niveaux de risque de gêne olfactive (Popa, 2013)

La méthode est développée dans le cadre d'un travail de thèse et validée autour d'un centre d'équarrissage à proximité d'Agen (Lot-et-Garonne). La figure 5 illustre l'agrégation du premier niveau de la structure hiérarchique et les indices de risque de gêne olfactive obtenus sur le territoire.

Au-delà de la prévision et de la représentation d'un risque de gêne olfactive pour les riverains, la méthode développée par Popa permet d'évaluer le risque de préjudice économique qui en découle. Celle-ci mesure les conséquences économiques potentielles de la nuisance odorante sur un territoire en agréant le risque de gêne olfactive obtenu avec la vulnérabilité des enjeux économiques (Figure 6). La

vulnérabilité des enjeux économiques est décrite par un ensemble de 44 éléments qui constituent une seconde structure hiérarchique.

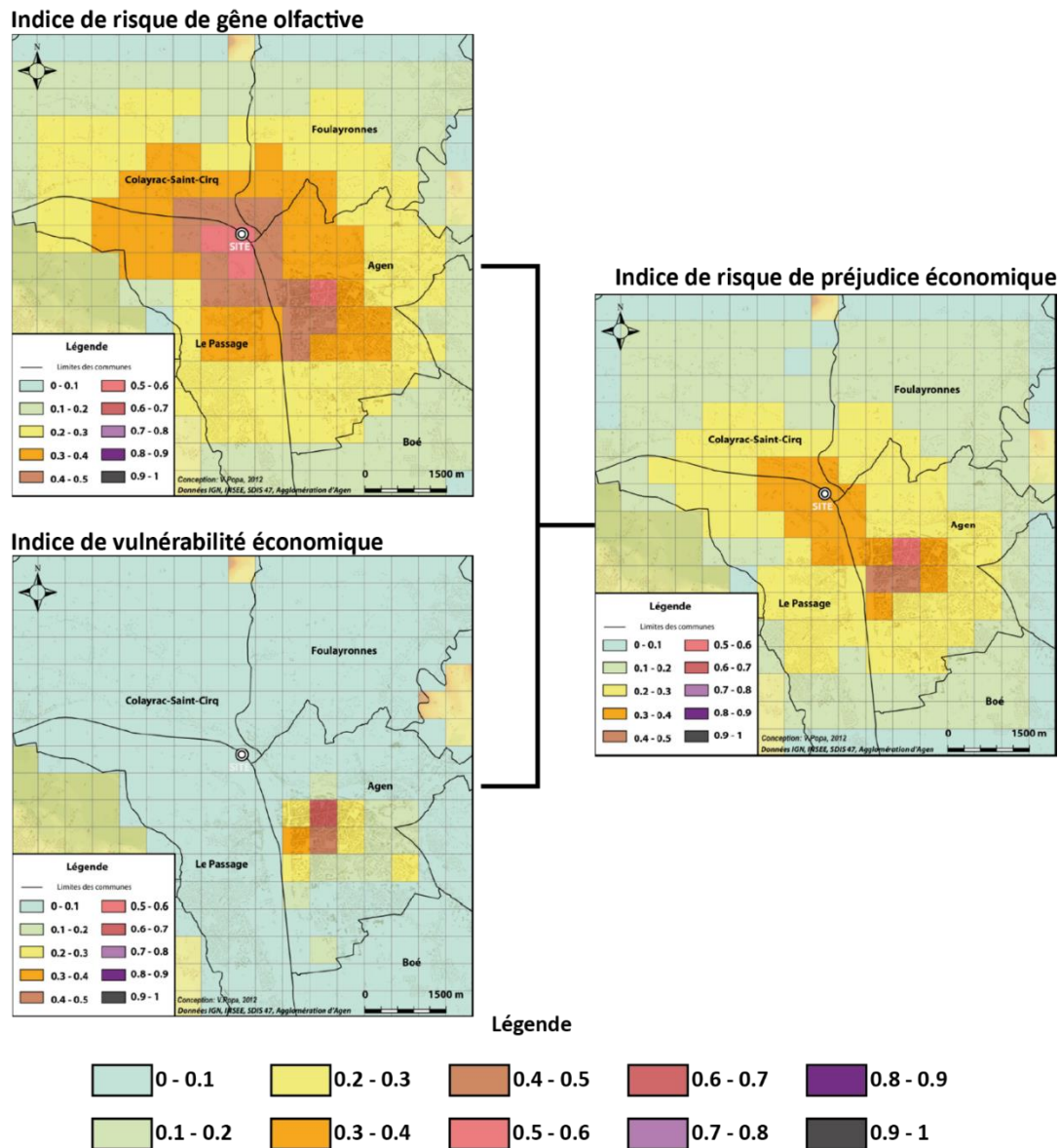


Figure 6 : Agrégation des indices et cartographie des niveaux de risque de préjudice économique (Popa, 2013)

La méthode développée par Popa (2013) est tout à fait originale et différente des méthodes abordées précédemment. Celle-ci permet d'anticiper et de cartographier les niveaux de gêne olfactive et de préjudice économique en s'appuyant sur des concepts et des méthodes spécifiques au domaine de l'évaluation des risques. Sa méthode offre une représentation collective de la gêne olfactive, dépassant ainsi les représentations individuelles des méthodes empiriques. Elle fournit une vision globale du processus de gêne et de ses conséquences, en tenant compte des caractéristiques du territoire et des enjeux exposés.

La méthode développée aboutit à un outil d'aide à la décision à destination des décideurs pour gérer de manière proactive des problèmes d'odeurs sur leur territoire. Celle-ci doit servir à simplifier et clarifier les échanges ou encore aider à déterminer l'emplacement préférentiel d'un futur site industriel.

La caractérisation de la nuisance odorante et de la vulnérabilité des enjeux est étudiée plus en détail dans les sous-sections suivantes.

I.4.4.2.1. La caractérisation de la nuisance odorante

La nuisance odorante est évaluée d'après la concentration d'odeur (assimilée à l'intensité), son ton hédonique et la fréquence de perception. Chacune de ces caractéristiques est organisée selon son importance dans le processus d'évaluation de la nuisance odorante à partir de l'avis de 36 personnes concernées à des niveaux divers par la problématique des odeurs (riverains, experts de l'environnement, industriels...)(Popa, 2013). Un indice de nuisance odorante est ainsi calculé dans chaque carreau ou maille (500m x 500m) du territoire d'étude.

Les facteurs de fréquence et d'intensité sont obtenus lors de la modélisation de la dispersion atmosphérique sur le territoire. Concernant l'évaluation du ton hédonique, une approche simplifiée a permis de classer l'acceptabilité de l'odeur générale d'un site industriel en fonction du type d'activité qui y est développé. La nomenclature française des activités (NAF) a été soumise à l'avis des mêmes experts qui ont jugé le niveau de gêne généré par les effluents gazeux des différents secteurs industriels (Popa, 2013). Cette hiérarchisation permet d'attribuer un facteur correctif à chaque secteur d'activité dans l'évaluation du potentiel de nuisance sur le territoire (Équation 3) :

$$Nuisance\ odorante = Fc \times ((\alpha \times I) + (\beta \times F)) \quad (3)$$

Où :

Fc : facteur correctif de l'indice de nuisance odorante selon le type de site émetteur

I : intensité de la nuisance odorante (concentration de l'odeur)

F : fréquence avec laquelle cette nuisance odorante peut être perçue dans l'environnement

α, β : facteurs de pondération

Les éléments retenus pour calculer un indice de nuisance odorante sont quantifiables, à l'exception du ton hédonique qui a été intégré dans le modèle en tant que facteur correctif. Concernant les facteurs de pondération, ils sont issus du traitement du questionnaire adressé aux 36 experts des odeurs qui ont évalué l'importance de

l'intensité et de la fréquence de perception dans la caractérisation de la nuisance odorante. Même si ces 36 personnes expérimentent, ou ont expérimenté une gêne olfactive, la subjectivité de la perception des odeurs peut conduire à des réponses parfois bien différentes d'une personne à l'autre (Popa, 2013). La classification des activités odorantes ainsi que les poids accordés à chaque élément dans l'évaluation de la nuisance odorante restent discutables et nécessiteraient des études approfondies pour rendre la méthode tout à fait opérationnelle.

I.4.4.2.2. La caractérisation de la vulnérabilité des enjeux

La méthode développée par Popa (2013) s'appuie sur un nombre important de paramètres pour décrire la vulnérabilité des enjeux. Deux structures hiérarchiques distinctes permettent d'organiser tous ces éléments pour évaluer la vulnérabilité humaine et la vulnérabilité des enjeux économiques. La population et les activités économiques présentes sur le territoire sont localisées et décrites par un ensemble de 81 variables socio-économiques dont l'importance dans le sentiment de gêne a été évaluée à partir du jugement de 36 experts du domaine des odeurs.

Finalement, chaque élément est intégré dans une fonction globale qui permet d'évaluer la sensibilité du milieu récepteur dans chacune des mailles (500m x 500m) de la grille d'analyse.

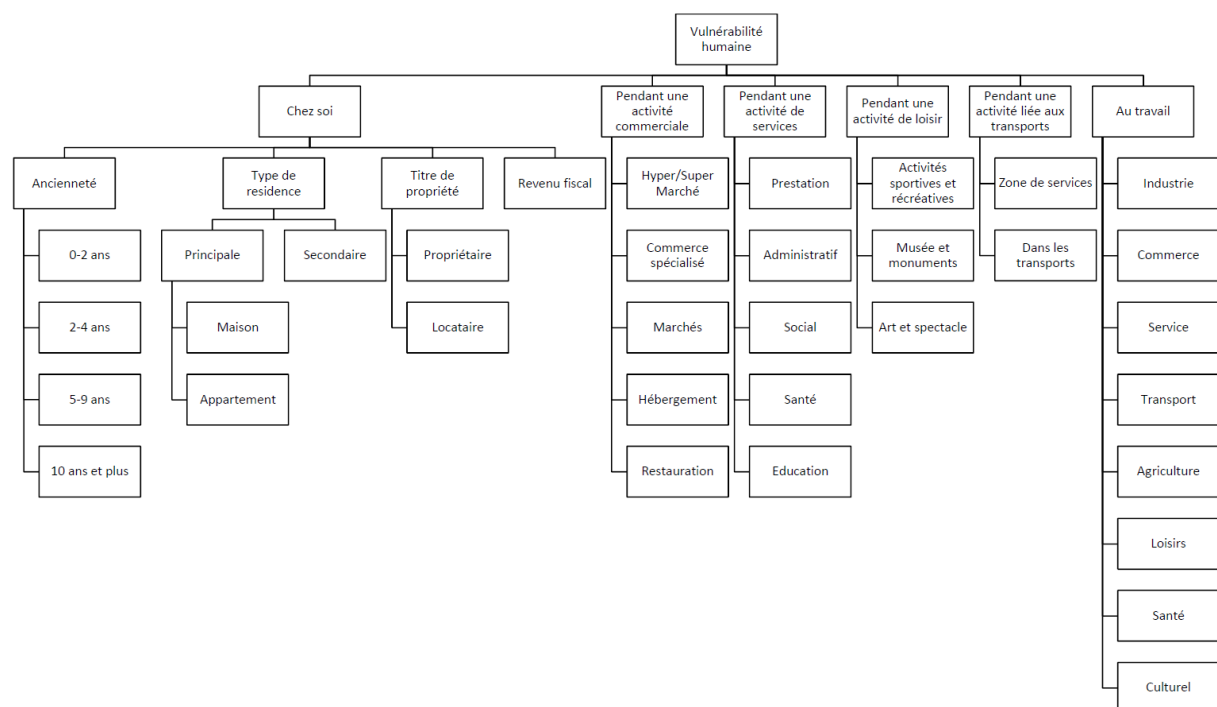


Figure 7 : Structure hiérarchique de la vulnérabilité humaine (Popa, 2013)

Les variables qui permettent d'évaluer la vulnérabilité humaine (Figure 7) décrivent le type d'habitat, l'ancienneté dans le logement, le revenu des ménages, les catégories socioprofessionnelles (CSP) et les pratiques de la population selon l'endroit où elle se trouve, c'est-à-dire au domicile, au travail, dans les magasins, pendant les loisirs ou dans les transports. Ces 43 variables sont quantifiées et localisées puisqu'elles proviennent pour la plupart de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) et de l'Institut National de l'information Géographique et forestière (IGN).

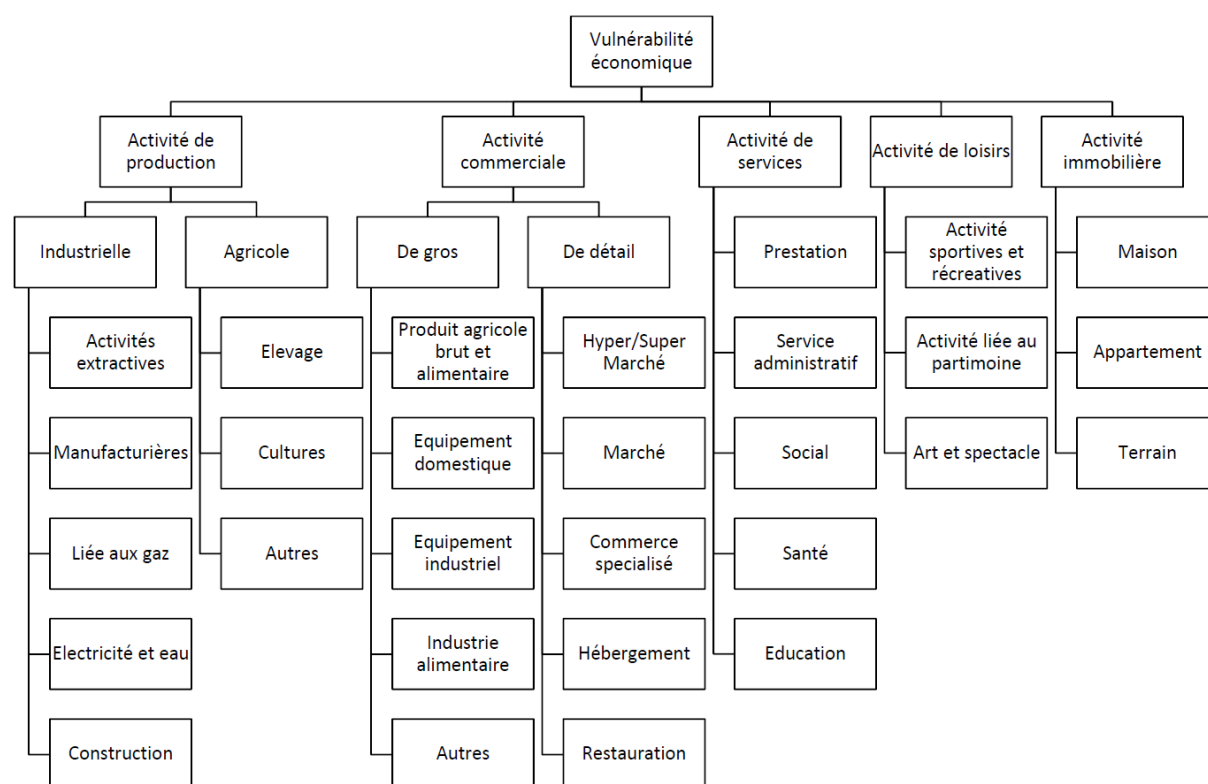


Figure 8 : Structure hiérarchique de la vulnérabilité économique (Popa, 2013)

La vulnérabilité des enjeux économiques est décrite par une seconde structure hiérarchique (Figure 8) qui reprend la nomenclature d'activités françaises (NAF). Les 38 variables sont quantifiées et localisées à partir de la base de données SIRENE qui décrit les 13 millions d'entreprises françaises. Cette source de données est également utilisée pour calculer un facteur quantitatif tenant compte du chiffre d'affaires de l'activité, ou de la valeur d'un bien dans le cas d'une activité immobilière.

La méthode a été validée sur un territoire autour d'un centre d'équarrissage mais comporte un certain nombre de limites pour être totalement opérationnelle. Le nombre important d'éléments (81 variables socio-économiques) nécessaires pour évaluer la vulnérabilité d'un territoire rend la méthode difficilement reproductible d'un territoire

à l'autre. La diversité des sources de données utilisées (IGN, INSEE, données de terrain) entraîne la combinaison de données géographiques produites à des échelles différentes : certaines sont disponibles à l'échelle communale et d'autres à l'échelle de l'IRIS (Îlot Regroupé pour l'Information Statistique). Dans le cas de petites communes rurales, un IRIS peut représenter la commune entière. Or un problème d'odeur s'apprécie la plupart du temps dans un périmètre restreint autour du site émetteur (moins de 2 km). La désagrégation (ou ventilation) de ces données dans des mailles de 500x500m conduit inévitablement à un « lissage » des valeurs. Le nombre d'habitants d'un IRIS est ainsi ventilé de manière homogène dans les différents carreaux qu'il recouvre, qu'il y ait réellement des habitants ou non. Ceci constitue une limite dans la mesure où l'importance d'une nuisance s'apprécie au nombre de personnes qu'elle concerne (Jaubert, 2010a).

Comme pour le classement des activités odorantes, les 81 variables qui entrent en compte dans l'évaluation de la gêne olfactive sont pondérées d'après l'avis de 36 personnes concernées à des niveaux divers par la problématique. Cet échantillon restreint introduit un biais statistique puisqu'il écarte une grande partie de la population qui, tôt ou tard, pourrait être concernée par nuisance odorante (Popa, 2013).

I.4.5. Synthèse

La prévision de la gêne olfactive constitue un changement de paradigme par rapport à l'évaluation de la gêne *a posteriori*. L'objectif est d'éviter que des problèmes d'odeur ne surviennent sur un territoire en déterminant l'emplacement privilégié d'un futur site industriel ou en évaluant l'impact odorant potentiel d'un projet industriel.

À ce jour, aucune méthode définitive n'a été approuvée pour prévoir la gêne olfactive. Pourtant, des directives nationales comme celle du Royaume-Uni ou de Nouvelle-Zélande émettent certaines préconisations (MfE, 2016; Bull *et al.*, 2018). Elles reconnaissent l'importance des cinq facteurs FIDOL pour évaluer et prévoir l'effet d'une nuisance odorante sur les récepteurs. Ces facteurs peuvent être intégrés dans le concept plus large de S-P-R (Source-Pathway-Receptor), utilisé dans l'évaluation des risques environnementaux, pour décrire le processus de gêne olfactive de la source d'odeur aux effets sur la population.

Ces dernières années, seulement deux méthodes intégrant l'ensemble de ces préconisations ont été développées. Celles de Popa (2013) et d'Invernizzi et al (2016) intègrent dans l'évaluation de la gêne olfactive à la fois l'impact de la nuisance odorante et la sensibilité des populations pour prévoir l'effet d'une nuisance odorante.

Les récepteurs sont localisés et qualifiés selon leur niveau de sensibilité face à une nuisance odorante d'après : la densité de population, l'occupation du sol ou des caractéristiques socio-économiques. Ces méthodes proposent une représentation collective de la gêne olfactive des populations riveraines, qui tient compte des caractéristiques du territoire et de la manière dont les individus s'y organisent. Cette représentation collective dépasse ainsi les représentations individuelles des méthodes empiriques et de quantification de la gêne (Popa, 2013).

Les deux méthodes présentées diffèrent par plusieurs aspects :

- Leur niveau de complexité : la méthode développée par Popa (2013) s'appuie sur 81 variables pour décrire la vulnérabilité des enjeux tandis que celle d'Invernizzi et al (2016) s'appuie simplement sur une classification de la sensibilité du milieu récepteur. Le niveau de complexité a un impact sur la transposabilité de la méthode : un nombre important d'éléments rend la méthode difficilement applicable d'un territoire à l'autre.
- La représentation des résultats : la méthode développée par Popa (2013) permet de cartographier un indice de risque de gêne dans chaque carreau ou maille (500m x 500m) de la zone d'étude. L'approche d'Invernizzi et al (2016) permet de calculer un indice de gêne olfactive valable pour des zones géographiques plus ou moins vastes (zone rurale, industrielle, faiblement ou densément peuplée) et limite ainsi la représentation cartographique.
- L'aboutissement de la méthode : au-delà de la prévision et de la représentation d'un risque de gêne olfactive pour les riverains, la méthode développée par Popa permet d'évaluer le risque de préjudice économique qui en découle. Celle-ci conduit à un outil fonctionnel dont les résultats ont été validés autour d'un centre d'équarrissage à proximité d'Agen (Lot-et-Garonne). Ce n'est pas le cas de l'approche d'Invernizzi et al (2016) qui n'a pas encore été appliquée sur le terrain et qui constitue donc une proposition pour l'élaboration de futurs modèles de quantification et de prévision de la gêne olfactive.

L'analyse de ces deux méthodes souligne le besoin de trouver un juste milieu entre l'approche très complexe et difficilement transposable de Popa (2013) et celle d'Invernizzi et al (2016) qui propose au contraire une analyse macro de la gêne olfactive.

Il est important de rappeler que les modèles prédictifs présentés, même s'ils sont quantitatifs, restent une simplification de la situation réelle. Même si les hypothèses et les données en entrée sont réalistes, un certain nombre d'incertitudes persistent en

raison de la subjectivité de la perception des odeurs. C'est pour cette raison qu'il est conseillé de combiner ces méthodes prédictives avec les méthodes d'évaluation *a posteriori* de la gêne olfactive (Bull *et al.*, 2018). Le ressenti des riverains reste plus important que les résultats de n'importe quel modèle de prévision de l'impact odorant.

I.5. CONCLUSION

L'attention croissante portée à la qualité de notre environnement justifie la poursuite des recherches sur la problématique de la gêne olfactive. Même inoffensive pour la santé, une odeur désagréable (ou agréable) peut, à plus ou moins long terme, avoir un impact sur la qualité de vie des populations riveraines, et dans une plus large mesure sur le fonctionnement du territoire. Les différents points abordés dans cette partie bibliographique mettent en évidence la subjectivité de la perception olfactive et la complexité des mécanismes qui conduisent au sentiment gêne (Figure 9).

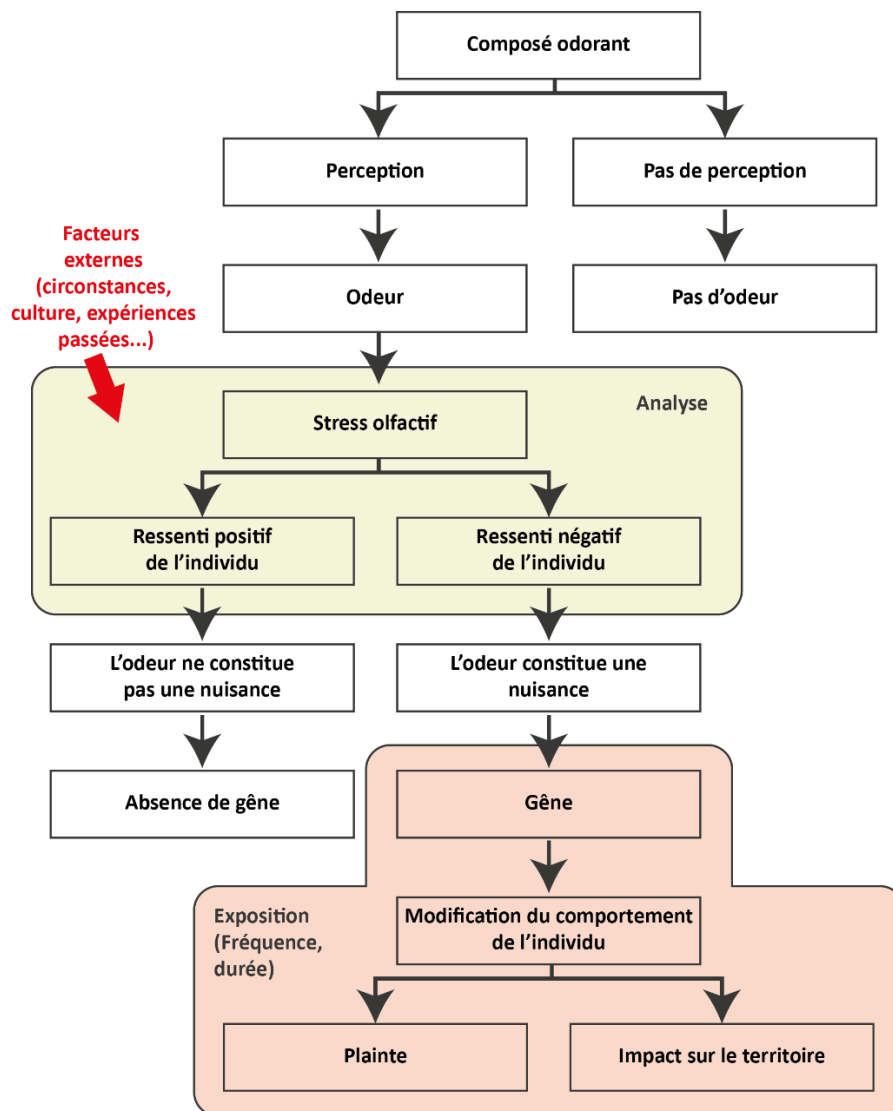


Figure 9 : Les principales étapes du processus de la gêne olfactive (adapté de Popa, 2013)

Plusieurs facteurs peuvent intervenir pour aboutir au sentiment de gêne, ce qui rend son évaluation complexe. À ce jour, les méthodes utilisées pour évaluer la gêne olfactive sont généralement mises en place dans le milieu récepteur, là où il est possible de caractériser la perception des riverains, pour tenter de résoudre une situation conflictuelle déjà établie.

Pour anticiper ces situations, des recherches ont été initiées depuis une dizaine d'années pour développer des méthodes capables de prévoir la gêne olfactive sur un territoire. L'analyse bibliographique met en avant l'importance des cinq facteurs FIDOL pour évaluer l'effet d'une nuisance odorante sur une population. Ces facteurs peuvent être intégrés dans le concept plus large de S-P-R (Source-Pathway-Receptor), utilisé dans l'évaluation des risques environnementaux, pour modéliser et prévoir le processus de gêne olfactive de la source d'odeur aux effets sur la population. À ce jour, seulement deux méthodes ont été développées en ce sens : celle de Popa (2013) et d'Invernizzi *et al* (2016). Elles intègrent dans l'évaluation de la gêne olfactive à la fois le potentiel de nuisance de l'odeur et la sensibilité du territoire exposé pour prévoir l'effet d'une nuisance odorante.

L'analyse de ces deux approches ouvre la voie au développement d'une nouvelle méthode d'évaluation prédictive de la gêne olfactive. Dans le cadre de cette thèse, cette nouvelle méthode s'appuiera sur les travaux initiés par Popa (2013) qui propose une méthodologie aboutie, capable de cartographier des niveaux de gêne olfactive sur un territoire. Celle-ci présente néanmoins certaines limites qu'il conviendra de dépasser comme le nombre important de sources de données nécessaires, l'évaluation des facteurs de pondération ou encore la représentation des résultats. Pour y parvenir, il sera nécessaire de trouver un juste milieu entre la validité des résultats obtenus et la transposabilité du modèle. L'objectif à terme est de fournir un outil d'aide à la décision opérationnel, destiné aux acteurs impliqués, pour gérer de manière proactive des problèmes d'odeurs sur un territoire.

PARTIE II. NOUVELLE METHODE DE PREVISION DE LA GENE OLFACTIVE

II.1. PROBLEMATIQUE

Comme on a pu le constater précédemment, évaluer la gêne olfactive nécessite de prendre en compte un certain nombre de paramètres subjectifs difficilement quantifiables. Les composantes personnelles qui entrent en jeu dans le sentiment de gêne (les habitudes, l'attachement au site, le mode de vie, l'état physiologique, etc.) rendent son évaluation très complexe (Jaubert, 2010a).

La plupart des méthodes sont mises en place sur place pour évaluer la gêne olfactive a posteriori, une fois que les problèmes d'odeurs sont apparus sur un territoire. Pour éviter que ces situations conflictuelles ne surviennent, des recherches ont été initiées pour anticiper la gêne olfactive occasionnée par de futurs sites industriels.

La méthode de prévision de la gêne olfactive développée dans le cadre de cette thèse s'appuie sur les travaux de Popa (2013) qui propose jusqu'à présent le modèle le plus abouti pour anticiper et représenter des niveaux de gêne olfactive sur un territoire. Comme elle, cette méthode devra être applicable et facilement transposable sur n'importe quel territoire et pour tout type d'odeur. Elle ne peut donc pas tenir compte de toutes les différences interindividuelles pourtant déterminantes dans le sentiment de gêne. La gêne olfactive doit être évaluée de manière collective en intégrant les principaux paramètres qui permettent d'évaluer l'impact d'une nuisance odorante : les facteurs FIDOL (fréquence, intensité, durée, acceptabilité, localisation). La littérature reconnaît l'importance de ces facteurs mais ne se prononce pas sur l'importance accordée à chacun d'eux.

Comment associer ces facteurs, pour certains subjectifs, pour rendre compte d'un risque de gêne sur un territoire qui puisse servir les acteurs impliqués dans la gestion de problèmes d'odeurs ? De cette question générale on peut se demander comment prévoir l'impact odorant d'un secteur industriel en particulier ? Comment caractériser la vulnérabilité des enjeux humains, économiques ou sociaux exposés à une nuisance odorante ? Quelles sources de données mobiliser pour permettre une utilisation sur l'ensemble du territoire français et même au-delà ?

II.2. CONTEXTE ET OBJECTIFS

L'objectif de ce travail est de parvenir à une méthode de prévision de la gêne olfactive pour aider les décideurs à gérer de manière proactive des problèmes d'odeurs sur leur

territoire. La méthode développée s'appuie sur les premiers travaux de Popa (2013) qui fut la première à évaluer et à représenter la gêne olfactive comme un risque. Ses recherches ont abouti à une méthode de quantification et de représentation de la gêne olfactive et du préjudice économique engendré par une exposition aux nuisances odorantes (Popa, 2013). Les objectifs qu'elle visait étaient multiples :

- Fournir une aide à la décision aux acteurs impliqués, notamment pour simplifier et clarifier les échanges, mais aussi pour aboutir à une meilleure gestion territoriale ;
- Évaluer et prévoir l'impact odorant selon différents scénarios (météo, saison, incident, etc.) ;
- Aider à définir l'emplacement privilégié d'un futur site ;
- Réduire le niveau de risque de gêne sur un territoire en agissant soit sur le niveau de nuisance de l'odeur soit sur la vulnérabilité des enjeux présents.

Les limites constatées dans les résultats obtenus ont permis de définir des perspectives d'amélioration et de recherche pour parvenir à une utilisation opérationnelle aboutie. Ces perspectives constituent de fait les objectifs de notre propre recherche :

- Le choix des critères d'évaluation de la gêne olfactive. Un nombre trop important de critères (64 initialement), et donc de sources de données, rend le modèle difficilement transposable d'un territoire à l'autre. L'objectif est donc pour nous de simplifier le jeu de données sans dégrader la qualité du modèle. Il est pour cela nécessaire de se baser sur des critères objectifs et quantifiables.
- L'importance accordée aux critères qui définissent la nuisance odorante et la vulnérabilité des enjeux dans l'évaluation de la gêne olfactive. Initialement, cette évaluation avait requis l'avis de 36 experts du domaine des odeurs. La subjectivité de la perception des odeurs est source de nombreux biais. Cette évaluation nécessite un échantillon plus conséquent de personnes représentatives de la population dans son ensemble (tranches d'âge, CSP, origine géographique, etc.).
- L'acquisition automatique des données. Celle-ci constitue un gain de temps considérable pour la réalisation d'une étude, et éviterait d'avoir à mobiliser des compétences dans le domaine des SIG et des bases de données.
- La représentation des résultats et leurs significations pour un décideur. Les carreaux de 500×500m ne semblent pas adaptés pour la représentation de problèmes d'odeurs qui s'apprécient généralement dans un périmètre restreint

autour du site (moins de 2 km). Des carreaux de plus petite taille permettraient une analyse plus fine des enjeux présents, à l'échelle d'une rue ou d'un pâté de maisons (lotissements, logements collectifs, zones commerciales, etc.). Ce gain de précision est essentiel dans la mesure où l'importance d'une nuisance s'apprécie au nombre de personnes qu'elle concerne (Jaubert, 2010a).

II.3. METHODOLOGIE

Les principales étapes de la méthodologie sont schématisées dans la figure ci-dessous (Figure 10) :

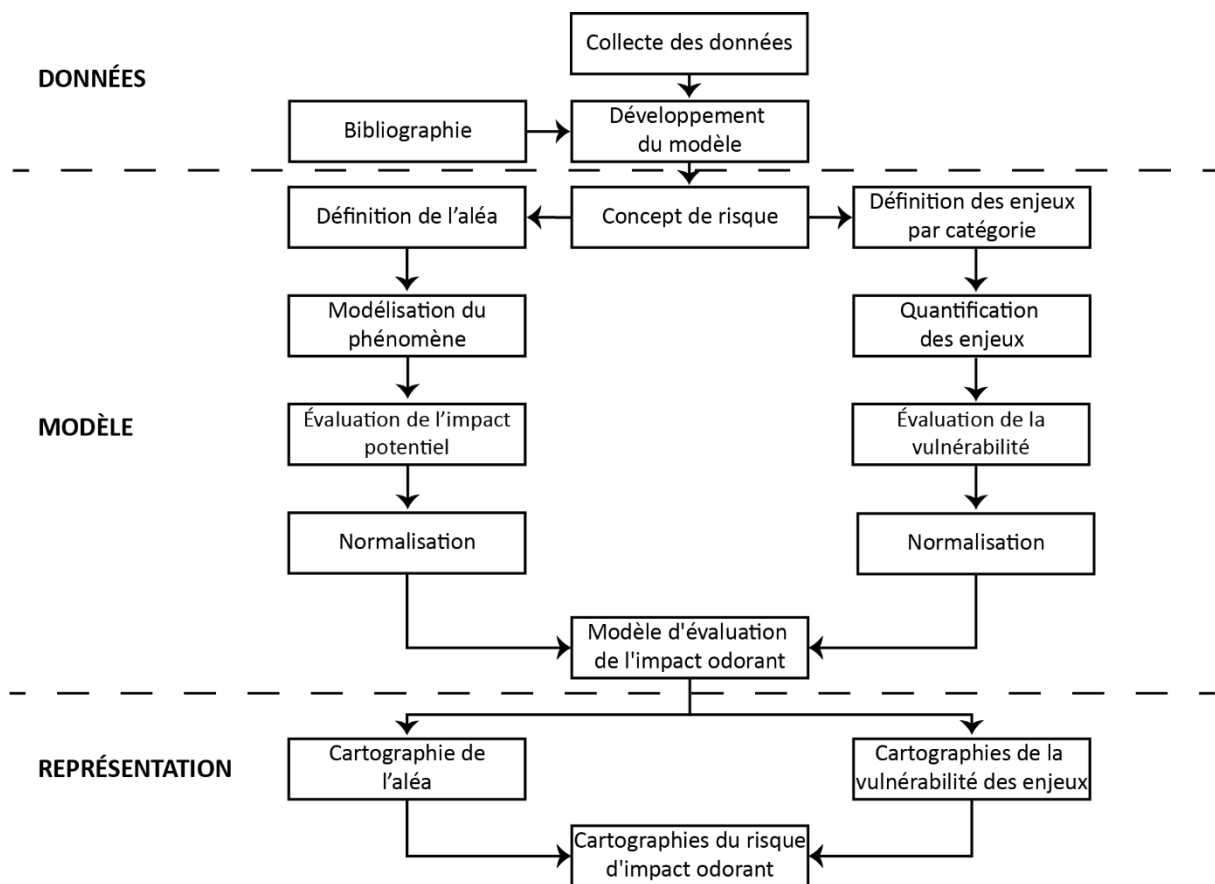


Figure 10 : Les principales étapes de la méthodologie

L'analyse bibliographique effectuée dans la partie précédente a permis de nous positionner sur les futurs développements à mettre en place. La partie qui suit développe les différentes étapes méthodologiques qui permettent d'aboutir au modèle d'évaluation et de prévision de l'impact odorant sur un territoire.

II.3.1. La gêne olfactive considérée comme un risque

La notion de risque est largement utilisée pour parler de réchauffement climatique, de crise économique, de pandémie, d'attaque terroriste, d'accident industriel, de

pauvreté, etc. La notion de risque est transversale et applicable à tous les aspects de la vie, dans le domaine public comme dans la sphère privée. Son étymologie est débattue mais l'on retrouve en France la notion moderne de « risque » dès le XVII^e siècle (Niget and Petitclerc, 2012). Avant l'ouvrage fondateur d'Ulrich Elbech (1986), *La société du risque*, l'analyse des risques a d'abord concerné le domaine de l'économie et des assurances. Les analyses de risques dans le domaine industriel émergent à la fin des années 1980, avec notamment la mise en œuvre du décret du 21 septembre 1977 qui impose aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) une étude de dangers décrivant les effets des accidents potentiels avant leur autorisation administrative (Martinais, 2011). Les analyses et évaluations des risques visent à quantifier, à qualifier ou à classer les dangers dans un souci d'aide à la décision. Elles sont utilisées pour caractériser la nature et l'ampleur des dommages humains, naturels ou économiques. De nombreuses recherches sur les risques ont été menées dans le domaine de l'industrie, de la finance, de la santé ou encore plus largement celui de l'environnement.

Le concept de base de l'évaluation des risques (Équation 1) est que le risque global dépend de la probabilité qu'un événement (aléa) impacte un enjeu caractérisé par une vulnérabilité (Tixier *et al.*, 2006) :

$$\text{Risque} = \text{aléa} \times \text{enjeu} \quad (1)$$

Dans l'objectif de qualifier ou de quantifier un niveau de risque, ce concept peut être transcrit (Équation 2) comme le croisement d'un potentiel de danger avec la vulnérabilité (qualitative et/ou quantitative) de l'enjeu considéré.

$$\text{Niveau de Risque} = \text{Potentiel de danger} \times \text{Vulnérabilité de l'enjeu} \quad (2)$$

II.3.1.1. Principe

La présence d'une odeur n'implique pas forcément un risque pour la santé. À l'inverse, il existe des molécules toxiques inodores, c'est le cas du monoxyde de carbone régulièrement qualifié de « tueur silencieux ». Mais comme on l'a vu, des épisodes odorants répétés peuvent avoir des conséquences négatives sur la qualité de vie des riverains et aussi sur le bon fonctionnement du territoire.

Depuis une dizaine d'années, quelques travaux de recherches ont abordé la gêne olfactive comme un risque (Popa, 2013; Invernizzi, Capelli and Sironi, 2016). Ce concept de risque de gêne olfactive est aujourd'hui présent dans quelques guides officiels d'évaluation des odeurs, comme c'est le cas au Royaume-Uni (Bull *et al.*, 2018) ou en Nouvelle-Zélande (MfE, 2016). Il est le plus souvent défini comme le croisement des émissions odorantes avec des enjeux (humains ou économiques) caractérisés par

une vulnérabilité. En effet, des conséquences négatives (agacement, dévaluation d'un bien, baisse de fréquentation, etc.) ne peuvent se produire que si une nuisance odorante impacte les récepteurs, et cela de manière répétée.

La gêne olfactive peut donc être définie comme un risque (Équation 3). Les principales composantes cindyniques entrent en jeu dans sa définition :

$$\text{Risque de gêne olfactive} = \text{Nuisance odorante} \times \text{enjeu} \quad (3)$$

De la même manière, un niveau de gêne olfactive peut être calculé (Équation 4) en croisant le potentiel de nuisance de l'odeur avec la vulnérabilité de l'enjeu considéré.

$$\text{Niveau de gêne olfactive} = \text{Potentiel de nuisance} \times \text{vulnérabilité de l'enjeu} \quad (4)$$

Où :

Le potentiel de nuisance correspond à l'impact odorant d'un site industriel sur un territoire. Celui-ci se base sur les caractéristiques des composés odorants émis et à leur dispersion sur le territoire.

À l'échelle d'un territoire, les enjeux autour du site émetteur peuvent se décliner en enjeux humains (la population résidente), en enjeux économiques (activités commerciales) ou en enjeux sociaux (infrastructures publiques).

La vulnérabilité est définie en fonction des enjeux. Elle traduit la propension d'un enjeu à subir un dommage face à une nuisance odorante. La vulnérabilité des enjeux humains peut ainsi faire référence à la sensibilité des individus face à un composé odorant. Du point de vue des enjeux économiques et sociaux, la vulnérabilité peut s'envisager selon le niveau d'attente olfactif des personnes lorsqu'ils fréquentent une activité économique ou une infrastructure publique.

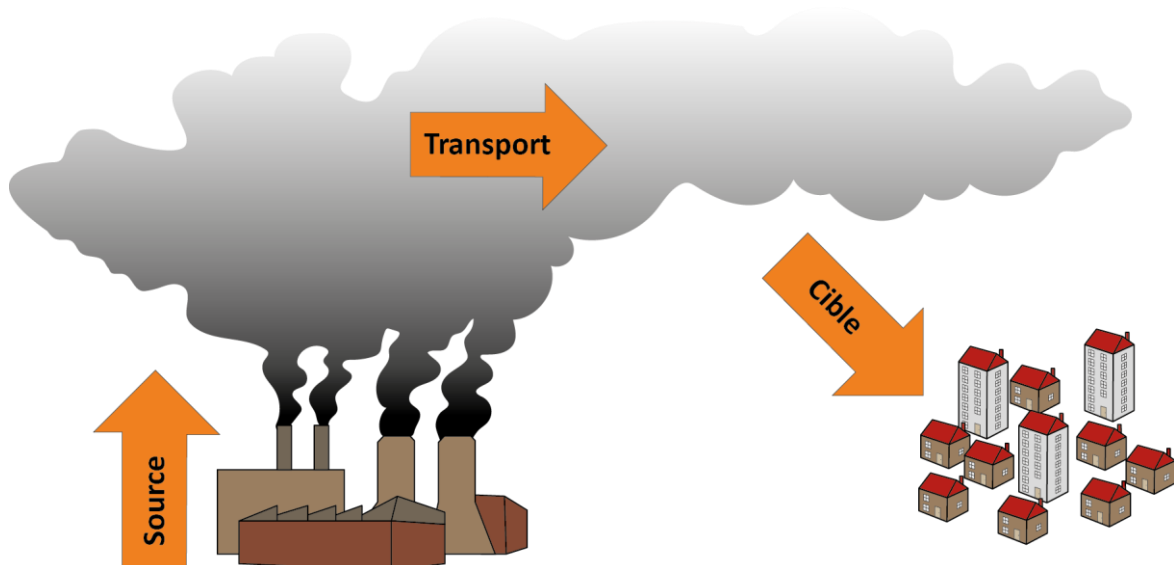


Figure 11 : Concept S-P-R : de la source aux effets sur les récepteurs

L'évaluation et la représentation de la gêne olfactive comme un risque nécessite donc de caractériser à la fois la source d'émission, le transport des molécules odorantes sur le territoire et leurs effets potentiels sur les enjeux considérés. On retrouve ainsi les principales composantes du concept S-P-R (*Source-Pathway-Receptor*) utilisé pour l'évaluation et la prévision de nombreux risques environnementaux (Figure 11).

II.3.1.2. Évaluation et représentation de la gêne olfactive comme un risque

L'objectif des méthodes d'évaluation des risques est d'estimer l'importance d'un risque par rapport à son acceptabilité ou à une norme, puis de prendre des dispositions pour sa gestion active (Gormley, Pollard and Rocks, 2011).

La mise en place de ces méthodes d'évaluation des risques passe par les étapes suivantes : la définition de la zone d'étude, la caractérisation de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux, puis l'agrégation de l'ensemble de ces informations sous la forme de matrices ou de cartes (Popa, 2013). En considérant la gêne olfactive comme risque, son évaluation suit les mêmes étapes :

- L'identification et la caractérisation de la zone impactée. Dans le domaine des odeurs, celle-ci s'apprécie généralement dans un périmètre restreint autour du site émetteur (moins de 2 km). Ce n'est pas toujours le cas, certaines grandes industries comme les papeteries émettent des composés odorants depuis de hautes cheminées (plus de 100 mètres) qui sont perçus parfois à plus de 20km de distance. La zone d'impact est la plupart du temps obtenue à partir d'une modélisation de la dispersion atmosphérique.
- L'évaluation et la caractérisation des composantes de la gêne olfactive (potentiel de nuisance de l'odeur, enjeux et vulnérabilité). Le potentiel de nuisance de l'odeur et/ou les caractéristiques des enjeux impactés vont permettre de déterminer leur vulnérabilité et ainsi le niveau de gêne olfactive sur le territoire.
- L'intégration des différentes composantes de la gêne dans une fonction globale. Cette dernière étape permet de représenter des niveaux de risque de gêne olfactive sur le territoire à partir des indices/indicateurs représentant les composantes de la gêne (potentiel de nuisance de l'odeur, vulnérabilité des enjeux).

Dans le domaine des risques, on distingue généralement deux types d'approche pour modéliser le risque : l'approche déterministe et l'approche probabiliste (Hourtolou, 2002). L'approche déterministe rend généralement compte de l'hypothèse maximale en ignorant les niveaux et la probabilité d'exposition. Cette approche ne permet pas une représentation de la gêne olfactive mais simplement une représentation de la zone

d'impact de la nuisance odorante. L'approche probabiliste est basée sur l'estimation de la probabilité ou de la fréquence d'apparition d'un scénario identifié. Cette approche permet de représenter la gêne olfactive seulement sur la base d'une probabilité d'impact odorant sur le territoire (Popa, 2013). Ces deux approches, aux limites respectives, sont rendues complémentaires dans une approche combinée (approche déterministe et probabiliste). Déjà utilisé dans les travaux de Popa (2013), cette dernière permet d'évaluer et de cartographier des niveaux de risque dans chaque maille d'une grille autour d'une installation par l'agrégation d'un indice de potentiel de nuisance de l'odeur et d'un indice de vulnérabilité. Cette approche combinée basée sur une agrégation de l'ensemble des paramètres apparaît comme la plus appropriée pour prendre en compte plusieurs critères sans les réduire à un seul.

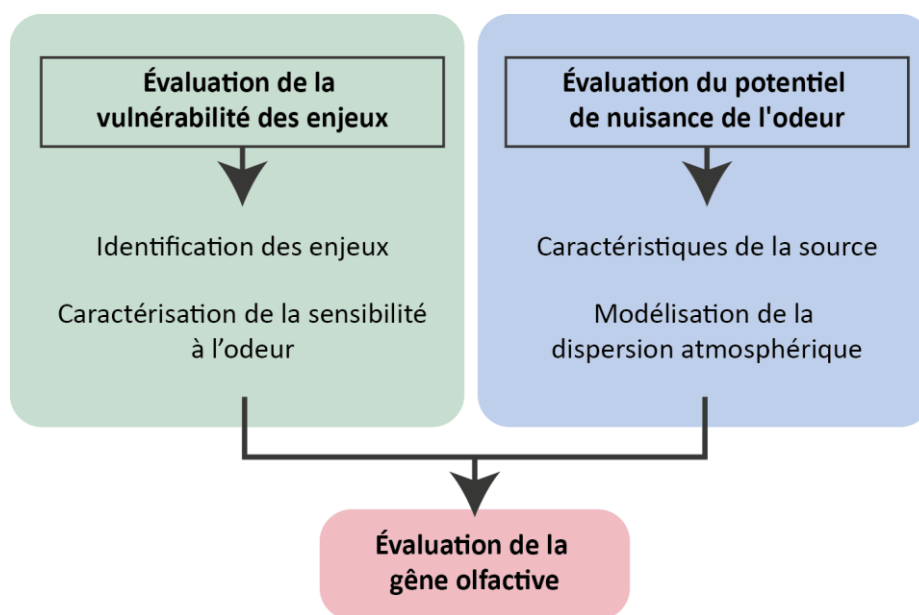


Figure 12 : Évaluation de la gêne olfactive comme un risque

Cette approche combinée permet de tenir compte des caractéristiques de la source d'odeur (acceptabilité, exposition, etc.) et de celles des enjeux exposés (populations, activités économiques, etc.) pour évaluer et représenter un risque de gêne olfactive sur un territoire (Figure 12).

II.3.1.3. Décomposition de la problématique

L'objectif de cette méthode est d'éclairer les acteurs impliqués sur l'impact odorant d'une industrie existante ou future sur un territoire. En considérant la gêne comme un risque, plusieurs enjeux présents autour du site peuvent être pris en compte. Dans le cadre de notre travail, l'impact odorant est évalué sous le prisme de trois enjeux :

- Un premier enjeu humain, concerne les riverains du site. Une exposition répétée peut avoir un impact sur le bien-être de ces populations et conduire à l'agacement, au refus de l'odeur et à l'action de plainte.
- Un deuxième enjeu, économique, se place du point de vue des activités économiques qui peuvent observer des changements de comportement et des baisses de fréquentation face à la présence d'une nuisance odorante.
- Un troisième enjeu, social, s'intéresse à l'impact d'une nuisance odorante sur le fonctionnement des infrastructures publiques (écoles, lieux de culte, hôpital, etc.). Cet enjeu peut recouvrir plusieurs dimensions, comme l'impact d'une nuisance odorante sur la capacité à se concentrer à l'école par exemple, ou comme participant à la dégradation d'un service public.

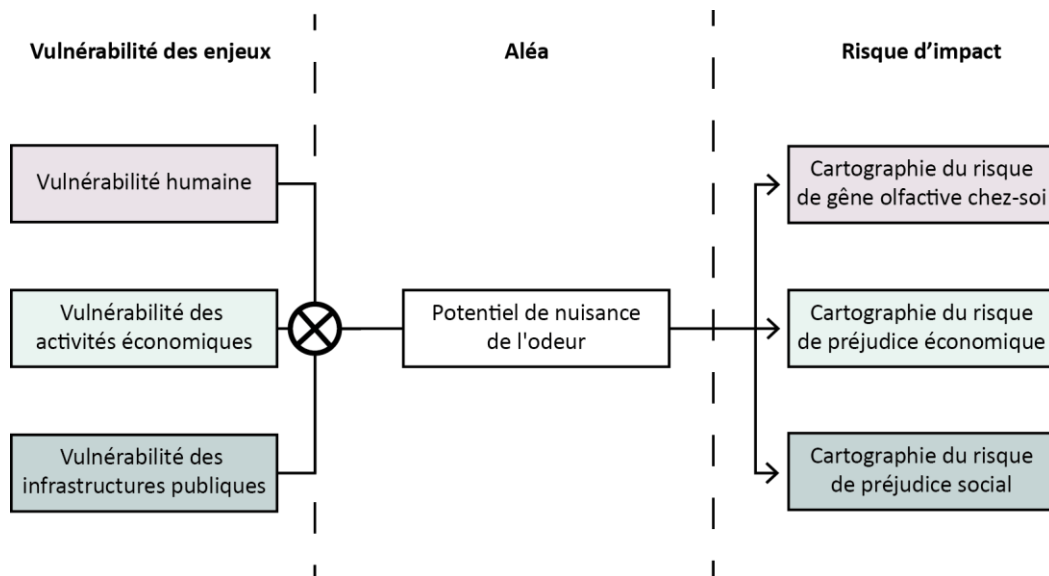


Figure 13 : Déclinaison du risque d'impact odorant selon l'enjeu considéré

Au lieu de fournir un indice global du risque de gêne olfactive, le risque de gêne est décliné d'après ces trois enjeux et donne lieu à trois cartographies distinctes (Figure 13). Le potentiel de nuisance de l'odeur constitue le dénominateur commun à chacune des analyses. Chaque cartographie offre une perspective différente de l'impact d'une nuisance odorante sur le territoire. Cette distinction permet à l'utilisateur final d'identifier rapidement les enjeux et l'importance de l'impact. D'un point de vue méthodologique, cette distinction permet de s'affranchir d'une méthode de pondération nécessaire pour juger l'importance de chaque enjeu. Cette appréciation est laissée à l'utilisateur final selon les caractéristiques de son territoire.

II.3.1.3.1. Le risque de gêne olfactive chez soi

Le risque de gêne olfactive « chez soi » est traduit comme le croisement de la nuisance odorante avec les enjeux humains présents sur le territoire (Équation 5). Il évalue l'impact de la nuisance odorante sur les riverains du site émetteur.

$$\text{Risque de gêne olfactive} = \text{Nuisance odorante} \times \text{enjeu humain} \quad (5)$$

De la même manière, un niveau de gêne olfactive peut être calculé (Équation 6) en croisant le potentiel de nuisance de l'odeur avec la vulnérabilité des riverains impactés.

$$\text{Niveau de gêne olfactive} = \text{Potentiel de nuisance} \times \text{vulnérabilité humaine} \quad (6)$$

Ce risque traduit la probabilité qu'une partie de la population se mobilise et intente des poursuites contre le site émetteur. Le niveau de risque de gêne dépend du potentiel de nuisance de l'odeur (acceptabilité, intensité, fréquence, durée) mais aussi du nombre de personnes impactées. Plus le nombre de personnes impactées est important, plus il y a de chances que ces personnes portent plainte.

II.3.1.3.2. Le risque de préjudice économique

Le risque de préjudice économique est traduit comme le croisement de la nuisance odorante avec les enjeux économiques présents sur le territoire (Équation 7).

$$\text{Risque de préjudice économique} = \text{Nuisance odorante} \times \text{enjeu économique} \quad (7)$$

Celui-ci évalue les conséquences économiques potentielles de la nuisance odorante sur les activités impactées. Ces pertes économiques peuvent être le résultat d'un changement de comportement face à une mauvaise odeur, entraînant une potentielle diminution de la fréquentation. De la même manière, un niveau de préjudice économique peut être calculé (Équation 8) en croisant le potentiel de nuisance de l'odeur avec la vulnérabilité des activités économiques impactées.

$$\text{Niveau de préjudice économique} = \text{Potentiel de nuisance} \times \text{vulnérabilité des activités économiques} \quad (8)$$

Ce risque traduit la probabilité qu'une partie des activités économiques subisse des pertes économiques. Le niveau de risque dépend du potentiel de nuisance de l'odeur (acceptabilité, intensité, fréquence, durée) mais aussi du nombre d'activités économiques impactées et de leur vulnérabilité face à une mauvaise odeur. La vulnérabilité des activités économiques est fonction du niveau d'attente olfactif de la clientèle qui varie selon le type d'activité. Un décalage trop important entre l'ambiance

olfactive attendue et celle effectivement perçue peut à plus ou moins long terme détourner la clientèle et impacter le fonctionnement de l'activité.

II.3.1.3.3. Le risque de préjudice social

Le risque de préjudice social est traduit comme le croisement de la nuisance odorante avec les enjeux sociaux présents sur le territoire (Équation 9).

$$\text{Risque de préjudice social} = \text{Nuisance odorante} \times \text{enjeu social} \quad (9)$$

Celui-ci évalue l'impact de la nuisance odorante sur la qualité des services publics d'un territoire (établissements de santé/scolaires/sportifs, lieux de culte, parcs, etc.). On considère qu'une exposition répétée à nuisance odorante peut, à plus ou moins long terme, participer à la dégradation d'un service public. De la même manière, un niveau de préjudice social peut être calculé (Équation 10) en croisant le potentiel de nuisance de l'odeur avec la vulnérabilité des infrastructures publiques impactées.

$$\text{Niveau de préjudice social} = \text{Potentiel de nuisance} \times \text{vulnérabilité des infrastructures publiques} \quad (5)$$

Ce risque traduit la probabilité que la qualité du service public se dégrade. Le niveau de risque dépend du potentiel de nuisance de l'odeur (acceptabilité, intensité, fréquence, durée) mais aussi du nombre d'infrastructures publiques impactées et de leur vulnérabilité face à une mauvaise odeur. Comme pour la vulnérabilité des activités économiques, la vulnérabilité des infrastructures publiques est fonction des attentes olfactives qui varient selon le type de structure.

II.3.2. Caractérisation du potentiel de nuisance

Le potentiel de nuisance est défini comme la capacité d'une odeur à constituer une nuisance. Il décrit l'impact de l'odeur selon son intensité, son acceptabilité et sa fréquence dans le temps et dans l'espace. Comme nous l'avons vu précédemment, les facteurs FIDO (fréquence, intensité, durée, acceptabilité) sont reconnus comme des facteurs déterminants pour évaluer l'impact d'une nuisance odorante.

Tous ces facteurs sont réunis dans l'équation (Équation 11) permettant d'évaluer le potentiel de nuisance de l'odeur dans chaque maille de notre territoire d'étude.

$$PN = I * Acc \quad (11)$$

Où I correspond à l'intensité de l'odeur et Acc acceptabilité de l'odeur.

L'évaluation du potentiel de nuisance est basée sur deux des principales informations que nous renvoie notre sens olfactif : l'acceptabilité (O) et l'intensité (I) de l'odeur. De manière générale, il existe une relation entre l'acceptabilité de l'odeur et l'intensité

perçue, un attribut clairement lié à la concentration de l'odeur. Cependant, la relation entre l'acceptabilité de l'odeur et l'intensité perçue s'avère plus complexe pour certains odorants qui démontrent une corrélation positive ou négative entre le caractère agréable et l'intensité, voire aucune corrélation (Sucker *et al.*, 2008).

L'évaluation de l'intensité et de l'acceptabilité de l'odeur, décrite dans les sections suivantes, est basée sur la concentration d'odeur évaluée dans la maille. En effet, l'intensité ou l'acceptabilité de l'odeur perçue est liée à la concentration de l'odeur. La concentration d'odeur est évaluée sur l'ensemble du territoire d'étude à partir d'un logiciel de dispersion atmosphérique. Pour notre étude, on définit une concentration ambiante maximale de 1uoE/m³ sur une durée moyenne de 10 minutes (D), qui ne doit pas être dépassée 98 % du temps (F).

Les quatre facteurs FIDO sont pris en compte dans l'évaluation du potentiel de nuisance. Les limites retenues sont particulièrement restrictives au regard de la réglementation des installations classées qui situe le seuil de la nuisance à 5uoE/m³ sur une durée moyenne d'une heure qui ne doit pas être dépassée plus de 98% du temps (soit 175 heures par an). Cette limite de 1uoE/m³ permet de se baser sur le seuil de détection de l'odeur où 50 % des personnes sont censées percevoir l'odeur.

II.3.2.1. Calcul de l'intensité de l'odeur

L'intensité de l'odeur peut être exprimée en utilisant une échelle ordinale, qui est une description verbale d'une sensation olfactive à laquelle un chiffre est attribué. La relation entre l'intensité psychologique perçue et la concentration d'odeur est modélisée par la loi de Weber-Fechner (Équation 12). Cette loi décrit la relation entre une sensation mentale et la grandeur physique d'un stimulus. Elle dit que l'intensité de la sensation est proportionnelle au logarithme de l'excitation.

$$I = k \times \log(S) + b \quad (12)$$

Où I est l'intensité de la sensation, S la grandeur du stimulus, k le coefficient Weber-Fechner et b une constante d'interception.

Appliquée à l'odeur (Équation 13), elle dit que l'intensité de l'odeur perçue est proportionnelle au logarithme de la concentration des odorants (exprimée en uoE/m³) :

$$I_{OD} = k \times \log(C_{od}) + 0.5 \quad (13)$$

Où I_{OD} est l'intensité de l'odeur, C_{OD} la concentration d'odeur, k le coefficient Weber-Fechner et 0,5 la constante d'interception.

La valeur de la constante d'interception s'explique par le fait que pour les substances gazeuses ayant une C_{OD} de 1 uoE/m³, l'intensité théorique de l'odeur devrait être $I_{OD} =$

0,5 selon la définition du seuil de perception de l'odeur qui stipule que 50 % des panélistes perçoivent une odeur faible tandis que les autres ne perçoivent pas d'odeur. Par conséquent, l'ordonnée à l'origine de la relation linéaire est fixée à 0,5 (Guideline VDI 3882 Part 1, 1992). Même si l'échelle d'intensité des odeurs est une échelle ordinale, elle est traitée comme une échelle métrique.

Cette équation sert de base à l'évaluation de l'intensité de l'odeur que pratique la société Olentica par olfactométrie dynamique. L'échantillon gazeux est présenté à cinq niveaux de dilution à six panélistes. Le niveau d'intensité de l'odeur est apprécié à chaque niveau de dilution sur une échelle ordinale. Le coefficient directeur de la droite de régression (k) est déterminé. Cette méthode permet de mesurer l'intensité de l'odeur sur une échelle ouverte.

Dès lors, disposant du coefficient de Weber-Fechner, et d'un logiciel de dispersion atmosphérique, il est possible de calculer une valeur d'intensité de l'odeur dans chaque maille (200×200 m) de notre territoire d'étude (Équation 14) :

$$I = k \times \log(C_{od}) + 0.5 \quad (14)$$

Où I est correspond à la valeur d'intensité de l'odeur dans la maille, k à la constante de Weber-Fechner évaluée par Olentica et C_{OD} à la concentration d'odeur dans la maille.

La modélisation de la dispersion atmosphérique de plusieurs types d'effluents gazeux a permis de définir une étendue comprise entre 0 et 20 dans laquelle exprimer une intensité d'odeur. Cette étendue apparaît cohérente pour des odeurs perçues dans l'environnement du site émetteur.

II.3.2.2. Calcul de l'acceptabilité de l'odeur

L'équation permettant de calculer l'acceptabilité est analogue dans sa structure à celle permettant de calculer l'intensité de l'odeur. Elle en diffère par le fait que la perception du caractère agréable ou désagréable de l'odeur s'établissant un niveau supraliminaire ($C_{OD} > 1 \text{ uoE/m}^3$), l'acceptabilité de l'odeur est donc nulle (odeur indifférente) pour une concentration d'odeur de 1 uoE/m^3 . La constante d'interception est donc fixée à 0. Le coefficient directeur (k') s'obtient de la même manière que précédemment décrit pour l'intensité de l'odeur. L'équation permettant le calcul d'une valeur d'acceptabilité de l'odeur dans chaque maille du territoire est la suivante (Équation 15) :

$$Acc = k' \times \log(C_{od}) \quad (15)$$

Où Acc correspond à la valeur d'acceptabilité de l'odeur dans la maille, k' à la constante de Weber-Fechner évaluée par Olentica et C_{OD} à la concentration d'odeur dans la maille.

Comme précédemment, des essais de modélisation de la dispersion atmosphérique de plusieurs effluents gazeux ont permis d'établir qu'une étendue comprise entre 0 et 20 dans laquelle évaluer un niveau d'acceptabilité de l'odeur était pertinente pour des odeurs perçues dans l'environnement du site émetteur.

II.3.2.3. Discrétisation des niveaux d'intensité et d'acceptabilité de l'odeur

À partir des résultats de la dispersion atmosphérique et des méthodes de calcul présentées, une valeur d'intensité et d'acceptabilité de l'odeur est évaluée dans chaque carreau (200×200m) du territoire d'étude. Ces deux paramètres possèdent tous les deux une étendue statistique identique comprise entre 0 et 20. On peut imaginer une odeur extrêmement forte ou intolérable aux alentours de 20, et à peine perceptible autour de 0, mais que signifient les valeurs intermédiaires pour l'utilisateur ?

Pour donner un sens à ces valeurs et assurer la lisibilité de l'information cartographiée, on opère généralement un regroupement des valeurs en un nombre limité de classes (Lahousse and Piédanna, 2000). Cette opération est appelée discrétisation, une procédure de simplification qui permet d'améliorer la lisibilité d'une carte en réduisant l'information. Le choix d'une méthode par rapport à une autre nécessite d'être justifié car celui-ci influence les limites de bornes des classes et donc la représentation géographique du phénomène (Zanin, 2006).

La première étape de la discrétisation consiste à définir le nombre de classes. L'indice de Huntsberger, basé sur le nombre d'observations, est utilisé en cartographie pour évaluer le nombre de classes optimales. Cette formule indicative n'est pas adaptée à notre modèle où le nombre d'observations est variable selon les conditions de dispersion. On choisit donc de se baser sur les échelles ordinales de verbalisation utilisées par les panélistes pour décrire l'intensité ou l'acceptabilité d'une odeur. Ces échelles de verbalisation comportent chacune 5 classes :

- Odeur très faible / faible / moyenne / forte / très forte ;
- Odeur légèrement désagréable / désagréable / très désagréable / extrêmement désagréable / insoutenable.

L'étape suivante consiste à choisir une méthode pour découper les classes. Les méthodes les plus simples et les plus utilisées en cartographie sont celles utilisant des seuils naturels, des amplitudes égales, des effectifs égaux, la standardisation (moyenne et écart type) ou selon une progression arithmétique ou géométrique (Zanin, 2006). Ce choix dépend généralement des propriétés de la distribution statistique et de l'information à communiquer. Dans notre cas, la forme de la distribution de l'intensité ou de l'acceptabilité de l'odeur est systématiquement dissymétrique à gauche. Cela

signifie que la plupart des carreaux présentent des niveaux d'intensité ou d'acceptabilité de l'odeur relativement faibles, seuls quelques-uns affichent des niveaux très élevés. Cette forme reflète le phénomène de dilution de l'odeur qui s'opère depuis la source (intensité maximale) et dont l'éloignement (distance) permet une dilution plus ou moins rapide selon les conditions de dispersion atmosphérique et de la persistance de l'odeur notamment (Carre and Fanlo, 2006).

Dans le cadre d'une méthode reproductible et comparable, la procédure de discrétisation doit permettre d'évaluer l'intensité ou l'acceptabilité de l'odeur selon des plages de valeur fixes, quelle que soit la nature de l'odeur considérée. Plusieurs méthodes de discrétisation peuvent être d'emblée écartées. C'est le cas de la méthode des seuils naturels ou standardisée qui génèrent des bornes de classe différentes selon la forme de la distribution statistique. La méthode des effectifs égaux est également écartée car conditionnée par le nombre d'observations. Ces méthodes génèrent des bornes de classe variables d'une modélisation à l'autre, et ne permettent aucune comparaison. Les méthodes de discrétisation utilisant une progression arithmétique ou géométrique auraient pu être utilisées. Celles-ci sont parfaitement adaptées aux formes des distributions mais les équations permettant d'évaluer l'intensité et l'acceptabilité de l'odeur perçue suivent déjà une loi logarithmique.

INTENSITE de l'ODEUR					ACCEPTABILITE de l'ODEUR				
Signification	Classe		min	max	Signification	Classe		min	max
Faible	1	$\geq$	0	$\leq$ 2	Légèrement désagréable	1	$\geq$	0	$\leq$ 2
	2	$>$	2	$\leq$ 4		2	$>$	2	$\leq$ 4
Moyenne	3	$>$	4	$\leq$ 6	Désagréable	3	$>$	4	$\leq$ 6
	4	$>$	6	$\leq$ 8		4	$>$	6	$\leq$ 8
Forte	5	$>$	8	$\leq$ 10	Très désagréable	5	$>$	8	$\leq$ 10
	6	$>$	10	$\leq$ 12		6	$>$	10	$\leq$ 12
Très forte	7	$>$	12	$\leq$ 14	Extrêmement désagréable	7	$>$	12	$\leq$ 14
	8	$>$	14	$\leq$ 16		8	$>$	14	$\leq$ 16
Extrêmement forte	9	$>$	16	$\leq$ 18	Insoutenable	9	$>$	16	$\leq$ 18
	10	$>$	18	$\leq$ 20		10	$>$	18	$\leq$ 20

Figure 14 : Discrétisation de l'intensité et de l'acceptabilité de l'odeur

On choisit donc une méthode par amplitudes égales pour découper l'intensité et l'acceptabilité de l'odeur en 5 classes en reprenant les échelles de verbalisation utilisées par les jurys de nez. Cette méthode se base sur l'étendue statistique qui va pour chacun des deux paramètres, de 0 en l'absence de nuisance à 20 dans les cas les plus pénalisants. Cette méthode est décorrélée des formes de distribution statistique observées, ce qui permet d'utiliser les mêmes plages de valeur d'une modélisation à l'autre. Des sous-classes sont ajoutées pour proposer à l'utilisateur une représentation plus nuancée en 10 classes (Figure 14).

II.3.2.4. Calcul du potentiel de nuisance de l'odeur

Le potentiel de nuisance est défini comme le produit de l'acceptabilité et de l'intensité de l'odeur (Équation 6). Ces deux paramètres sont évalués sur la même plage de valeurs (0 à 20) et sont discrétisés de la même manière (méthode par amplitudes égales). Cette harmonisation permet d'attribuer autant d'importance à l'intensité et à l'acceptabilité dans l'évaluation du potentiel de nuisance de l'odeur.

Les limites de classes du potentiel de nuisance sont obtenues en multipliant celles de l'intensité et de l'acceptabilité de l'odeur entre elles. On obtient des bornes de classes qui évoluent de manière exponentielle : 0, 16, 64, 144, 256, 400. Ce découpage discrimine davantage le bas de la distribution, là où se trouve la majorité des observations.

INTENSITE de l'ODEUR				⊗	ACCEPTABILITE de l'ODEUR				⇒	POTENTIEL DE NUISANCE			
Signification	Classe	min	max		Signification	Classe	min	max		Signification	Classe	min	max
Faible	1	≥ 0	≤ 2		Légèrement désagréable	1	≥ 0	≤ 2		Faible	1	≥ 0	≤ 4
	2	> 2	≤ 4			2	> 2	≤ 4			2	> 4	≤ 16
Moyenne	3	> 4	≤ 6		Désagréable	3	> 4	≤ 6		Moyen	3	> 16	≤ 36
	4	> 6	≤ 8			4	> 6	≤ 8			4	> 36	≤ 64
Forte	5	> 8	≤ 10		Très désagréable	5	> 8	≤ 10		Élevé	5	> 64	≤ 100
	6	> 10	≤ 12			6	> 10	≤ 12			6	> 100	≤ 144
Très forte	7	> 12	≤ 14		Extrêmement désagréable	7	> 12	≤ 14		Très élevé	7	> 144	≤ 196
	8	> 14	≤ 16			8	> 14	≤ 16			8	> 196	≤ 256
Extrêmement forte	9	> 16	≤ 18		Insoutenable	9	> 16	≤ 18		Extrêmement élevé	9	> 256	≤ 324
	10	> 18	≤ 20			10	> 18	≤ 20			10	> 324	≤ 400

Figure 15 : Calcul du potentiel de nuisance de l'odeur

Un niveau de potentiel de nuisance (en 5 ou 10 niveaux) est évalué et représenté dans chaque carreau du territoire d'étude (Figure 15).

II.3.3. Caractérisation de la vulnérabilité des enjeux

La vulnérabilité peut être définie comme « la propension d'un enjeu humain, matériel, environnemental, économique, etc. à subir un dommage » (Renard and Chapon, 2010). Si la nuisance odorante a un impact direct et circonscrit sur la population, celle-ci affecte dans une plus large mesure le fonctionnement du territoire.

Dans le cadre de notre méthode, seuls les enjeux humains, économiques et sociaux sont pris en considération. La vulnérabilité de ces enjeux est évaluée dans chaque carreau d'un maillage établi préalablement autour d'un site émetteur. À cette échelle de représentation, la disponibilité des données géographiques limite la caractérisation de la vulnérabilité des enjeux.

On définit dans cette section les différents enjeux pris en considération ainsi que les différents moyens mis en œuvre pour évaluer et représenter leur vulnérabilité sur un territoire.

II.3.3.1. Vulnérabilité humaine

II.3.3.1.1. Définition de la vulnérabilité humaine

Les riverains du site émetteur représentent de toute évidence le principal enjeu vulnérable dans la mesure où le domicile constitue un « refuge » qui tient une importance supérieure à tous les autres espaces (Jaubert, 2010a).

Dans le cadre de notre méthode de prévision de la gêne olfactive, la vulnérabilité humaine mesure l'importance de la population riveraine exposée pendant un épisode odorant. Elle décrit la vulnérabilité des populations uniquement à leur domicile, contrairement à l'approche de Popa qui définit la vulnérabilité humaine comme l'agrégation de la vulnérabilité des riverains à leur domicile, pendant une activité de loisirs, au travail, etc.

La vulnérabilité humaine est évaluée de manière collective dans chaque carreau du territoire d'étude. À cette échelle d'analyse, les sensibilités individuelles (seuil de tolérance, état psychologique, habitudes, contexte, etc.) ne peuvent pas être prises en compte. Même si ces éléments sont déterminants dans la genèse du sentiment de gêne, Jaubert rappelle que l'importance d'une nuisance s'apprécie au nombre de personnes qu'elle concerne (Jaubert, 2010a). On peut alors estimer que la vulnérabilité humaine d'un territoire face à une nuisance odorante s'apprécie principalement au nombre de personnes exposées. Plus un territoire est peuplé, plus il y a de chances pour que la population porte plainte contre l'industriel et les autorités publiques.

Finalement, la vulnérabilité humaine est fonction du nombre de riverains exposés à la nuisance odorante.

II.3.3.1.2. Recensement de la population : les données du LCSQA

La population sur un territoire est estimée à partir des données du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). Le LCSQA est l'organisme chargé d'assurer la coordination technique du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France. Il apporte un support scientifique et technique aux pouvoirs publics et aux Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). L'une de ses missions principales est d'assurer la diffusion et la valorisation au niveau national des données produites par le dispositif de surveillance.

L'organisme produit une donnée géographique annualisée à l'échelle de la France, qui s'appuie sur une méthode précise utilisant les fichiers MAJIC (informations cadastrales) pour estimer la population à l'échelle du bâti. Le besoin de recenser finement la population sur le territoire s'inscrit dans le cadre d'une législation

européenne sur l'évaluation de la qualité de l'air « qui impose, lors du dépassement d'un objectif environnemental (valeur limite, valeur cible, objectifs de long terme), de déterminer la zone de couverture du dépassement et la population impactée » (Létinois, 2014).

La population à l'échelle du bâti est ensuite agrégée dans les carreaux de 200m de l'INSEE, qui constituent notre grille d'analyse.

II.3.3.2. Vulnérabilité des activités économiques et des infrastructures publiques

II.3.3.2.1. Définition de la vulnérabilité des activités économiques

La vulnérabilité d'une activité économique peut être définie comme la mesure dans laquelle une activité est susceptible d'être affectée négativement par une odeur. Selon la nature de l'activité, la présence d'une mauvaise odeur peut engendrer des baisses de productivité, des coûts supplémentaires pour contrôler ou éliminer l'odeur, des changements de comportement qui peuvent pousser certains clients à aller chercher la même prestation dans un environnement plus agréable.

La vulnérabilité face à la présence d'une mauvaise odeur n'est pas la même selon le type d'activité économique. On imagine par exemple qu'une mauvaise odeur perçue pendant une activité de restauration sera plus difficilement acceptée et aura beaucoup plus d'impact que la même odeur perçue lors d'une visite chez un garagiste. Le niveau de vulnérabilité d'une activité dépend donc essentiellement du décalage qu'il peut exister entre les attentes olfactives que nous nourrissons en chaque lieu et les odeurs perçues.

Dans le cadre de notre méthode de prévision de la gêne olfactive, la vulnérabilité des activités économiques est évaluée de manière collective dans chaque carreau de notre grille d'analyse. On estime que la vulnérabilité économique d'un carreau s'apprécie principalement au nombre d'activités présentes mais aussi d'après le niveau d'attente olfactif que nous nourrissons en chacun de ces lieux. Plus il y a d'activités et plus elles sont sensibles à la présence d'une mauvaise odeur, plus il y a de chances que l'impact économique soit important à l'échelle d'un carreau.

II.3.3.2.2. Définition de la vulnérabilité des infrastructures publiques

La vulnérabilité d'une infrastructure publique peut être définie comme la mesure dans laquelle une structure est susceptible d'être affectée négativement par une odeur. Les infrastructures publiques représentent l'ensemble des établissements scolaires, des infrastructures de santé, des administrations publiques et des services sociaux présents sur un territoire. Selon le type d'infrastructure, la présence d'une mauvaise odeur peut,

à plus ou moins long terme, participer à la dégradation du service public, engendrer des coûts supplémentaires pour réduire le problème, impacter la qualité de vie de ceux qui y travaillent ou plus spécifiquement impacter la capacité des élèves à se concentrer à l'école par exemple.

Selon le temps consacré et les attentes olfactives que nous nourrissons en chacun de ces lieux, les infrastructures publiques d'un territoire ne sont pas toutes aussi vulnérables vis-à-vis d'une nuisance odorante. Entre un poste de police, une déchetterie municipale, un lieu de culte ou une école élémentaire, nos attentes en termes d'ambiances olfactives ne sont pas les mêmes et la présence d'une mauvaise odeur sera plus ou moins acceptée. Comme pour la vulnérabilité des activités économiques, on estime qu'un décalage trop important dans nos attentes olfactives peut, à plus ou moins long terme, participer à dégrader la qualité d'un service public.

La vulnérabilité des infrastructures publiques est évaluée de manière collective dans chaque carreau de notre grille d'analyse. À cette échelle, la vulnérabilité des infrastructures publiques s'apprécie principalement au nombre de structures présentes mais aussi d'après le niveau d'attente olfactif que nous nourrissons en chacun de ces lieux. Plus il y a d'infrastructures et plus elles sont sensibles à la présence d'une mauvaise odeur, plus il y a de chances d'observer une dégradation de la qualité des services publics à l'échelle de ce carreau.

II.3.3.2.3. Les données OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) est un projet de cartographie collaborative en ligne depuis 2004. Ce projet vise à constituer une carte du monde à partir d'une base de données géographiques libre, alimentée par des volontaires utilisant un GPS, des images aériennes ou leurs connaissances locales (Eugster and Schlesinger, 2013).

Le projet OSM constitue la plus grande base libre de données géographiques au monde. Pour interagir avec cette immense base de données, il existe une Interface de Programmation d'Application (API) qui permet au travers d'une interface logicielle de se connecter à la base de données d'OSM pour l'interroger, récupérer ou ajouter des données. L'ensemble des données qui constituent le fond de carte d'OpenStreetMap (bâtiment, route, occupation du sol, etc.) sont disponibles sous la licence Open Data Commons Open Database License (ODbL). Elles sont libres d'être utilisées, téléchargées, transformées, et ce même dans un but commercial.

Dans le cadre de notre étude et de nos objectifs, seules les activités économiques et les infrastructures publiques recevant du public (ERP) nous intéressent. La nomenclature

des objets OSM¹ permet de cibler lesquels seront récupérés. Un tableau récapitulatif permet de visualiser tous les objets géographiques téléchargés à partir de la valeur de l'attribut *value* (Tableau 5).

		OSM <i>value</i> sélectionnées
Activités commerciales	Hyper/supermarché	supermarket / general / mall / wholesale / department_store
	Commerce spécialisé	kiosk / toy_library / shop
	Marché	marketplace
	Hébergement	alpine_hut / apartment / camp_pitch / chalet / guest_house / hostel / hotel
	Restauration	bar / cafe / fast_food / restaurant / ice_cream / pub
Activités de services	Prestations	car_wash / fuel / internet_cafe / car_rental
	Administratif	bank / post_office / courthouse / fire_station / police / townhall / grave_yard
	Social	social_centre / social_facility / community_centre / conference_centre / events_venue / place_of_worship / monastery / prison
	Santé	clinic / doctors / hospital / pharmacy
	Éducation	college / kindergarten / library / school / university / music_school / driving_school / language_school
Activités de loisirs	Act. sportive et récréative	park / stadium / picnic_site / viewpoint / theme_park / playground / casino / gambling / nightclub / aquarium / zoo / leisure / sports / tourism
	Musée et monument	monument / memorial / museum / artwork
	Art et spectacle	arts_centre / cinema / theatre / gallery

Tableau 5 : Liste des objets géographiques récupérés via l'API d'OSM

Les valeurs en gras dans le tableau correspondent à un niveau supérieur dans la nomenclature OSM, elles permettent de récupérer toutes les valeurs qu'elles contiennent (e.g. la clé **shop** permet de récupérer en une fois tous les types de commerces spécialisés : magasin de vêtements, boulangerie, librairie, etc.). Au total, 225 types d'activités commerciales et d'infrastructures publiques sont sélectionnées. L'utilisation de l'API d'OSM permet d'automatiser la récupération des données selon l'emprise du territoire d'étude et garantit les dernières mises à jour.

Les données géographiques récupérées peuvent se présenter sous la forme de points ou de polygones. Selon l'emprise réelle sur le terrain et l'auteur de l'ajout, un objet géographique peut aussi bien être numérisé de manière ponctuelle que surfacique (e.g. un lieu de culte). Les données brutes sont nettoyées (e.g. suppression des piscines privées) et les doublons géométriques (e.g. un groupe scolaire surfacique contenant plusieurs écoles ponctuelles) sont corrigés pour ne pas surévaluer le nombre d'activités.

¹ https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features



Figure 16 : Exemple d'objets OSM sélectionnés et visualisation dans le carroyage 200m×200m de l'INSEE

Les données nettoyées servent ensuite à dénombrer les différentes activités présentes dans chaque carreau de la grille d'analyse (Figure 16). Dans le cas où un élément surfacique recouvre plusieurs carreaux, celui-ci est comptabilisé dans chacun des carreaux qu'il intersecte. Dans l'exemple ci-dessus, l'université est prise en compte dans les 6 carreaux qu'elle recoupe.

II.3.3.2.4. Le questionnaire de sensibilité

La nature du lieu joue un rôle important dans l'évaluation du sentiment de gêne. Un parc, une boulangerie ou un cinéma nourrit en nous certaines attentes olfactives. Percevoir les émissions d'une friteuse dans un de ces lieux peut sembler intolérable alors que ces mêmes odeurs perçues dans un fast-food sont jugées normales voire indispensables à certains (Jaubert, 2010a).

Pour évaluer la sensibilité des différentes activités économiques et sociales vis-à-vis d'une nuisance odorante, nous avons demandé l'avis à un maximum de volontaires, concernés ou non par des problèmes d'odeurs. Au total, 353 personnes ont répondu à un questionnaire en ligne sur leur capacité à supporter une mauvaise odeur dans 33 situations différentes. Les réponses recueillies ont ensuite permis d'attribuer une valeur de sensibilité à l'odeur aux 225 activités économiques et sociales prises en compte.

II.3.3.2.4.1. Procédure

Un questionnaire en ligne *Google Forms* a été diffusé pour évaluer notre capacité à supporter une mauvaise odeur dans diverses situations. Cette méthode permet de recueillir un plus grand nombre d'avis et offre un gain de temps par rapport à un questionnaire classique ou une méthode d'entretien individuel.

Les différentes activités économiques et sociales prises en compte nous ont permis d'établir un questionnaire tenant compte d'un maximum de situations du quotidien. Les volontaires ont répondu à une seule question demandant de renseigner leur capacité à supporter une odeur désagréable dans 33 situations :

« Évaluer votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égout) pendant... »

Pour chaque situation, les volontaires ont répondu sur leur capacité à supporter une odeur désagréable selon cinq niveaux : un peu, moyennement, très difficilement, absolument pas ou ne sait pas.

Le questionnaire est divisé en trois blocs :

- Une brève partie signalétique permettant de renseigner le sexe, l'âge et le statut professionnel du répondant. Le questionnaire étant anonyme, ces informations servent uniquement à caractériser l'échantillon de participants.
- Une première partie comprenant 9 items renvoyant à différentes situations générales. Les volontaires ont répondu sur leur capacité globale à supporter une odeur désagréable à leur domicile, pendant une activité de loisir, commerciale, de restauration, d'hébergement, etc.
- Une deuxième partie comprenant 24 items renvoyant à des situations plus précises. Les volontaires ont évalué leur capacité à supporter de mauvaises odeurs « pendant un séjour au camping », « pendant une course alimentaire », « pendant un repas au restaurant », « pendant que vous déposez votre enfant à l'école », etc.

Les personnes interrogées ont été sollicitées via les listes de diffusion internes à l'IMT Mines Alès, mais aussi à l'intérieur de nos propres réseaux de connaissances.

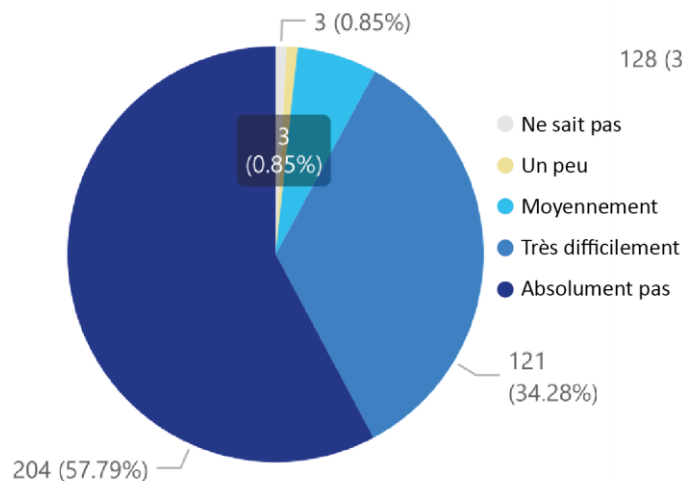
II.3.3.2.4.2. Analyse et interprétation des résultats

Le questionnaire a permis de récolter 353 réponses. De manière générale, il ressort que les odeurs sont très peu acceptées. Les répondants sont très sensibles à la présence

d'une mauvaise odeur et plus que tout à leur domicile. Dans le détail, les réponses au questionnaire sont plus nuancées et révèlent des situations où la présence d'une mauvaise odeur est unanimement jugée comme intolérable (e.g. une mauvaise odeur perçue au restaurant), et d'autres où elle est supportée plus facilement (e.g. une course chez le buraliste).

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égouts) pendant...

...un repas au restaurant



...un repas au fast-food

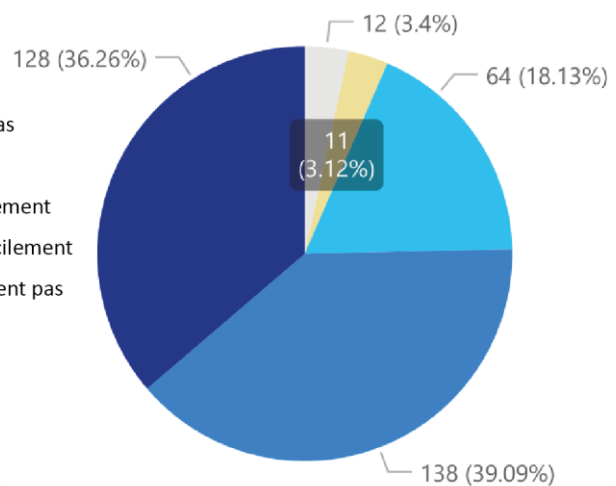
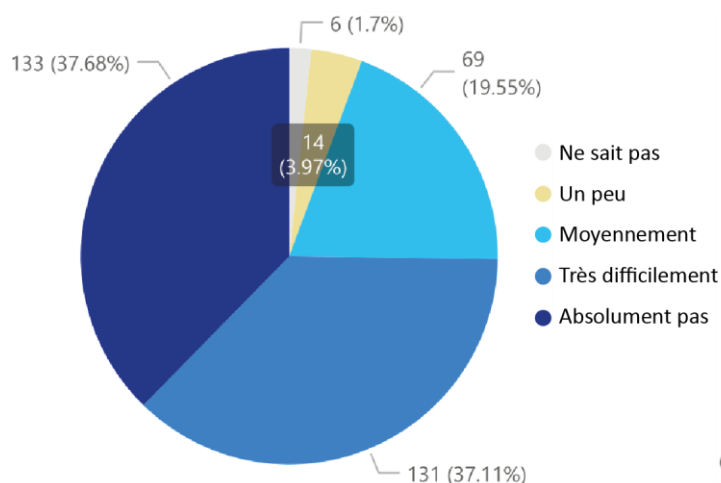


Figure 17 : Résultats du questionnaire sur la capacité à supporter une mauvaise odeur au restaurant et au fast-food

L'activité de restauration apparaît comme la plus sensible aux mauvaises odeurs. Plus de 90 % des personnes interrogées supportent très difficilement une odeur désagréable pendant cette activité, et plus de la moitié des répondants ne la supportent absolument pas. Ces résultats sont compréhensibles dans la mesure où la nature de l'activité mobilise l'odorat et le goût, deux sens au centre de l'expérience des saveurs. Il est intéressant de noter une sensibilité différente selon que la mauvaise odeur soit perçue pendant un repas au fast-food ou dans un restaurant (Figure 17).

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égouts) pendant...

...une activité commerciale alimentaire



...une activité commerciale non alimentaire

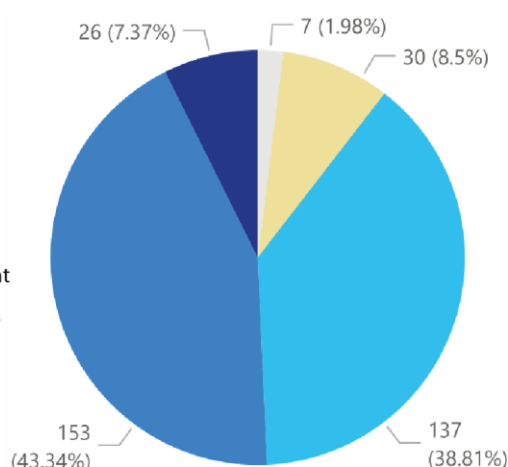
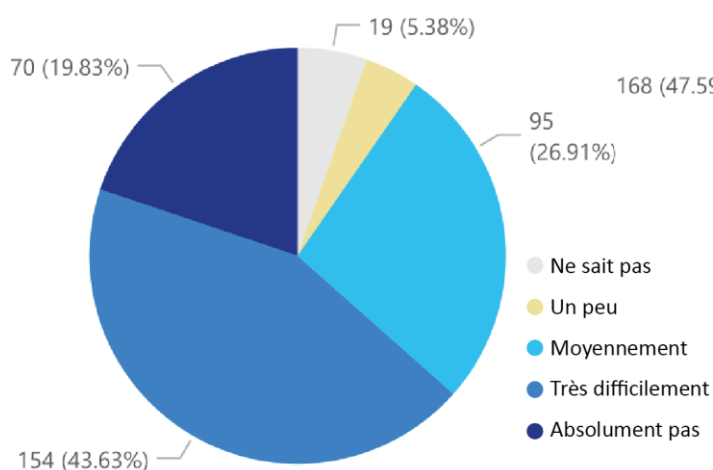


Figure 18 : Résultats du questionnaire sur la capacité à supporter une mauvaise odeur pendant une activité commerciale alimentaire est une activité commerciale non alimentaire

Cette sensibilité accrue pour les activités de bouche apparaît clairement si l'on compare les réponses obtenues sur la capacité à supporter une mauvaise odeur pendant une activité commerciale alimentaire est une activité commerciale non alimentaire (Figure 18).

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égouts) pendant...

...un séjour au camping



...un séjour à l'hôtel

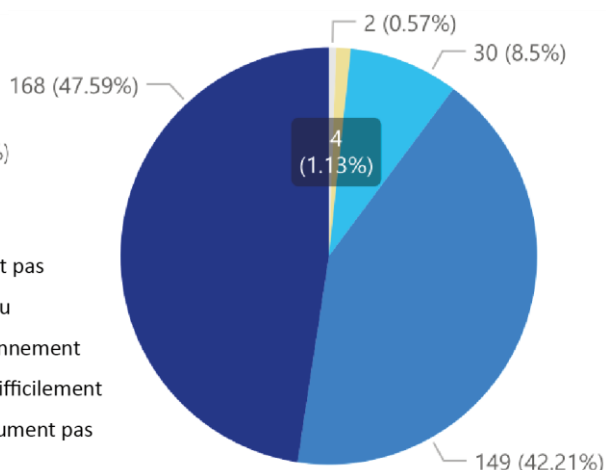


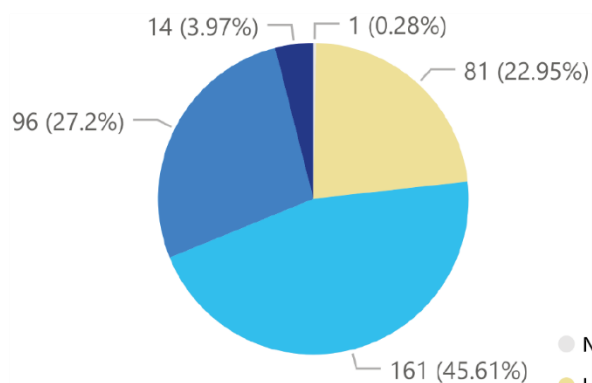
Figure 19 : Résultats du questionnaire sur la capacité à supporter une mauvaise odeur pendant un séjour au camping ou un séjour à l'hôtel

Outre les activités de bouche, les répondants sont particulièrement sensibles à la présence d'une nuisance odorante pendant une activité d'hébergement (Figure 19). Plus de 85 % des personnes interrogées supportent très difficilement une mauvaise odeur à cette occasion, et presque la moitié des répondants ne la supportent

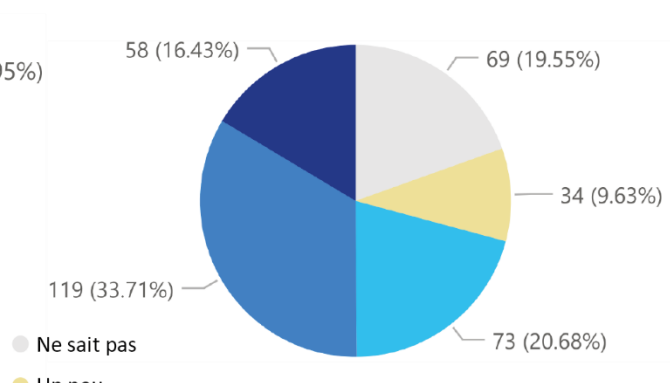
absolument pas. Cette sensibilité élevée se conçoit facilement dans la mesure où la chambre à coucher symbolise le temple de la vie privée. L'intrusion d'une mauvaise odeur dans ce lieu du repos et de l'intimité semble être mal vécue compte tenu du temps passé (au moins la nuit) et de l'argent dépensé. On relève des différences de sensibilité selon qu'une mauvaise odeur est perçue pendant un séjour au camping ou pendant un séjour à l'hôtel.

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égouts) pendant...

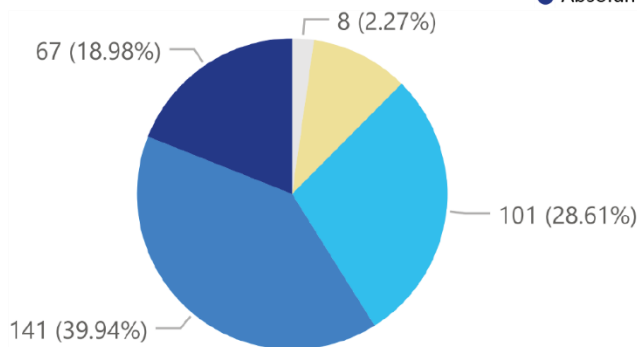
...une activité de loisirs à l'extérieur (parc d'attraction, zoo, accro branche, etc.)



...une soirée en boîte de nuit



...une activité sportive en salle (fitness, yoga, foot en salle, mur d'escalade, etc.)



...que vous êtes installés à la terrasse d'un bar/café

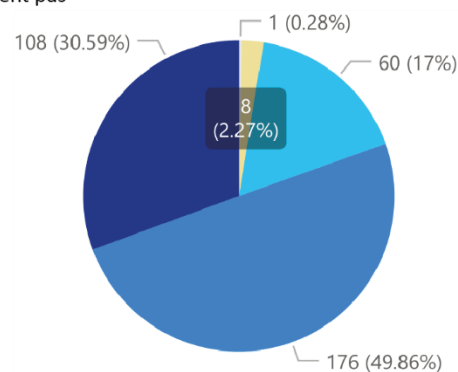
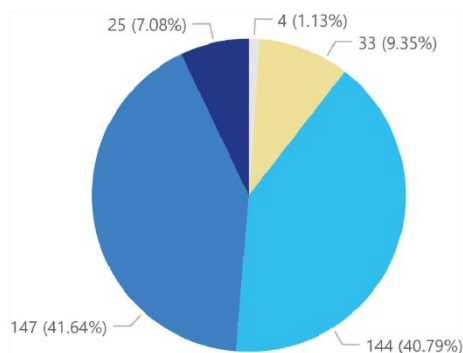


Figure 20 : Résultats du questionnaire sur la capacité à supporter une mauvaise odeur pendant certaines activités sportives et de loisirs

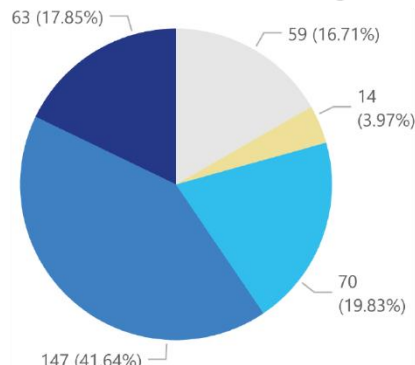
Une odeur désagréable perçue pendant une activité de soins ou de bien-être (coiffeur, spa, etc.) est à peine mieux acceptée. Quant aux activités sportives et de loisirs, les niveaux de sensibilité exprimés varient significativement d'une situation à l'autre. Les répondants semblent davantage prêts à supporter une mauvaise odeur à l'extérieur qu'à l'intérieur, sauf lorsqu'ils sont installés à la terrasse d'un bar ou d'un café (Figure 20). Le caractère social de l'activité induit-il davantage d'exigences en ce qui concerne le cadre et l'ambiance du lieu ?

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égouts) pendant...

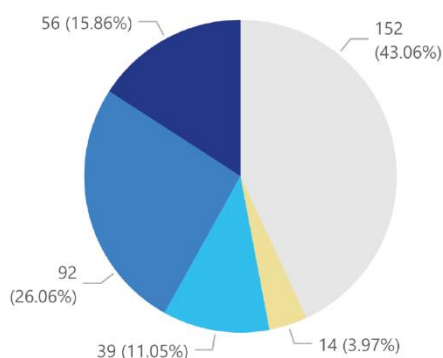
...des formalités dans une structure publique (mairie, poste de police, etc.)



...que vous êtes en classe au collège ou au lycée



...votre pratique religieuse dans un lieu de culte



...un séjour à l'hôpital ou dans une clinique

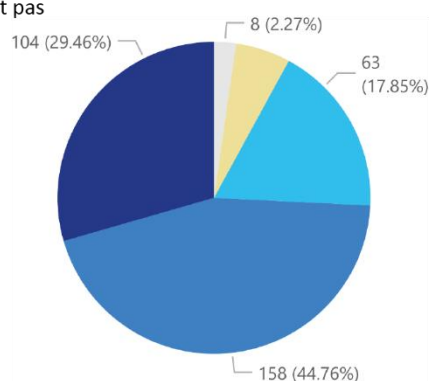
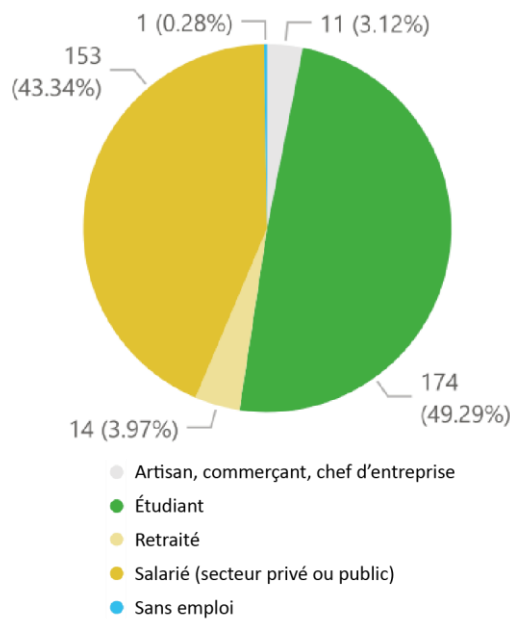


Figure 21 : Résultats du questionnaire sur la capacité à supporter une mauvaise odeur dans certaines structures publiques

Les résultats du questionnaire laissent apparaître quelques situations où une mauvaise odeur est plus facilement tolérée. C'est notamment le cas à l'occasion de démarches administratives (mairie, poste de police, bureau de poste etc.) et d'achats non alimentaires (magasins spécialisés, buraliste, garagiste, etc.). Cette capacité à supporter plus facilement une odeur peut trouver son origine dans la nécessité de la démarche, la fréquence ou le temps consacré à ces activités. Néanmoins, quelques situations révèlent des services publics particulièrement sensibles à la présence d'une mauvaise odeur. C'est le cas des établissements scolaires et des infrastructures de santé (Figure 21).

Quelle est votre situation actuelle?



Vous avez...

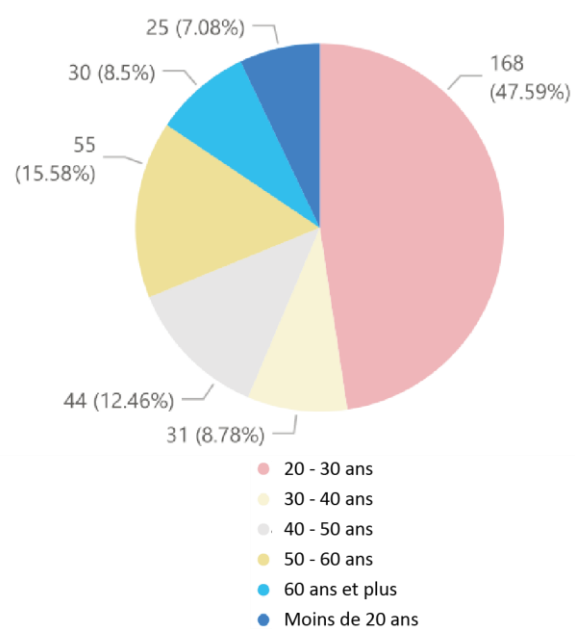


Figure 22 : Typologie des répondants du questionnaire

Dans l'ensemble, les répondants ont réussi à se projeter dans les différentes situations. On relève quelques situations où un nombre important de personnes n'ont pas su répondre : capacité à supporter une mauvaise odeur lorsque vous déposez votre enfant à l'école, lors d'une visite dans un établissement pénitentiaire ou à l'occasion d'un 18 trou au golf. Ces incertitudes s'expliquent par une typologie des répondants qui n'est pas forcément représentative de la population dans son ensemble. En effet, 55 % des répondants ont moins de 30 ans et presque la moitié sont étudiants (Figure 22).

II.3.3.2.4.3. Calcul des indices de sensibilité

Les réponses obtenues au questionnaire ont permis d'attribuer une valeur de sensibilité vis-à-vis d'une nuisance odorante pour chacune des activités économiques et sociales présentes sur un territoire.

Le nombre de réponses obtenues pour chaque niveau de réponse (un peu, moyennement, très difficilement, absolument pas, ne sait pas) permet de calculer une valeur de sensibilité pour chaque item du questionnaire selon cette équation (équation 16) :

$$V_{Sensibilite} = \frac{Nb_{Un\ peu} \times \alpha + Nb_{Moyennement} \times \beta + Nb_{Très\ difficilement} \times \gamma + Nb_{Absolument\ pas} \times \delta}{Nb_{Total} - Nb_{Ne\ sait\ pas}} \quad (16)$$

Des facteurs de pondération α , β , δ et γ sont associés à chaque niveau de réponse pour hiérarchiser l'ensemble des activités économiques et sociales d'un territoire selon leur sensibilité à une nuisance odorante. Pour mettre en avant les activités vulnérables, les

facteurs de pondération suivent une progression géométrique, respectivement 1,10, 100 et 1000.

Activité	Sens.	Activité	Sens.	Activité	Sens.	Activité	Sens.
restaurant	100	basketball	39,5	books	23,9	paint	23,9
apartment	84,1	boxing	39,5	boutique	23,9	party	23,9
chalet	84,1	climbing	39,5	camera	23,9	pawnbroker	23,9
guest_house	84,1	climbing_adventure	39,5	candles	23,9	perfumery	23,9
hostel	84,1	crossfit	39,5	carpet	23,9	pet	23,9
hotel	84,1	fencing	39,5	charity	23,9	pet_grooming	23,9
motel	84,1	fitness_centre	39,5	chemist	23,9	photo	23,9
fast-food	68,3	futsal	39,5	clothes	23,9	radiotechnics	23,9
hairdresser	66,2	gymnastics	39,5	collector	23,9	scuba_diving	23,9
massage	66,2	handball	39,5	computer	23,9	second_hand	23,9
bar	57,9	judo	39,5	copyshop	23,9	security	23,9
cafe	57,9	karate	39,5	cosmetics	23,9	sewing	23,9
ice-cream	57,9	rowing	39,5	craft	23,9	shoes	23,9
internet_cafe	57,9	table_soccer	39,5	curtain	23,9	ski	23,9
pub	57,9	table_tennis	39,5	doityourself	23,9	sports	23,9
alcohol	56,6	taekwondo	39,5	doors	23,9	stationery	23,9
bakery	56,6	volleyball	39,5	driving_school	23,9	tailor	23,9
beverages	56,6	yoga	39,5	dry_cleaning	23,9	tattoo	23,9
butcher	56,6	hearing_aids	32,8	e-cigarette	23,9	ticket	23,9
cheese	56,6	herbalist	32,8	electrical	23,9	tiles	23,9
chocolate	56,6	medical_supply	32,8	electronics	23,9	toys	23,9
coffee	56,6	nutrition_supplements	32,8	energy	23,9	trade	23,9
confectionery	56,6	pharmacy	32,8	erotic	23,9	travel_agency	23,9
convenience	56,6	amusement_arcade	32,4	fabric	23,9	tyres	23,9
dairy	56,6	archery	32,4	fireplace	23,9	vacuum_cleaner	23,9
deli	56,6	bmj	32,4	fishing	23,9	variety_store	23,9
farm	56,6	boules	32,4	flooring	23,9	video	23,9
frozen_food	56,6	chess	32,4	florist	23,9	video_games	23,9
greengrocer	56,6	escape_game	32,4	frame	23,9	window_blind	23,9
health_food	56,6	horse_riding	32,4	funeral_directors	23,9	wool	23,9
ice_cream	56,6	ice_rink	32,4	furniture	23,9	golf	21,8
pasta	56,6	nightclub	32,4	games	23,9	community_centre	19,4
pastry	56,6	shooting	32,4	garden_centre	23,9	courthouse	19,4
seafood	56,6	skateboard	32,4	gift	23,9	fire_station	19,4
spices	56,6	soccer	32,4	glazery	23,9	police	19,4
tea	56,6	sports_centre	32,4	golf	23,9	post_office	19,4
arts_centre	56,1	stadium	32,4	hardware	23,9	social_centre	19,4
cinema	56,1	swimming	32,4	hifi	23,9	townhall	19,4
gallery	56,1	swimming_area	32,4	household_linen	23,9	prison	19,3
museum	56,1	swimming_pool	32,4	houseware	23,9	tobacco	14,1
theatre	56,1	tennis	32,4	interior_decoration	23,9	aquarium	12,6
clinic	55,7	ultimate	32,4	jewelry	23,9	garden	12,6
hospital	55,7	school	32	kiosk	23,9	karting	12,6
adult_gaming_centre	53,2	agrarian	23,9	kitchen	23,9	miniature_golf	12,6
casino	53,2	anime	23,9	laundry	23,9	park	12,6
place_of_worship	52,3	antiques	23,9	leather	23,9	pitch	12,6
college	43,9	appliance	23,9	lighting	23,9	playground	12,6
university	43,9	art	23,9	locksmith	23,9	theme_park	12,6
camp_pitch	42,4	baby_goods	23,9	marketplace	23,9	water_park	12,6
camp_site	42,4	bag	23,9	mobile_phone	23,9	zoo	12,6
music_school	40,9	bank	23,9	model	23,9	boat	9,2
mall	40	bathroom_furnishing	23,9	music	23,9	car	9,2
supermarket	40	beauty	23,9	musical_instrument	23,9	car_parts	9,2
10pin	39,5	bed	23,9	newsagent	23,9	car_repair	9,2
aikido	39,5	bicycle	23,9	optician	23,9	caravan	9,2
badminton	39,5	bookmaker	23,9	outdoor	23,9	motorcycle	9,2

Tableau 6 : Liste des objets géographiques récupérés via l'API d'OSM et valeurs de sensibilité associées

Les 33 situations du questionnaire permettent de calculer 33 valeurs de sensibilité qui sont ensuite reportées aux 225 activités économiques et sociales prises en compte. Les

résultats obtenus sont ensuite normalisés entre 0 et 100 et sont présentés dans le tableau 6.

II.3.3.3. Discrétisation des enjeux

La méthode développée aboutit à une série de cartographies qui doivent être adaptées au public visé, c'est-à-dire à des industriels ou des décideurs. Le message transmis par chaque carte doit être facilement compréhensible. Comme pour la caractérisation du potentiel de nuisance, on procède à une opération de discrétisation, ou découpage en classes de vulnérabilité de chaque enjeu. Cette étape permet d'assurer la lisibilité des résultats mais aussi leur comparaison d'un territoire à l'autre.

Dans le cadre d'une méthode reproductible et comparable, la méthode de discrétisation doit permettre d'évaluer des niveaux de vulnérabilité selon des plages de valeur fixes, quelle que soit la nature du territoire impacté. Cette contrainte implique de déterminer un seuil au-delà duquel on considère la vulnérabilité d'un carreau comme maximale. Pour chaque enjeu, un seuil maximal de vulnérabilité est défini. Il correspond pour chacun d'eux à une réalité objective et quantifiable.

II.3.3.3.1. Discrétisation de la vulnérabilité humaine

La vulnérabilité humaine est évaluée selon le nombre d'habitants résidant dans chaque carreau de 200 m de l'INSEE. La valeur du carreau le plus peuplé (et donc l'étendue) dépend fortement du territoire considéré et du type d'habitat. La définition du seuil maximal de vulnérabilité humaine se base sur une analyse des données du LCSQA. Plusieurs types de territoires (ruraux, périurbains et urbains), représentés par plusieurs types d'habitat (individuel, collectif, intermédiaire) ont été étudiés pour déterminer un seuil au-delà duquel on considère la vulnérabilité humaine comme maximale.

Selon le type d'espace (du territoire rural peu dense jusqu'au milieu rural urbain très dense) le nombre d'habitants recensés peut considérablement varier à l'échelle d'un carreau de 200 mètres. À cette échelle, il est possible d'identifier le type d'habitat (individuel, intermédiaire, collectif) d'après le nombre de personnes qui résident dans chaque carreau. Certains carreaux dépassent les 3000 habitants (soit 75 000 habitants/km²) dans Paris intramuros tandis que de nombreux carreaux en milieu rural ne comptabilisent qu'un seul foyer. Les carreaux qui recouvrent des zones d'habitats collectifs comptabilisent facilement plus de 1000 personnes (soit 25 000 habitants/km²) en milieu urbain, ceux qui recouvrent les logements individuels typiques des espaces périurbains dépassent à peine les 100 habitants (soit 2500 habitants/km²).

Pour tenir compte des différents types d'habitat dans l'évaluation de la vulnérabilité sans trop étendre la distribution statistique, la valeur de 1000 habitants est choisie comme seuil au-delà duquel la vulnérabilité humaine est considérée comme maximale. Cette valeur correspond à un carreau recouvrant une zone d'habitat collectif particulièrement dense (25 000 habitants/km²), que l'on peut retrouver dans la plupart des grandes aires urbaines que peuvent être Angers, Perpignan, Nancy ou Clermont-Ferrand par exemple. Un seuil plus élevé ne semble pas adapté dans la mesure où les industries émettrices d'odeur sont généralement implantées à l'écart des centres urbains les plus densément peuplés. Cette implantation privilégiée impacte davantage les populations des espaces périurbains, des villes moyennes et des espaces ruraux.

VULNERABILITE HUMAINE				
Signification	Classe		min	max
Faible	1	≥	0	≤ 100
	2	>	100	≤ 200
Moyenne	3	>	200	≤ 300
	4	>	300	≤ 400
Elevée	5	>	400	≤ 500
	6	>	500	≤ 600
Très élevée	7	>	600	≤ 700
	8	>	700	≤ 800
Extrêmement élevée	9	>	800	≤ 900
	10	>	900	≤ 1000

Figure 23 : Discretisation de la vulnérabilité humaine

Une fois la valeur maximale déterminée, les bornes de classes de la vulnérabilité humaine sont découpées en utilisant une méthode par amplitudes égales. Cette méthode attribue une amplitude identique à toutes les classes selon l'étendue de la série statistique et le nombre de classes. Dans notre cas, l'étendue et le nombre de classes sont fixés afin d'utiliser les mêmes plages de valeur d'une modélisation à l'autre. Ce choix est décorrélié des formes de distribution statistique observées qui varient selon le territoire étudié. On choisit cette méthode par amplitudes égales car elle permet de discriminer de manière linéaire des niveaux de vulnérabilité selon le nombre d'habitants recensés. Le choix d'une autre méthode (effectifs égaux, standardisation, seuils naturels, progression géométrique, etc.) ne semblait pas pertinent pour distinguer des niveaux de vulnérabilité. La distribution est découpée en 5 classes, comme le potentiel de nuisance. Des sous-classes sont ajoutées pour proposer à l'utilisateur une représentation plus nuancée en 10 classes (Figure 23).

II.3.3.3.2. Discretisation de la vulnérabilité économique

À l'échelle d'un carreau, la vulnérabilité des activités économiques est obtenue en additionnant toutes les valeurs de sensibilité des activités présentes (Équation 10) :

$$V_{ECO} = \sum S_{ACT_{ECO}} \quad (10)$$

L'analyse de résultats sur plusieurs territoires a permis d'évaluer une amplitude dans laquelle les valeurs se dispersent. Les valeurs relevées en territoire urbain dense ont servi à fixer une valeur maximale de vulnérabilité.

On définit la valeur de 1000 comme seuil au-delà duquel la vulnérabilité des activités économiques est considérée comme maximale (1000 est l'équivalent de 10 activités de restauration dans une maille de 200m×200m). Cette proposition ne tient pas compte du nombre de clients qui peuvent fréquenter chacune de ces activités économiques. Ce choix s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle la vulnérabilité d'une activité économique est définie comme la mesure où elle peut être affectée négativement par une odeur, peu importe sa fréquentation.

VULNERABILITE DES ACTIVITES ECONOMIQUES				
Signification	Classe		min	max
Faible	1	≥	0	≤ 100
	2	>	100	≤ 200
Moyenne	3	>	200	≤ 300
	4	>	300	≤ 400
Elevée	5	>	400	≤ 500
	6	>	500	≤ 600
Très élevée	7	>	600	≤ 700
	8	>	700	≤ 800
Extrêmement élevée	9	>	800	≤ 900
	10	>	900	≤ 1000

Figure 24 : Discretisation de la vulnérabilité des activités économiques

Une fois la valeur maximale déterminée, les bornes de classes de la vulnérabilité économique sont découpées en utilisant une méthode par amplitudes égales. Cette méthode attribue une amplitude identique à toutes les classes selon l'étendue de la série statistique et le nombre de classes. Pour les mêmes raisons que la vulnérabilité humaine, on choisit une méthode par amplitudes égales car elle permet de discriminer de manière linéaire des niveaux de vulnérabilité. Le choix d'une autre méthode (effectifs égaux, standardisation, seuils naturels, progression géométrique, etc.) ne semblait pas pertinent pour distinguer des niveaux de vulnérabilité. La distribution est découpée en 5 classes ou 10 classes pour une représentation plus détaillée (Figure 24).

II.3.3.3.3. Discretisation de la vulnérabilité des infrastructures publiques

La vulnérabilité des infrastructures publiques s'évalue de la même manière que la vulnérabilité des activités économiques, en additionnant toutes les valeurs de sensibilité des infrastructures présentes (équation 11) :

$$V_{SOC} = \sum S_{ACT_{SOC}} \quad (11)$$

L'analyse des résultats sur plusieurs territoires montre des valeurs plus faibles que celles de la vulnérabilité des activités économiques. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces moindres valeurs :

- Les infrastructures en question ont généralement une emprise au sol conséquente, réduisant le nombre d'infrastructures dans un carreau (surface d'un hôpital, d'un lycée, etc.) ;
- Certaines infrastructures (hôpitaux, écoles) ne sont pas aussi nombreuses que certaines activités économiques (e.g. Nombre d'hôpitaux / nombre de restaurants) ;
- D'après les résultats de l'enquête, les activités économiques apparaissent en moyenne plus sensibles à la présence d'une odeur que les services publics.

Pour ces raisons, on définit la valeur de 250 comme seuil au-delà duquel la vulnérabilité est considérée comme maximale. La valeur de 250 correspond à la présence de cinq infrastructures sensibles (e.g. université, hôpital, lieu de culte, école, clinique, etc.) dans une maille de 200m×200m. Cette proposition ne tient pas compte du nombre d'utilisateurs qui peuvent fréquenter chacune de ces infrastructures. Ce choix s'appuie sur l'hypothèse selon laquelle la vulnérabilité d'une infrastructure publique est définie comme la mesure où elle peut être affectée négativement par une odeur, peu importe sa fréquentation.

VULNERABILITE DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES				
Signification	Classe		min	max
Faible	1	≥	0	≤ 25
	2	>	25	≤ 50
Moyenne	3	>	50	≤ 75
	4	>	75	≤ 100
Elevée	5	>	100	≤ 125
	6	>	125	≤ 150
Très élevée	7	>	150	≤ 175
	8	>	175	≤ 200
Extrêmement élevée	9	>	200	≤ 225
	10	>	225	≤ 250

Figure 25 : Discretisation de la vulnérabilité des infrastructures publiques

De la même manière que les enjeux précédents, les bornes de classes de la vulnérabilité des infrastructures publiques sont définies en utilisant une méthode par amplitudes égales. Cette méthode attribue une amplitude identique à toutes les classes selon l'étendue de la série statistique et le nombre de classes. Pour les mêmes raisons que la vulnérabilité humaine et la vulnérabilité des activités économiques, on choisit une méthode par amplitudes égales car elle permet de discriminer de manière linéaire des niveaux de vulnérabilité. Le choix d'une autre méthode (effectifs égaux, standardisation, seuils naturels, progression géométrique, etc.) ne semblait pas

pertinent pour distinguer des niveaux de vulnérabilité. La distribution est découpée en 5 classes ou 10 classes pour une représentation plus détaillée (Figure 25).

II.3.4. Calcul du risque de gêne olfactive

Après avoir organisé les différentes composantes de la gêne olfactive, l'étape suivante consiste à les intégrer dans une fonction propre à chaque enjeu pour calculer un niveau de risque de gêne olfactive.

Dans l'évaluation du risque, on fait le choix d'accorder autant d'importance à l'aléa (potentiel de nuisance de l'odeur) et à la vulnérabilité des enjeux (riverains, activités économiques ou services publics). On formule cette hypothèse dans la mesure où le risque de gêne olfactive dépend à la fois de la présence d'une mauvaise odeur et de récepteurs pour la percevoir. Sans l'un ou l'autre de ces deux éléments, le risque de gêne olfactive n'existe pas. Les seules recherches comparables à ce sujet concernent les travaux de Popa (2013) qui ont conclu sur la prépondérance de la nuisance odorante par rapport à la vulnérabilité des enjeux. Cette pondération est issue des résultats d'un questionnaire soumis à 36 experts du domaine des odeurs, et non pas du domaine de l'évaluation des risques. La taille et les caractéristiques de l'échantillon ne nous permettent pas de prendre en compte ces résultats.

Devant l'absence d'éléments objectifs pour déterminer l'importance relative de ces deux paramètres, on attribue autant d'importance au potentiel de nuisance de l'odeur et à la vulnérabilité des enjeux dans le calcul du niveau de risque.

II.3.4.1. Normaliser pour pondérer

Dans le but d'attribuer autant de poids au potentiel de nuisance et aux enjeux dans l'évaluation du risque de gêne, on normalise chacun des éléments. L'objectif de la normalisation est de modifier les valeurs numériques d'un jeu de données pour utiliser une échelle définie (généralement entre 0 et 1), tout en conservant la forme initiale de la distribution statistique et sans perte d'information. En utilisant une échelle de valeurs commune, cette étape de normalisation permet de contrôler le poids de chaque paramètre dans le calcul du risque de gêne.

Dans le cadre de notre modèle, on normalise le potentiel de nuisance de l'odeur et la vulnérabilité des différents enjeux mesurés dans chaque carreau de notre territoire d'étude sur une échelle comprise entre 0 et 10. Dans la mesure où le risque est défini comme le produit du potentiel de nuisance de l'odeur et de la vulnérabilité de l'enjeu considéré (Équation 17), la normalisation permet d'évaluer un niveau de risque compris entre 0 et 100.

$$\text{Niveau de gêne / préjudice} = \text{Potentiel de nuisance} \times \text{vulnérabilité de l'enjeu} \quad (17)$$

L'étape de normalisation se base sur la valeur minimale et maximale de la distribution statistique. Comme on vient de le voir, les éléments qui permettent d'évaluer le risque de gêne s'évaluent sur des étendues statistiques différentes. Les étendues ont été définies précédemment lors de l'étape de discrétisation :

- Le potentiel de nuisance de l'odeur calculé dans chaque maille est normalisé d'après la valeur maximale relevée (400) pour exprimer le potentiel de nuisance de l'odeur sur une échelle allant de 0 à 10.
- La vulnérabilité humaine mesurée dans chaque maille est normalisée d'après la valeur maximale retenue (1000) pour exprimer la vulnérabilité humaine sur une échelle allant de 0 à 10.
- La vulnérabilité des activités économiques mesurée dans chaque maille est normalisée d'après la valeur maximale retenue (1000) pour exprimer la vulnérabilité des activités économiques sur une échelle allant de 0 à 10.
- La vulnérabilité des infrastructures publiques mesurée dans chaque maille est normalisée d'après la valeur maximale retenue (250) pour exprimer la vulnérabilité des services publics sur une échelle allant de 0 à 10.

II.3.4.2. Fonctions de calcul des indices de risque

Trois fonctions propres à chaque enjeu (humain, économique et social) permettent de prévoir et cartographier l'impact odorant dans chaque carreau de notre territoire d'étude.

II.3.4.2.1. Fonction du risque de gêne olfactive chez soi

Le risque de gêne olfactive est évalué dans chaque carreau d'une grille autour d'un site industriel par l'agrégation d'un indice de potentiel de nuisance de l'odeur et de vulnérabilité des populations riveraines (Équation 18).

$$RG = PN \times V_{HUM} \quad (18)$$

Où RG désigne le risque de gêne olfactive Chez-Soi, PN le potentiel de nuisance de l'odeur et V_{HUM} la vulnérabilité humaine.

II.3.4.2.2. Fonction du risque de préjudice économique

Le risque de préjudice économique est évalué dans chaque carreau d'une grille autour d'une installation par l'agrégation d'un indice de potentiel de nuisance de l'odeur et de vulnérabilité des activités économiques (Équation 19).

$$RP_{ECO} = PN \times V_{ECO} \quad (19)$$

Où RP_{ECO} désigne le risque de préjudice économique, PN le potentiel de nuisance de l'odeur et V_{ECO} la vulnérabilité des activités économiques.

II.3.4.2.3. Fonction du risque de préjudice social

Le risque de préjudice social est évalué dans chaque carreau d'une grille autour d'une installation par l'agrégation d'un indice de potentiel de nuisance de l'odeur et de vulnérabilité des services publics (Équation 20).

$$RP_{SOC} = PN \times V_{SOC} \quad (20)$$

Où RP_{SOC} désigne le risque de préjudice économique, PN le potentiel de nuisance de l'odeur et V_{SOC} la vulnérabilité des infrastructures publiques.

II.3.4.3. Discrétisation des indices de gêne

Une étape cruciale de la modélisation du risque de gêne olfactive concerne la discrétisation, c'est-à-dire la mise en classes des valeurs. La difficulté est de proposer un découpage applicable sur l'ensemble du territoire français, qui discrimine aussi bien à l'intérieur d'un territoire rural que dans un autre urbanisé, sans laisser de classe vide. La meilleure des représentations serait celle qui, théoriquement, conduirait à une spatialisation du phénomène aussi fidèle à celle que l'on obtiendrait en représentant les valeurs brutes d'une distribution statistique initiale (Lahousse and Piédanna, 2000).

Les niveaux de risque calculés peuvent être compris entre 0 et 100. L'analyse statistique des résultats de plusieurs modélisations menées sur différents territoires révèle des distributions statistiques uniquement dissymétriques à gauche. Cela signifie que la plupart des carreaux présentent un risque de gêne relativement faible, seuls quelques-uns affichent un risque de gêne très élevé. Cette forme de distribution récurrente s'explique premièrement par l'opérateur mathématique ($\times$) qui induit une croissance exponentielle des valeurs prises dans l'équation 10. De plus, l'effet de dilution de l'odeur accentue cette forme de distribution car il induit généralement un potentiel de nuisance de l'odeur élevé aux abords du site qui diminue ensuite en s'éloignant.

Certaines méthodes de discrétisation peuvent d'emblée être écartées, c'est le cas du découpage par écart type (ou standardisé), qui propose une représentation peu discriminante du phénomène pour les carreaux ayant des valeurs inférieures à la moyenne. De même pour la méthode de discrétisation par amplitude égale qui ne propose aucune discrimination sur des territoires ruraux ou pour des carreaux qui affichent un risque de gêne faible.

Les procédures par découpages arithmétiques et géométriques ont tendance à discriminer davantage le phénomène pour les carreaux ayant des valeurs inférieures à la moyenne, et a créé une dernière classe surdimensionnée. Dans le cas d'un découpage selon une progression géométrique, la règle multiplicative rend plus rapide la croissance de l'amplitude des classes. Cette procédure semble davantage adaptée pour rester discriminant dans des territoires qui peuvent être plus ou moins vulnérables à la présence d'une nuisance odorante.

Dans le cadre de notre méthode on choisit une progression géométrique pour définir les bornes de classe des risques évalués. Celle-ci est adaptée aux distributions statistiques rencontrées. Elle permet de discriminer davantage les plus faibles valeurs, offrant plus de nuances pour la modélisation du risque de gêne dans les territoires ruraux.

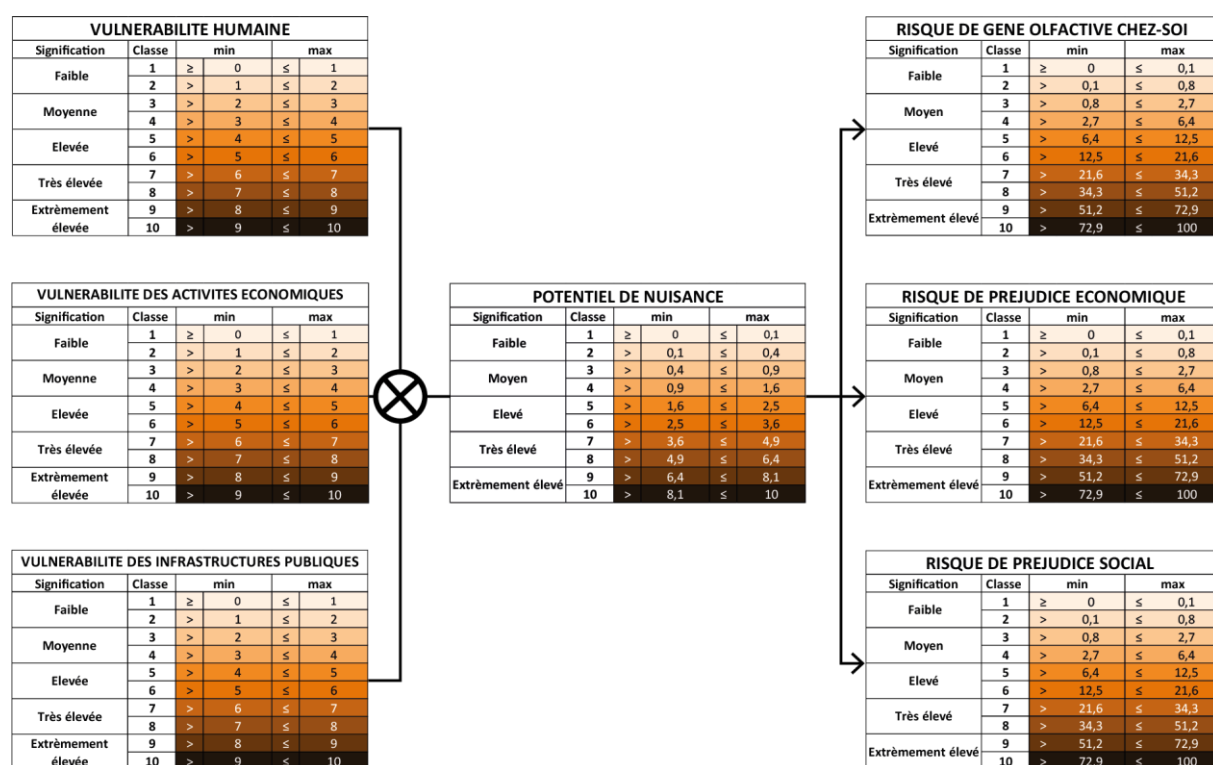


Figure 26 : Construction et discrétisation des risques d'impact

Les niveaux de risque ainsi découpés sont présentés dans la figure 26. Cette figure permet de visualiser l'ensemble des bornes de classes utilisées pour apprécier un niveau de vulnérabilité, de potentiel de nuisance de l'odeur et de risque d'impact dans chaque maille du territoire d'étude.

II.4. CONCLUSION

L'objectif de ce travail est de parvenir à une méthode de prévision de la gêne olfactive pour aider les décideurs à anticiper les problèmes d'odeurs avant qu'ils ne surviennent sur leur territoire.

La méthode développée s'appuie sur les premiers travaux de Popa (2013) qui fut la première à évaluer et à représenter la gêne olfactive comme un risque. Conformément au concept S-P-R, l'évaluation de la gêne olfactive intègre les différentes étapes du processus, de la source d'émission aux effets sur les récepteurs. Ce concept, basé sur les méthodes d'analyse de risque, permet une représentation spatiale et temporelle de l'impact odorant sur un territoire en intégrant à la fois le potentiel de nuisance de l'odeur et la vulnérabilité de l'enjeu considéré.

Dans le cadre de notre approche, l'impact odorant d'une industrie est évalué sous le prisme de trois enjeux : humain, économique et social. Cette déclinaison donne lieu à trois cartographies distinctes qui permettent à l'utilisateur final d'identifier rapidement les enjeux et l'importance de l'impact.

Une innovation a été introduite dans l'évaluation du potentiel de nuisance, produit de l'acceptabilité et de l'intensité de l'odeur. Ces deux paramètres sont mesurés sur une échelle ouverte pour chaque type d'effluent gazeux (méthodologie Olentica) puis évalués en fonction de la concentration d'odeur en tout point du territoire.

Pour parvenir à une méthode opérationnelle facilement transposable, la vulnérabilité des enjeux est évaluée en utilisant seulement deux sources de données géographiques. Celles-ci sont accessibles et régulièrement mises à jour : les données de population carroyées du LCSQA et les données d'Open Street Map. Ces différents choix méthodologiques ont permis de surmonter les principales limites identifiées dans les travaux de Popa (2013) pour évaluer la vulnérabilité des enjeux exposés :

- Le nombre important de sources de données nécessaires,
- La pondération des variables par un jury d'experts,
- Le caractère sensible de certaines variables (revenu fiscal, CSP, etc.).

Le développement de cette méthode de prévision de la gêne olfactive est schématisé dans la figure ci-dessous (Figure 27) :

- Les données. Cette première étape permet de caractériser le territoire exposé à une nuisance odorante à partir de plusieurs sources de données : émissions du site, météo, population, activités économiques, infrastructures publiques.

- Le modèle. Son développement s'appuie sur le concept de l'analyse des risques pour intégrer à la fois l'aléa (le potentiel de nuisance de l'odeur) et la vulnérabilité des enjeux (humains, économiques ou sociaux). Les traitements opérés accordent autant d'importance à ces deux composantes dans l'évaluation de l'impact odorant d'un site.
- La représentation. Cette dernière étape constitue l'application du modèle autour d'un site industriel. Le modèle est intégré dans un système d'information géographique (SIG) pour cartographier le risque de gêne olfactive sur un territoire ainsi que les différentes composantes qui entrent en jeu dans son évaluation (potentiel de nuisance de l'odeur, vulnérabilité des enjeux).

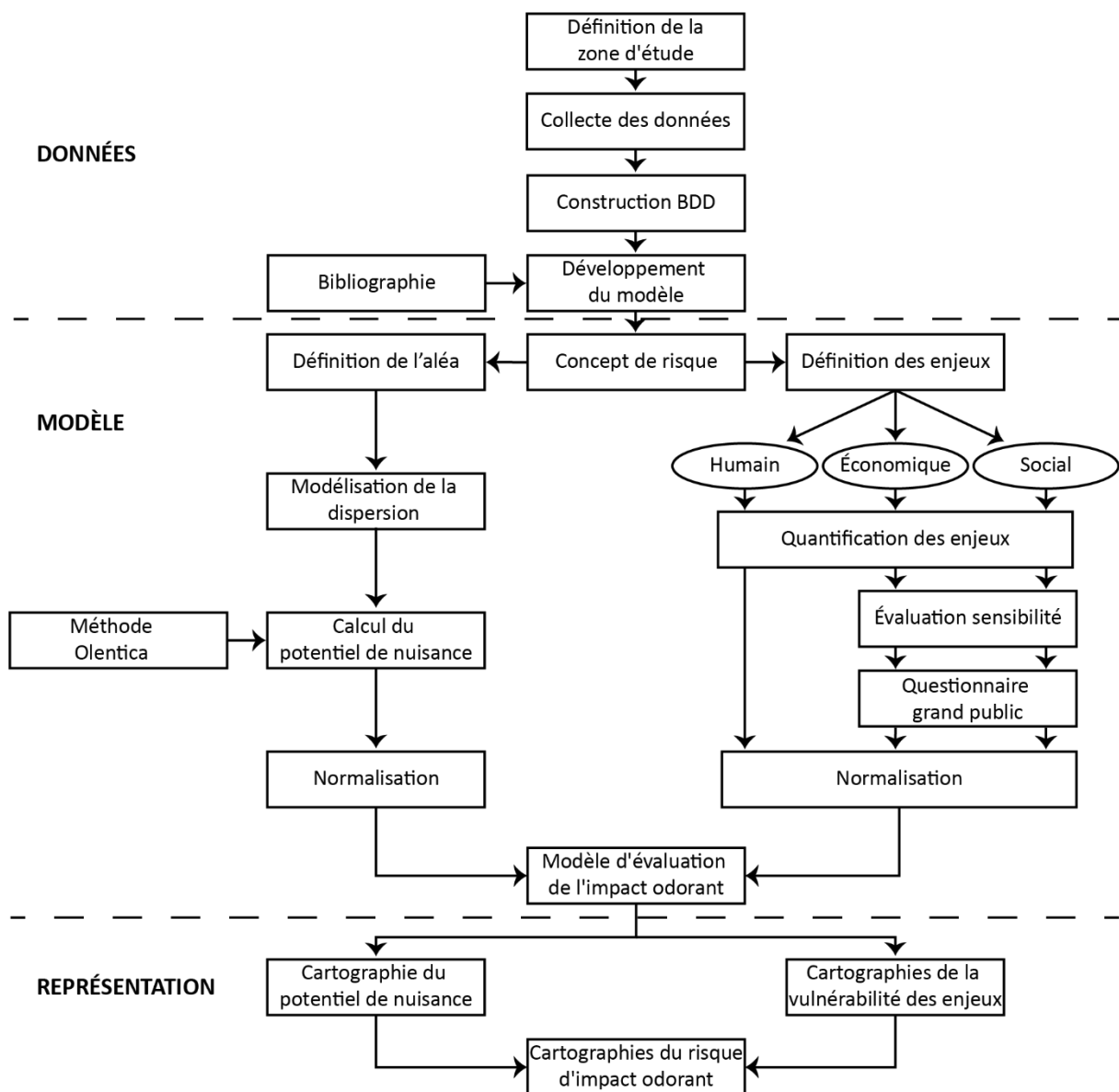


Figure 27 : Les différentes étapes de la méthodologie

La partie suivante expose et discute les résultats de notre méthode appliquée autour d'une levurerie située dans une aire urbaine très dense.

PARTIE III. APPLICATION DE LA METHODE

La partie précédente a présenté la méthode d'évaluation et de prévision de la gêne olfactive développée dans le cadre de ce travail de recherche. Celle-ci s'appuie sur le concept de base de l'évaluation des risques pour évaluer et représenter la gêne olfactive comme le produit du potentiel de nuisance de l'odeur et de la vulnérabilité des enjeux. Plutôt que de fournir un indice global du risque de gêne olfactive, la méthode aboutit à une série de cartographies qui permettent d'évaluer et de prévoir l'impact odorant d'une future industrie sur un territoire sous le prisme de trois enjeux : celui des riverains, des activités économiques et des infrastructures publiques. Nous allons désormais appliquer notre méthode à une levurerie située à 5 km au sud-est de Paris, à Maisons-Alfort (94).

Une première section présente le développement de l'outil SIG utilisé pour automatiser les traitements, de l'import des données à la cartographie des résultats. Celle-ci présente le langage de programmation R employé pour concevoir l'outil SIG ainsi que le support de modélisation utilisé pour évaluer et représenter un risque d'impact odorant sur le territoire.

Une deuxième section présente le territoire d'étude et le site industriel depuis l'implantation de la levurerie en 1872. Cette analyse permet d'expliquer l'implantation du site aujourd'hui situé au cœur d'une aire urbaine très dense.

Une troisième section expose l'ensemble des résultats obtenus. Celle-ci détaille les paramètres utilisés pour modéliser la dispersion atmosphérique et présente les cartographies obtenues du potentiel de nuisance de l'odeur, de la vulnérabilité des enjeux et du risque d'impact odorant.

Une quatrième section s'intéresse à la représentativité des résultats obtenus en les confrontant à ceux issus d'un observatoire des odeurs en place autour de la levurerie. Pour approfondir l'étude, les résultats de différents scénarios sont analysés pour évaluer la réactivité et la pertinence du modèle.

III.1. DEVELOPPEMENT DE L'OUTIL SIG

La méthode développée permet d'anticiper et de représenter l'impact odorant d'un site industriel sur un territoire. Pour cela, il est nécessaire de spatialiser à la fois le potentiel de nuisance de l'odeur et la vulnérabilité des enjeux présents. Plusieurs sources de données géographiques (également appelées données spatiales ou données géospatiales) sont mobilisées : les résultats de la dispersion atmosphérique, les

données carroyées de la population du LCSQA et les infrastructures économiques et publiques d'Open Street Map.

Les données géographiques désignent les informations associées à des objets ou des éléments qui possèdent une localisation dans l'espace et peuvent donc être représentés sur une carte. L'exploitation et le traitement de ces données géographiques requiert l'environnement d'un SIG (Système d'Information Géographique). Un SIG est un système, connu classiquement sous la forme d'un logiciel informatique, qui permet de recueillir, stocker, traiter, analyser puis mettre en forme des données géographiques (Géoconfluences, 2021a).

Une première sous-partie expose l'intérêt d'utiliser dans le cadre de cette recherche l'environnement R pour développer notre outil SIG. Une seconde sous-partie s'intéresse au carroyage comme support pour représenter le risque d'impact odorant sur le territoire. Une synthèse des différentes sources de données de population disponibles sous cette forme justifie l'utilisation des données de population du LCSQA associées au carroyage de 200x200m de l'INSEE.

III.1.1. R : un outil de recherche intégrant un SIG

Le modèle de recherche est développé dans l'environnement R : un langage informatique et un logiciel libre qui possède des capacités avancées d'analyse, de modélisation et de visualisation (Ayrat *et al.*, 2022). Créé dans le début des années 90, il était à l'origine utilisé pour le développement de logiciels statistiques et l'analyse de données. Les fonctionnalités de base se sont étendues grâce à une communauté de contributeurs qui développe des modules (ou packages) apportant sans cesse de nouvelles fonctionnalités (Hijmans, 2015). Sa gratuité et sa grande polyvalence l'ont rendu populaire dans de nombreux domaines (écologie, agronomie, finance, géographie, psychologie, etc.), ouvrant la voie aux échanges et à la diffusion des méthodes avec les autres sciences.

Les capacités spatiales de R ont vu le jour grâce aux modules spatiaux open source (*rgdal*, *rgeos* et *sp*, regroupés aujourd'hui dans le package *sf*) et la volonté des utilisateurs de partager ce qu'ils ont créé ou adapté. Une multitude d'autres modules ont été développés pour réaliser des cartes (statiques ou dynamiques), des statistiques spatiales, des traitements de données vectoriels ou raster. On retrouve grâce à ces bibliothèques les fonctionnalités classiques d'un SIG (Ayrat *et al.*, 2022).

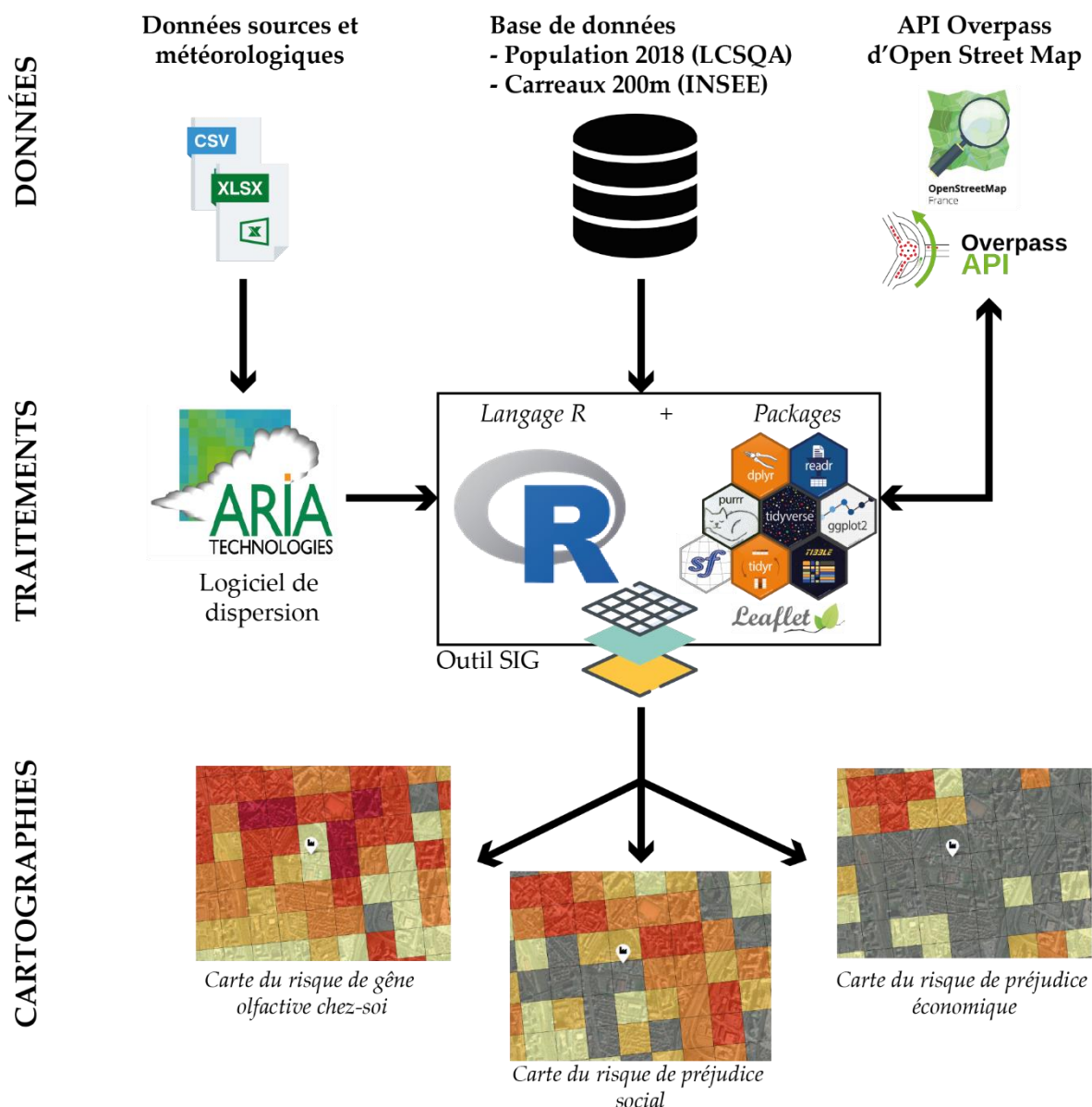


Figure 28 : Présentation de l'outil SIG

La figure 28 schématise l'organisation de l'outil SIG, de l'import des données à la cartographie des résultats. Celui-ci interagit avec un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) et l'API Overpass d'Open Street Map pour récupérer les données géographiques. La zone d'impact et les concentrations d'odeurs associées sont issues d'un logiciel de dispersion tiers dont les résultats sont importés dans l'outil SIG. Les données sont ensuite découpées, dénombrées, agrégées et normalisées dans chaque maille pour rendre compte d'un indice d'impact odorant.

Pourquoi utiliser le langage de programmation R plutôt qu'un logiciel SIG « classique » ?

La méthode développée requiert plusieurs sources de données pour décrire le potentiel de nuisance de l'odeur et la vulnérabilité des populations ou des activités

(économiques et publiques). L'utilisation d'un langage de programmation permet de créer des routines pour automatiser les traitements spatiaux et les opérations de calcul. En intégrant les fonctions de représentation cartographique à la suite des opérations de calcul, on limite au maximum les ruptures logicielles (allers-retours entre SIG, tableur, traitement de texte, etc.). Cet avantage est énorme dans un processus d'exploration des données qui nécessitent des allers-retours entre les traitements, les analyses et les interprétations (Beauguitte and Giraud, 2012). Outre le gain de temps que cela représente, cela permet de contrôler successivement les différentes phases de traitement. L'ensemble des opérations sont décrites dans le code : de l'import des données à la modélisation jusqu'à la représentation sur une carte. L'utilisation de l'environnement R rend le modèle transparent et reproductible pour tout autre personne qui serait amenée à l'utiliser (Ayrat *et al.*, 2022).

L'outil SIG produit au final trois cartographies dynamiques, une pour chaque enjeu considéré. Ces cartographies dynamiques sont encapsulées dans un fichier HTML, facilitant la diffusion, l'utilisation et l'exploration des résultats par des personnes non initiées aux SIG.

III.1.2. Le carroyage comme support de modélisation

Le carroyage est choisi comme support de modélisation pour évaluer un risque d'impact odorant dans chaque carreau du territoire d'étude. Le carroyage est un mode de partition de l'espace dont l'élément de base est le carreau ou la maille. La juxtaposition de ces « cases » constitue un maillage couvrant l'intégralité du territoire étudié.

La simplicité de ce découpage facilite la représentation des résultats car celui-ci permet de s'affranchir des limites administratives et de la structuration de l'espace. Il sert ainsi de support à une modélisation plus ou moins fine du territoire. Le Certu (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) recense quatre grands types d'utilisation du carroyage (Vigné *et al.*, 2011) :

- La représentation de données confidentielles ou sensibles, comme les revenus, les logements sociaux, etc. ;
- Le « lissage » des données, qui permet de dégager les grandes tendances qui structurent l'espace plutôt que les particularités ;
- Comme outil d'aide à la décision puisqu'il permet la synthèse de plusieurs sources d'informations superposées ;

- La comparaison et l'analyse diachronique de variables. L'uniformité du carroyage rend les territoires homogènes les uns par rapport aux autres.

Le carroyage se développe depuis les années 1980 pour observer et modéliser les territoires. En 2011, l'INSEE diffuse pour la première fois des informations à l'échelle d'un carroyage (Vigné *et al.*, 2011). Mais jusqu'à l'été 2019, le découpage infra communal à l'échelle de l'IRIS (Îlot Regroupé pour l'Information Statistique) restait la plus petite unité pour laquelle différentes données socio-économiques et démographiques étaient disponibles librement.

La méthode aboutit à plusieurs cartographies de l'impact odorant d'un site industriel existant ou en projet. Ces cartes doivent s'appuyer sur le carroyage le plus fin possible dans la mesure où les problèmes d'odeurs s'apprécient généralement dans un périmètre restreint autour du site émetteur (moins de 2 km). La taille du carreau doit permettre d'observer la répartition des enjeux sur le territoire de la manière la plus fine possible. Mais le choix de la résolution du carreau dépend des données disponibles à cette échelle. Dans le cadre de notre méthode, la source de données renseignant le nombre d'habitants est déterminante dans le choix de la résolution du carroyage. Plusieurs sources de données carroyées intégrant des données de population sont disponibles (Leyk *et al.*, 2019). Les sources de données les plus pertinentes sont résumées ci-dessous (Tableau 7).

Nom	Source	Résolution	Millésimes disponibles	Avantages	Limites
GHS-POP	European Commission, Joint Research Centre (JRC)	250m	Tous les 5 ans de 1975 à 2030	Libre d'accès; Couverture mondiale	Raster
WorldPop	WorldPop, Université de Southampton	100m	2020	Libre d'accès; Couverture mondiale	Raster; Fortement modélisé
WPE (World Population Estimate)	ESRI	150 à 250m	2013, 2015 et 2016	Couverture mondiale	Accessible uniquement avec une licence ESRI ; Fortement modélisé
Méthodologie MAJIC	LCSQA	200m	2015 à 2017	Libre d'accès ; Haute précision	Couverture française seulement
Dispositif FiloSoFi	INSEE	200m	Tous les ans depuis 2012	Libre d'accès ; Données socio-économiques supplémentaires	Couverture française seulement ; Moins précis en zone rurale

Tableau 7 : Caractéristiques des sources de données carroyées disponibles sur la population

Dans le cadre de ce travail de thèse, les données carroyées du LCSQA ont été retenues comme support de modélisation. Le choix de cette source de données est motivé par plusieurs raisons :

- La méthodologie MAJIC s'appuie notamment sur les fichiers MAJIC (fournis par la DGFIP) pour estimer le nombre d'habitants à l'échelle du bâti ;
- Le découpage de l'espace français reprend le carroyage (200x200m) proposé par l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques). Cette résolution (200x200m) est appropriée aux problèmes d'odeurs ;
- Les données produites par le LCSQA s'avèrent plus précises que le dispositif FiloSoFi dans les espaces ruraux faiblement peuplés ;
- La donnée est libre d'accès et disponible à l'échelle française.

La précision et la disponibilité des données produites par le LCSQA ont appuyé notre choix. Les autres sources de données mentionnées n'en sont pas moins pertinentes et pourraient facilement être utilisées pour appliquer le modèle en France ou sur un autre territoire.

III.2. PRESENTATION DU TERRITOIRE D'ETUDE

III.2.1. Maisons-Alfort et ses alentours

La levurerie Biospringer est située à Maisons-Alfort dans le département du Val-de-Marne (94) à 5 km au sud-est de Paris. Située dans une plaine alluviale à la confluence de la Seine et de la Marne, la zone d'étude est constituée de 11 communes sélectionnées d'après leur proximité au site émetteur (Figure 29) : Maisons-Alfort, Créteil, Alfortville, Charenton-le-Pont, Saint-Maurice, Joinville-le-Pont, Saint-Maur-des-Fossés, Ivry-sur-Seine, Vitry-sur-Seine, Thiais et Choisy-le-Roi. La zone d'étude considérée dépasse l'emprise des émissions odorantes du site émetteur. Ce territoire élargi permet de réaliser plusieurs scénarios d'émission et/ou d'implantation sur la même zone d'étude.

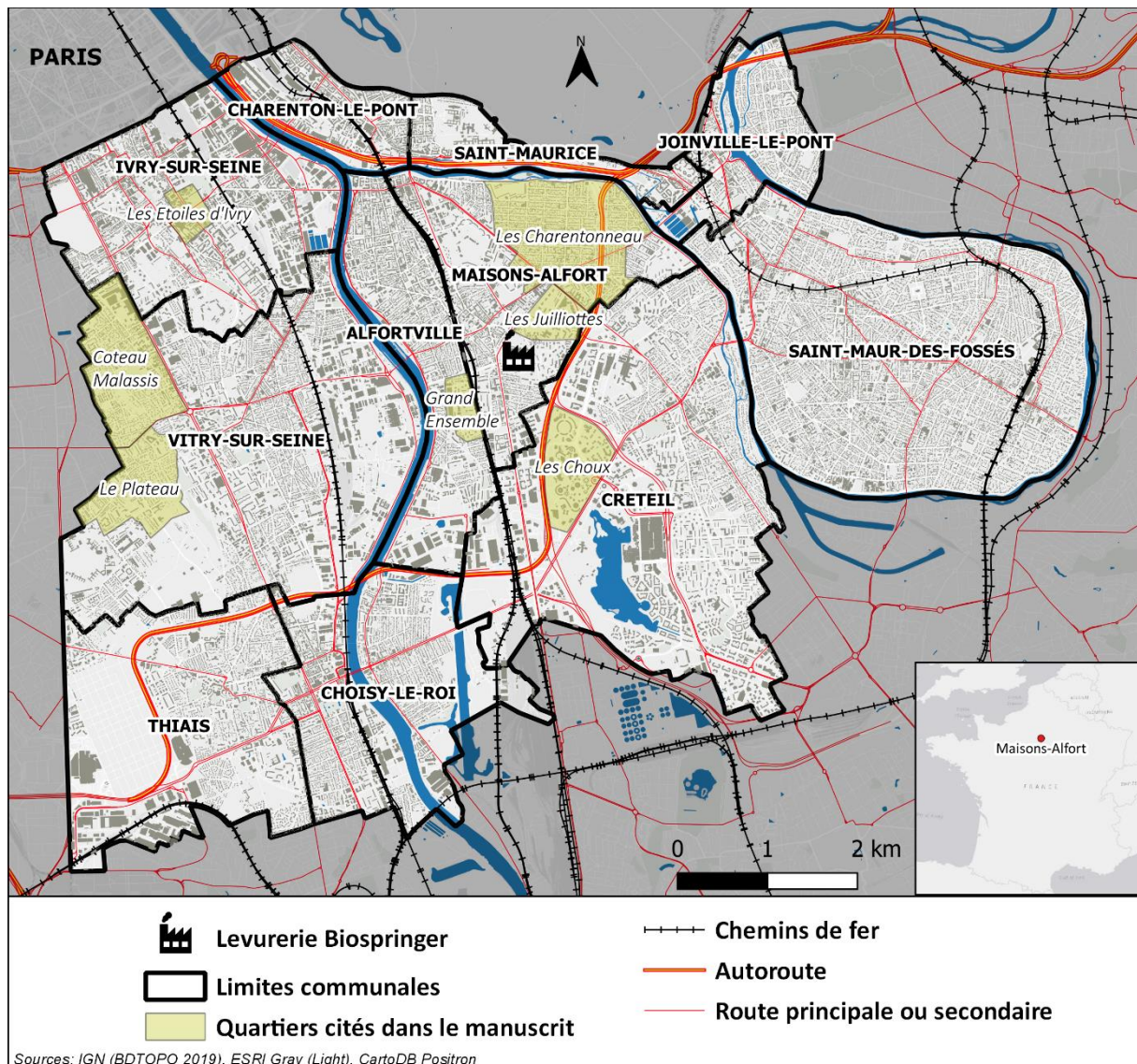


Figure 29 : Représentation de la zone d'étude

Ces communes sont localisées aux portes de Paris dans le Val-de-Marne (94), au cœur d'une aire urbaine densément peuplée. Les populations et les activités (économiques et sociales) se concentrent sur ce territoire totalement urbanisé (Tableau 2). L'habitat collectif domine et explique les densités de population élevées, en moyenne autour de 10 000 habitants par kilomètre carré. Maisons-Alfort compte 56 000 habitants, une valeur moyenne pour ces 11 communes qui totalisent 569 000 habitants en 2019. Les communes voisines d'Alfortville et de Créteil sont elles aussi densément peuplées avec respectivement 44 000 et 93 000 habitants.

	Population (2019)	Densité moyenne (hab/km ²)	Nb d'activités économiques sélectionnées	Nb d'infrastructures publiques sélectionnées	Distance à la levurerie
Maisons-Alfort	56 483	10 558	202	153	/
Alfortville	44 805	12 208	119	93	1 km
Créteil	93 246	8 137	329	186	2 km
Saint-Maurice	14 189	9 922	53	21	2,5 km
Vitry-sur-Seine	95 510	8 184	275	167	3 km
Charenton-le-Pont	29 882	16 152	92	100	3,5 km
Joinville-le-Pont	19 652	8 544	63	50	3,5 km
Saint-Maur-des-Fossés	74 976	6 665	235	399	4 km
Ivry-sur-Seine	63 748	10 451	342	193	4 km
Choisy-le-Roi	46 150	8 499	193	100	4 km
Thiais	30 676	4 771	113	267	5,5 km
Total	569 317	9 463	2 016	1 729	

Tableau 8 : Dénombrement des enjeux humains, économiques et sociaux dans les 11 communes de la zone d'étude (Sources : INSEE, Open Street Map)

Le tableau 8 récapitule par commune le nombre d'activités économiques et d'infrastructures publiques potentiellement vulnérables face à la présence d'une nuisance odorante. La nature et la localisation des activités est récupérée via l'API d'Open Street Map et servira ensuite à évaluer la vulnérabilité économique et sociale du territoire. Comme présenté dans la section II.2.3.2.3, il s'agit uniquement d'établissements recevant du public (activités de loisirs, activités de services, activités commerciales). Ce dénombrement, non exhaustif, révèle un nombre conséquent d'activités potentiellement vulnérables, que l'on associe aux fortes densités de population sur l'ensemble de ce territoire situé à quelques kilomètres de Paris.

III.2.2. Histoire de la levurerie et de son territoire

En 1850, le baron autrichien Max de Springer inventa la « méthode viennoise » de fabrication de levure à partir du moût de fermentation des céréales. Ce nouveau procédé a l'avantage de ne pas donner de goût au pain contrairement à la levure de bière, mais aussi de fabriquer les viennoiseries qui apparaissent au même moment dans la ville de Vienne (Charpentier, 1998).

Le nouveau procédé, présenté à Paris au cours de l'exposition universelle de 1867, rencontre un grand succès et entraîne la construction d'une nouvelle usine en France (Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1876). En 1872, le baron Springer et ses fils transforment la vaste propriété du château de Réghat à Maisons-Alfort en une distillerie de grains et une fabrique de levure.

À cette époque, l'actuel Val-de-Marne est une terre semi-rurale qui connaît les grands bouleversements de la Révolution industrielle : développement des chemins de fer,

[illegible]

Au moment où l'usine Springer s'installe, le territoire du Val-de-Marne connaît une urbanisation rapide pour loger les ouvriers des usines alentour mais aussi les Parisiens « chassés par les transformations haussmanniennes » (CAUE94, 2012). De nouvelles communes apparaissent, comme Alfortville en 1885. L'activité agricole recule face à l'agglomération parisienne grandissante.

Au lendemain des deux conflits mondiaux, le Val-de-Marne connaît une explosion démographique en lien avec les grandes mutations de la société française de l'époque : une natalité élevée (« baby-boom »), la tertiarisation du travail qui déplace le travail dans les villes mais également la mise en place de politiques d'aménagement du territoire. Sur la carte IGN de 1950, l'urbanisation rattrape l'usine Fould Springer qui se trouve alors à la lisière de la banlieue parisienne (Figure 31). Quelques parcelles agricoles jouxtent encore l'enceinte de l'usine.

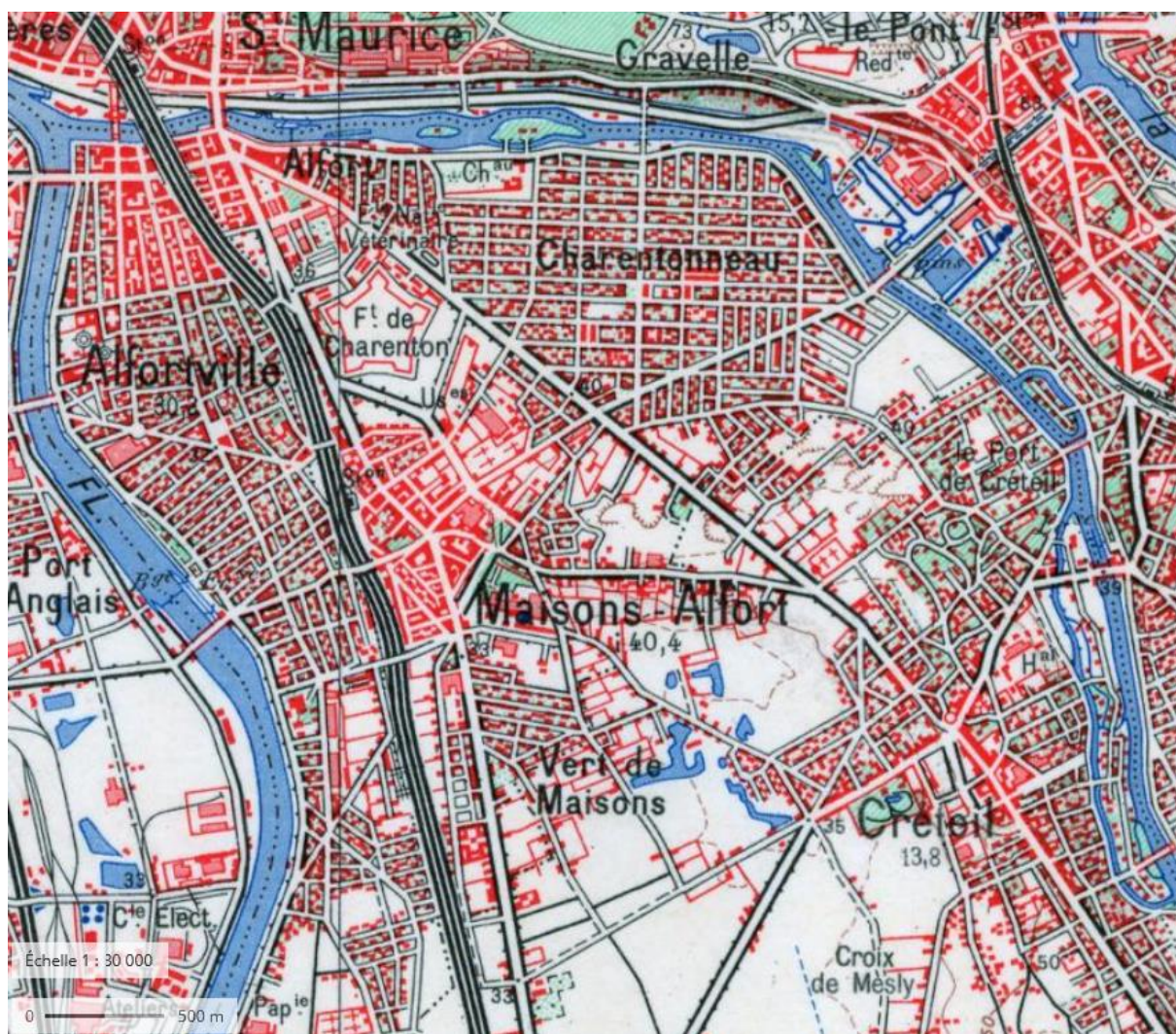


Figure 31 : Carte IGN (1950) à Maisons-Alfort

Depuis son implantation en 1872, le paysage s'est transformé, le nombre de riverains a considérablement augmenté et la sensibilité aux odeurs perçues dans l'environnement a évolué.

La levurerie Biospringer est aujourd'hui enregistrée au registre des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). L'usine est spécialisée dans la production de levure de panification et d'extraits de levure utilisés pour aromatiser les

bouillons, les plats cuisinés, etc. En activité 24 heures sur 24, le site de Maisons-Alfort constitue un enjeu d'intérêt national pour l'industrie alimentaire.

Certains riverains sont partagés sur la présence de l'usine en plein centre-ville. Le site de Maisons-Alfort est perçu comme une source de nuisances pour certains, et comme une fierté industrielle pour d'autres. Plusieurs voudraient voir l'usine déménager, d'autres considèrent la présence de l'usine comme une manne financière non négligeable pour la commune.

III.2.3. Les odeurs de la levurerie

Les Maisonnais furent autrefois confrontés à plusieurs odeurs industrielles issues de la levurerie, de l'ancienne biscuiterie l'Alsacienne ou des équarrissages de chevaux qui étaient encore pratiqués au XX^e siècle à l'école vétérinaire (Duleau and Pitte, 1998). Il ne subsiste aujourd'hui que l'odeur de levure, bien connue des riverains depuis plusieurs générations.

Les premières mentions des odeurs de la levurerie dans la presse remontent à 1976, dans *Le Courrier du Val-de-Marne*. Ce ne sont pas les odeurs classiques de fermentation qui sont mises en cause dans l'article, mais les « émanations provenant des égouts, où fermentent des résidus de levure, phénomène particulièrement désagréable lors des grandes chaleurs » (Le Courrier du Val-de-Marne, 1976). D'autres articles consacrés aux odeurs du site paraissent à l'occasion d'épisodes odorants exceptionnels qui ont pour certains marqué la mémoire des riverains. C'est le cas des épisodes particulièrement intenses de l'été 1988, causés par une fermentation anormale de la levure, qui ont initié une série de travaux pour tenter de réduire les émissions odorantes : installation d'un incinérateur d'odeurs, d'un laveur de gaz, d'une station d'épuration dédiée (Duleau and Pitte, 1998). Plus récemment, le mois d'août 2019 a été marqué par des épisodes odorants intenses causés par une panne du système de traitement d'odeurs par biofiltration. Survenu en plein été, la durée et l'intensité de cet épisode a marqué la mémoire des riverains, en poussant plusieurs à porter plainte.

Il est difficile d'affirmer que nos aînés étaient plus tolérants aux odeurs de levure perçues dans l'environnement. En revanche, il est certain que les fumées de charbon, les odeurs des écuries ou plus récemment les rejets des moteurs à fioul autrefois nécessaires ne seraient aujourd'hui plus acceptés en pleine ville.

Les odeurs de l'usine représentent aujourd'hui un sujet sensible pour les riverains. Le niveau de tolérance face à celles-ci varie fortement d'un individu à l'autre, selon sa sensibilité, son emplacement par rapport au site, le contexte ou la saison. Certains les perçoivent dans la quasi indifférence alors que d'autres tentent de les éliminer en se

calfeutrant. L'odeur de levure fait partie de leur quotidien. Des riverains installés depuis longtemps expliquent s'être habitués à l'odeur lorsque celle-ci n'est pas trop forte. Sous les vents dominants, certains riverains parviennent même à faire le lien entre la perception d'odeurs et la situation météorologique (Duleau and Pitte, 1998). Pour une riveraine située au nord du site, « l'odeur annonce un temps humide ou de la pluie ».

Depuis quelques années, de nouveaux produits dérivés de la levure se sont développés en lien avec nos nouvelles habitudes alimentaires. Ces nouvelles recettes ont généré de nouvelles odeurs, perçues de manière intermittente. Selon les productions, les riverains évoquent des odeurs intenses de croquettes pour animaux, de poisson ou de poulet, entre autres. Alors que l'odeur de levure est relativement bien acceptée, les nouvelles odeurs sont jugées plus intenses et plus désagréables. Des riverains installés depuis des décennies, accoutumés à l'odeur de levure, ressentent une gêne à cause de ces nouvelles odeurs.

Malgré les efforts engagés régulièrement pour améliorer le traitement des émissions du site, viser une désodorisation totale, donc un impact nul sur les populations, apparaît difficile à envisager à court terme. L'utilité d'un dispositif permettant d'anticiper la réaction des riverains prend donc tout son sens.

III.3. RESULTATS OBTENUS

III.3.1. Évaluation du potentiel de nuisance

Le risque de gêne olfactive est défini comme l'agrégation de la vulnérabilité des enjeux en présence et du potentiel de nuisance de l'odeur. On présente dans cette section les données et les paramètres utilisés dans le logiciel de dispersion atmosphérique pour modéliser l'impact odorant de la levurerie. Les résultats obtenus pour l'évaluation du potentiel de nuisance de l'odeur sont ensuite discutés.

III.3.1.1. Modélisation de la dispersion atmosphérique des odeurs

Le logiciel de dispersion atmosphérique ARIA Impact est utilisé pour définir des niveaux de concentration d'odeur dans l'environnement et délimiter l'impact odorant du site. Les résultats obtenus dépendent :

- Des données météorologiques ;
- Des données relatives aux émissions du site ;
- Des paramètres utilisés dans ARIA Impact pour définir un niveau d'exposition aux odeurs.

III.3.1.1.1. Les données météorologiques

Les données météorologiques utilisées sont issues d'une station installée dans l'enceinte du site industriel. Celle-ci enregistre toutes les 10 minutes un certain nombre d'informations nécessaires à la modélisation de la dispersion atmosphérique : la date, l'heure, la température ambiante, la vitesse du vent et sa direction.

Une année de données météorologiques a été utilisée pour modéliser la dispersion atmosphérique des composés odorants : du 1^{er} juin 2020 au 1^{er} juin 2021.

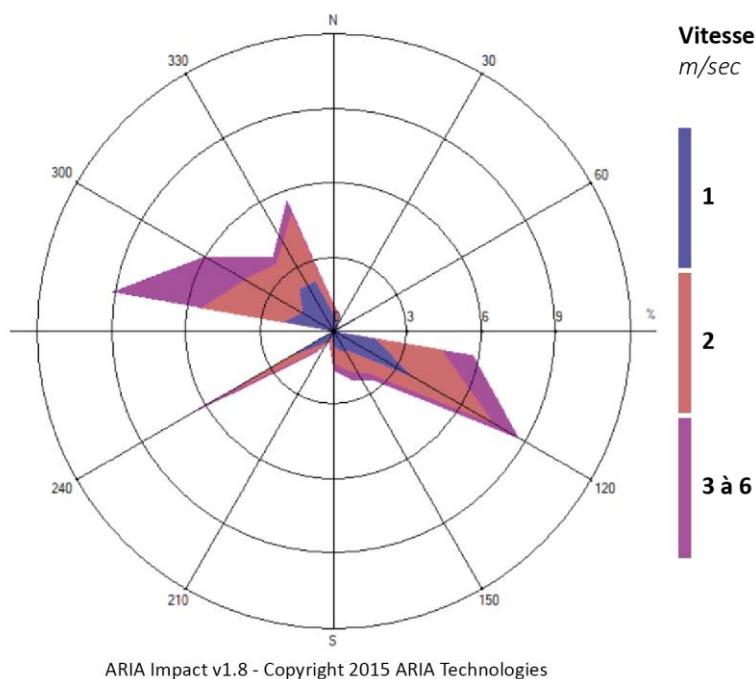


Figure 32 : Rose des vents à Biospringer (Maisons-Alfort) du 1^{er} juin 2020 au 1^{er} juin 2021

La rose des vents indique par an le pourcentage de temps pendant lequel le vent souffle dans chaque direction (Figure 32). Elle indique des vents venus essentiellement d'ouest mais aussi du sud-est. Sur la période considérée d'une année, on constate une vitesse de vent modérée, généralement comprise entre 0 et 2 m/s.

III.3.1.1.2. Quantification des émissions odorantes

La quantification des émissions d'odeurs constitue un point important de la modélisation. Celle-ci est réalisée sur place par prélèvements aux différents points d'émission identifiés, en suivant les préconisations de la norme NF EN 13725. Dans le cas d'une future installation, des évaluations réalisées sur des sites comparables peuvent être utilisées.

Dans le cadre de notre modélisation, plusieurs campagnes de prélèvements ont servi à quantifier les émissions odorantes de la levurerie. Les différents points de

prélèvement et les valeurs d'émission correspondantes sont présentés dans la figure suivante (Figure 33).

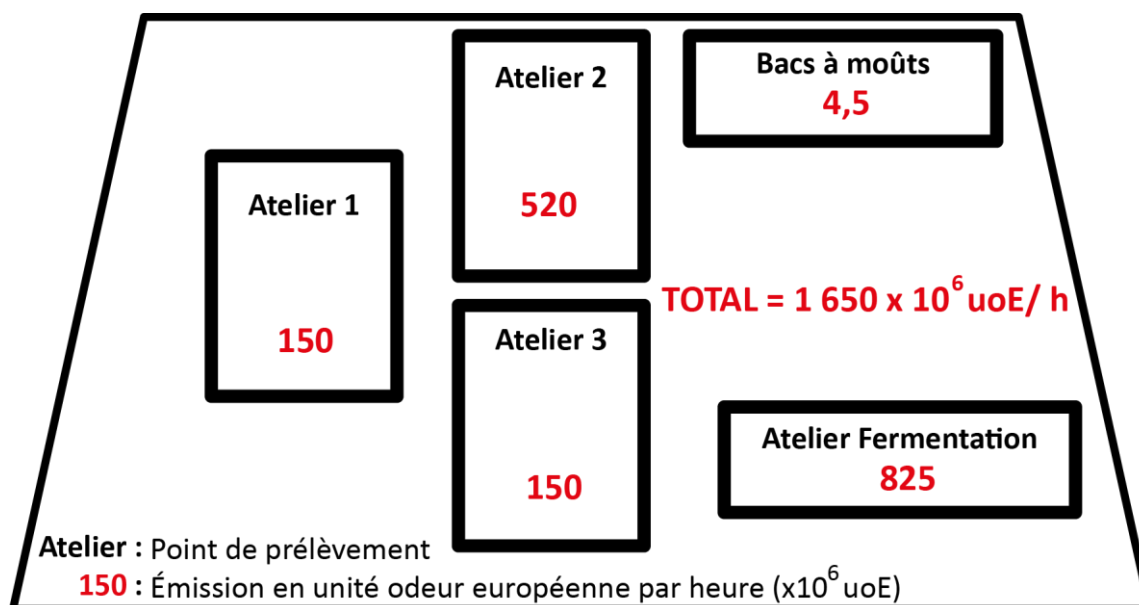


Figure 33 : Points de prélèvement et valeurs d'émission correspondantes

Au total, 1650×10^6 unités odeur² sont rejetées par heure des différents points d'émission du site. Cette valeur simule le fonctionnement simultané et continu de toutes les cuves de fermentation et de coproduits, mais aussi des différentes unités de traitement (bacs à moûts, biofiltre, station d'épuration).

En réalité, le processus de production est discontinu, celui-ci est notamment ponctué par des phases de chargement et de déchargement des cuves, périodes pendant lesquelles il n'y a pas d'émission de composés odorants. Comme il est difficile de tenir compte des temps de production de chaque cuve dans le logiciel de dispersion atmosphérique, on simule par précaution le scénario d'émission le plus pénalisant possible dans des conditions normales.

III.3.1.1.3. Définition d'un niveau d'exposition aux odeurs

Au cours de cette étape de modélisation, trois des cinq paramètres FIDOL sont déterminés pour définir un niveau d'exposition aux odeurs : la fréquence (F), la limite de concentration d'odeurs (I) et le temps d'intégration (D) sur lequel se base le calcul.

On définit un niveau d'exposition acceptable comme une concentration ambiante maximale de 1 uoE/m³ (I) sur une durée moyenne de 10 minutes (D), qui ne doit pas être dépassée plus de 2 % du temps (F), soit 175 heures par an (centile 98). Les valeurs retenues pour chaque paramètre s'apparentent à celles de Nicell (2009) à l'exception

² Une unité odeur européenne (uoE/m³) est définie comme la concentration d'odeur à laquelle 50 % de la population perçoit l'odeur et 50 % de la population ne la perçoit pas.

d'une fréquence de dépassement encore plus limitée (centile 99,5). Même si la valeur de 5 uoE/m³ est généralement retenue comme seuil à partir de laquelle une odeur est reconnue, la valeur particulièrement restrictive de 1 uoE/m³ permet de protéger la majorité des récepteurs (Pourtier, Deiber and Piet, 2007; Nicell, 2009).

III.3.1.2. Type d'odeur considérée

Comme on a pu le voir dans la partie méthode, l'évaluation du potentiel de nuisance dépend notamment de l'odeur considérée. Les coefficients fournis par Olentica pour calculer une valeur d'intensité et d'acceptabilité varient d'un effluent gazeux à l'autre.

Dans le cas de la levurerie Biospringer, différentes odeurs peuvent être perçues selon les productions et la source d'émission : levure, coproduits, eaux usées, etc. Les différentes odeurs rencontrées ont été prélevées et soumises à un jury de nez. Les méthodes d'évaluation de l'intensité et de l'acceptabilité de l'odeur développées par la société Olentica ont permis de calculer les coefficients de Weber-Fechner de ces deux grandeurs pour les différentes odeurs rencontrées sur le site. La connaissance de ces coefficients, qui traduisent l'évolution de l'intensité perçue et de l'acceptabilité avec la dilution, permettent, connaissant la concentration d'odeur à la source, de calculer les niveaux de ces deux paramètres dans chaque maille du territoire, en fonction des caractéristiques de la dispersion atmosphérique.

Pour autant, la méthode ne permet pas de prendre en compte les phénomènes de synergie ou d'inhibition pouvant moduler l'intensité ou l'acceptabilité perçue des odeurs (augmentation ou diminution de la perception de l'intensité de l'acceptabilité en mélange comparée à l'intensité ou l'acceptabilité perçue hors mélange). En conséquence, dans le cas de sites multi-sources, nos évaluations sont réalisées en utilisant les coefficients les plus pénalisant en termes d'impact sur les riverains et les activités économiques et sociales.

III.3.1.3. Cartographie du potentiel de nuisance de l'odeur

Comme on l'a vu, le potentiel de nuisance est défini comme le produit de l'intensité et de l'acceptabilité de l'odeur, deux paramètres auxquels on accorde autant d'importance dans le calcul. L'intensité et l'acceptabilité de l'odeur sont fonction de la dilution, c'est-à-dire la concentration de l'odeur. Le potentiel de nuisance de l'odeur diminue donc logiquement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source. Les niveaux les plus élevés (très et extrêmement élevé) sont circonscrits à environ 1 km autour du site (Figure 34).

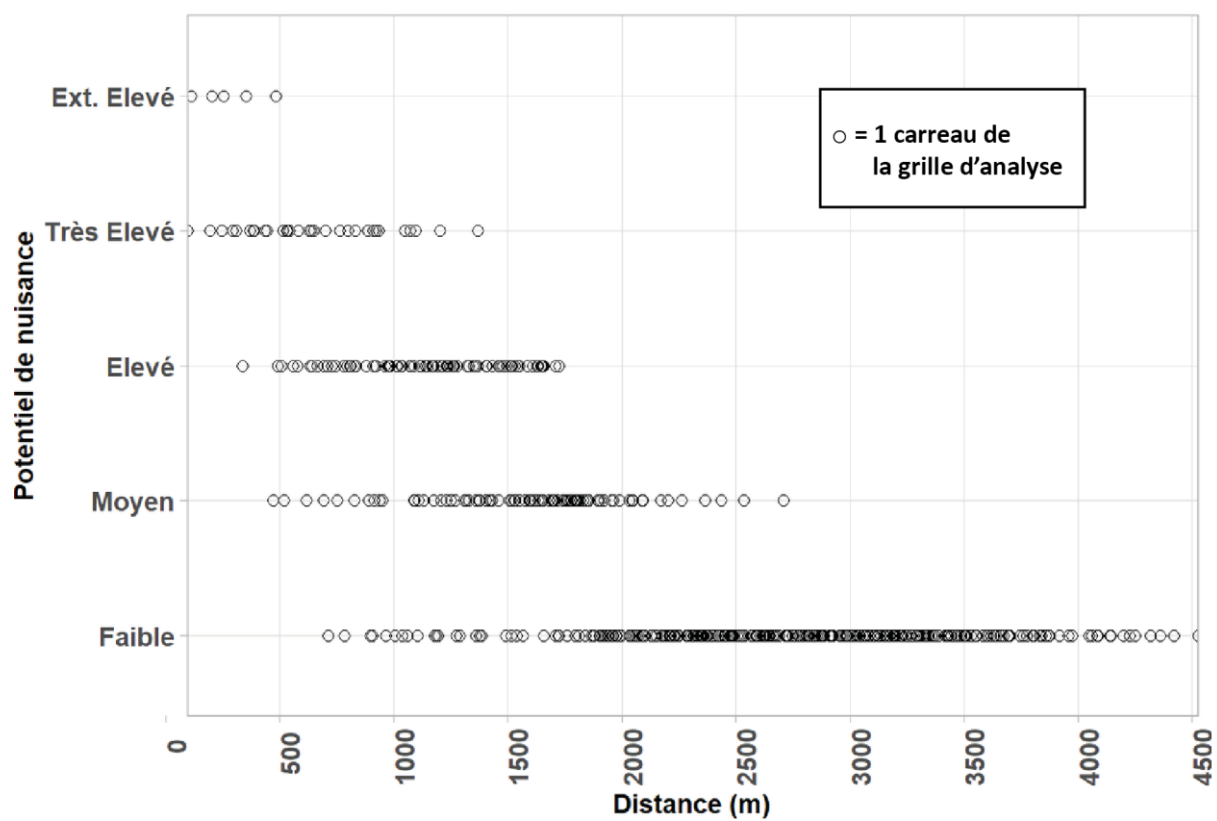


Figure 34 : Niveau de potentiel de nuisance de l'odeur selon la distance au site émetteur

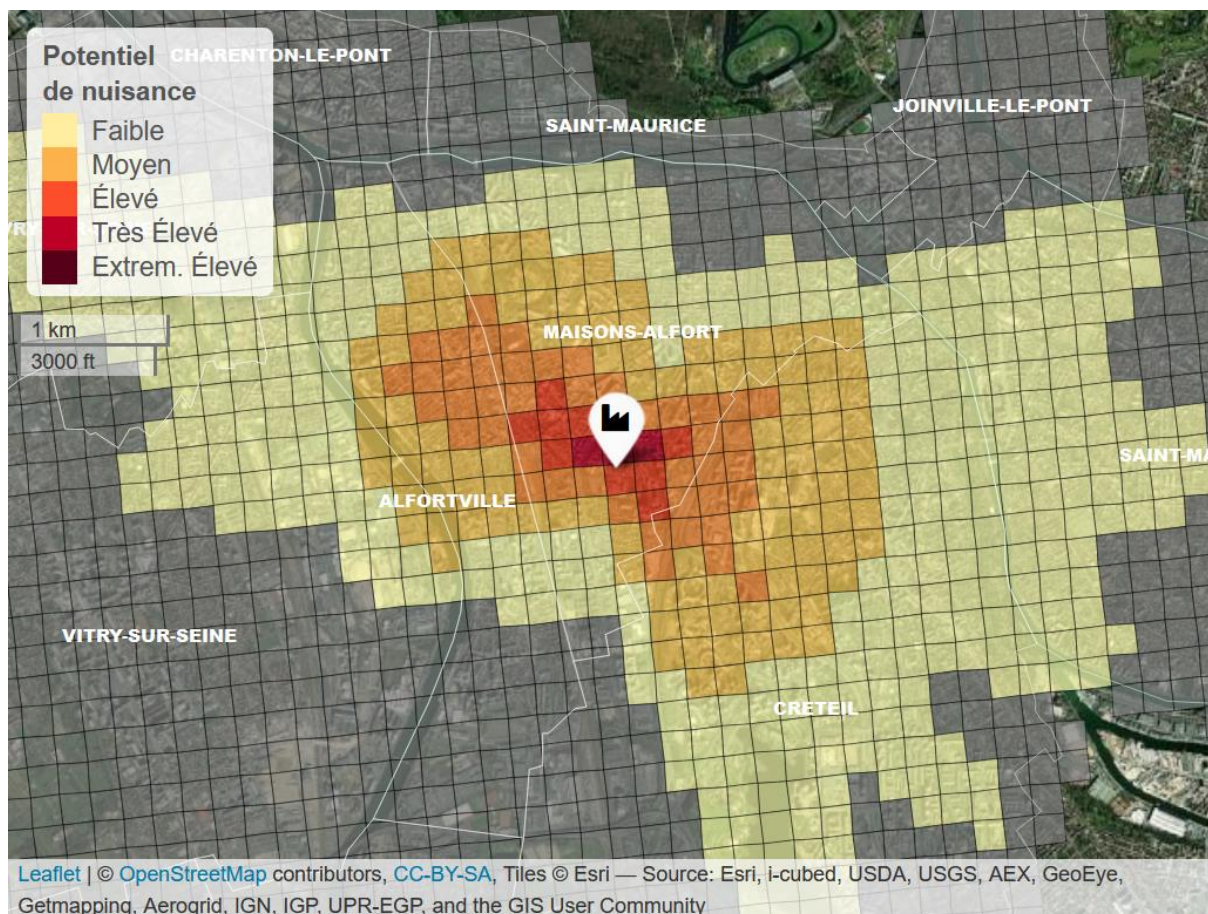


Figure 35 : Cartographie du potentiel de nuisance de l'odeur

Au cours de l'année, les vents dominants d'ouest et du sud-est peuvent propager les odeurs du site sur plusieurs kilomètres, jusqu'à Saint-Maur-des-Fossés à l'est, jusqu'à Créteil au sud et jusqu'à Ivry et Vitry-sur-Seine à l'ouest, de l'autre côté de la Seine. Les niveaux élevés de potentiel de nuisance suivent un axe nord-ouest/sud-est sur une distance d'approximativement 2 km. Les communes de Maisons-Alfort, d'Alfortville et Créteil sont les plus impactées par les émissions du site (Figure 35).

Gravité	Nb de carreaux	Nb de personnes	Nb d'activités économiques	Nb d'infrastructures publiques
Faible	330	119 854	397	499
Moyen	101	38 772	85	100
Elevé	90	40 814	73	138
Tres élevé	33	15 370	56	57
Ext. élevé	5	2 616	10	14
Total	559	217 426	621	808

Tableau 9 : Dénombrement des enjeux concernés concernées selon le niveau de potentiel de nuisance

Le tableau 9 dénombre les carreaux et les enjeux situés dans la zone d'impact selon le niveau de potentiel de nuisance évalué. La majorité de la zone d'impact est caractérisée par une faible exposition aux odeurs (330/559 carreaux). À l'inverse, seuls quelques

carreaux situés à proximité du site présentent un potentiel de nuisance très ou extrêmement élevé (respectivement 33 et 5 carreaux). Cette distribution s'explique par l'effet de dilution de l'odeur, mais aussi par la modélisation de la dispersion des composés odorants sur une année qui occasionne un lissage des valeurs et une représentation élargie de la zone d'impact.

III.3.2. Indices de vulnérabilité

Le risque de gêne olfactive est évalué sous le prisme de trois enjeux : celui des riverains, des activités économiques et des infrastructures sociales. Ces trois enjeux ne se répartissent pas de la même manière sur le territoire. Les niveaux de vulnérabilité obtenus pour chaque enjeu sont présentés ci-dessous.

III.3.2.1. Cartographie de la vulnérabilité humaine

La vulnérabilité humaine est évaluée d'après le nombre d'habitants qui résident dans chaque carreau de 200 m de la zone d'étude (Figure 36).

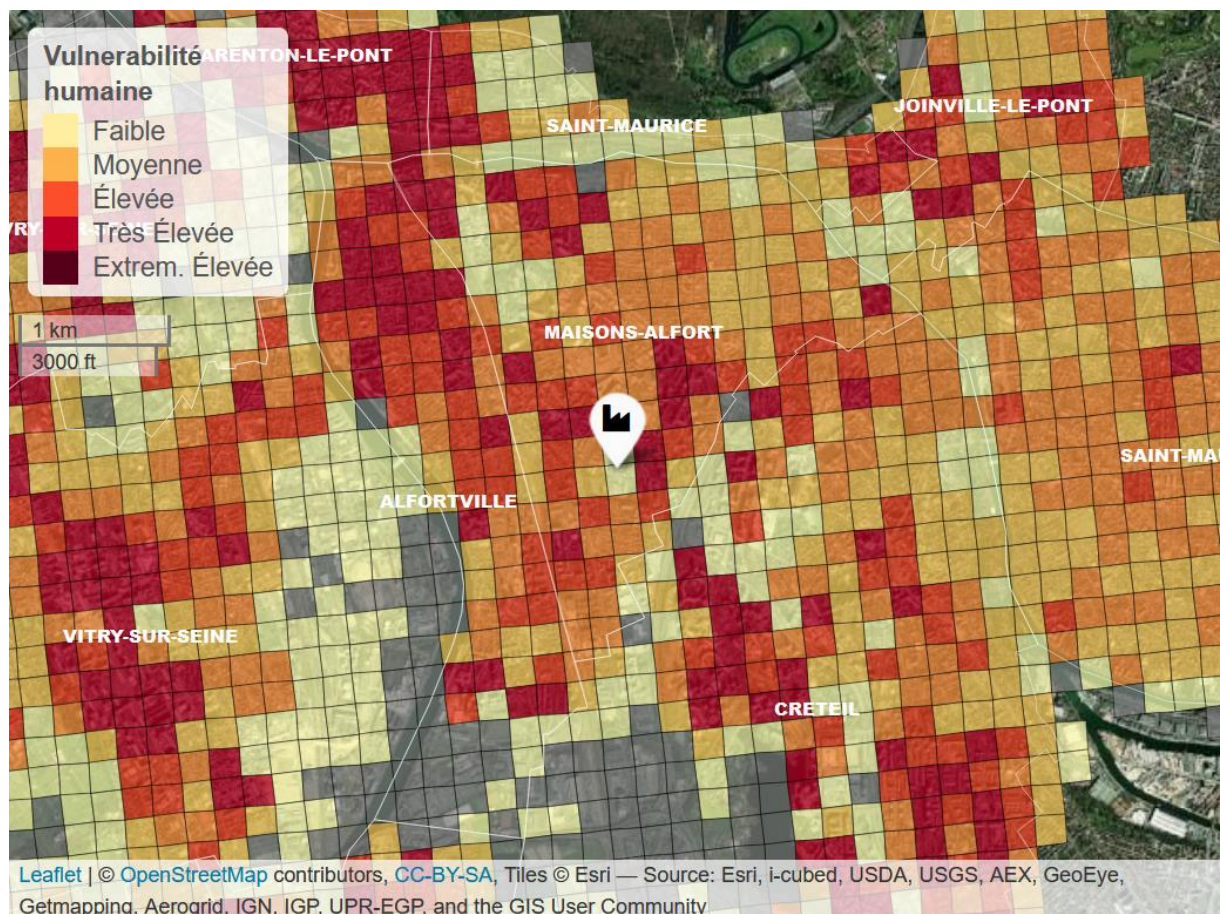


Figure 36 : Cartographie de la vulnérabilité chez soi

Le territoire d'étude est constitué de 11 communes de la banlieue proche de Paris. L'agglomération parisienne représente la région la plus peuplée et la plus artificialisée

de France métropolitaine. Les fortes densités de population et l'urbanisation quasiment totale du territoire expliquent la proportion importante de carreaux représentés par la classe de vulnérabilité maximale. Cette classe dite « extrêmement élevée » traduit la présence d'un habitat exclusivement collectif (supérieure à 800 habitants, soit 20 000 habitants/km²). On retrouve ce type d'habitat sur l'ensemble de la zone d'étude avec la présence de quelques grands ensembles notables comme le quartier des *Juilliottes* à Maisons-Alfort, celui du *Grand Ensemble* d'Alfortville, *Les Étoiles d'Ivry*, *Le Grand Ensemble* de Vitry ou *Les Choux* de Créteil.

Cet habitat collectif cohabite avec des quartiers pavillonnaires identifiables par une vulnérabilité faible ou moyenne. Il s'agit par exemple du quartier du *Charentonneau* à Maisons-Alfort, des bords de la Marne à Saint-Maur-des-Fossés ou des quartiers du *Plateau* et du *Coteau-Malassis* à Vitry-sur-Seine.

Certains carreaux « à la frontière » recouvrent plusieurs types d'habitat en même temps (individuel, intermédiaire, collectif). Ces carreaux « mixtes » sont caractérisés par une vulnérabilité élevée ou très élevée.

Inversement, les fortes densités de population et l'urbanisation quasiment totale du territoire expliquent la faible proportion de carreaux totalement inhabités. Ils correspondent à des carreaux recouvrant des zones industrielles et d'activités au sud de la zone d'étude, mais aussi quelques carreaux recouvrant la Seine ou d'importants nœuds routiers et ferroviaires.

Les environs proches du site (moins de 2 km) comptent de nombreux habitants à l'exception du quartier universitaire de Créteil au sud-est. On relève trois zones particulièrement peuplées et donc vulnérables : les centres-villes de Maisons-Alfort et d'Alfortville au nord-ouest, les grands ensembles du quartier des *Juilliottes* au nord-est et ceux des *Choux* de Créteil au sud sud-est.

III.3.2.2. Cartographie de la vulnérabilité économique

La vulnérabilité économique est évaluée dans chaque carreau de la zone d'étude selon le nombre d'activités présentes et leur sensibilité face à la présence d'une nuisance odorante. La carte de la vulnérabilité des activités économiques (Figure 37) révèle les centres-villes, les rues commerçantes et les zones commerciales où les activités ont tendance à se concentrer.

À l'échelle du territoire d'étude, on observe dans quelques centres-villes (Saint-Maur-des-Fossés, Charenton-le-Pont, Joinville-Le-Pont, Créteil, etc.) un ou plusieurs carreaux qui présentent une vulnérabilité extrêmement élevée. Ceci traduit une concentration d'activités économiques particulièrement sensibles à la présence d'une

nuisance odorante (restaurants, hôtels, activités de loisirs, etc.). À part cela, les communes de banlieue présentent une vulnérabilité économique relativement moyenne.

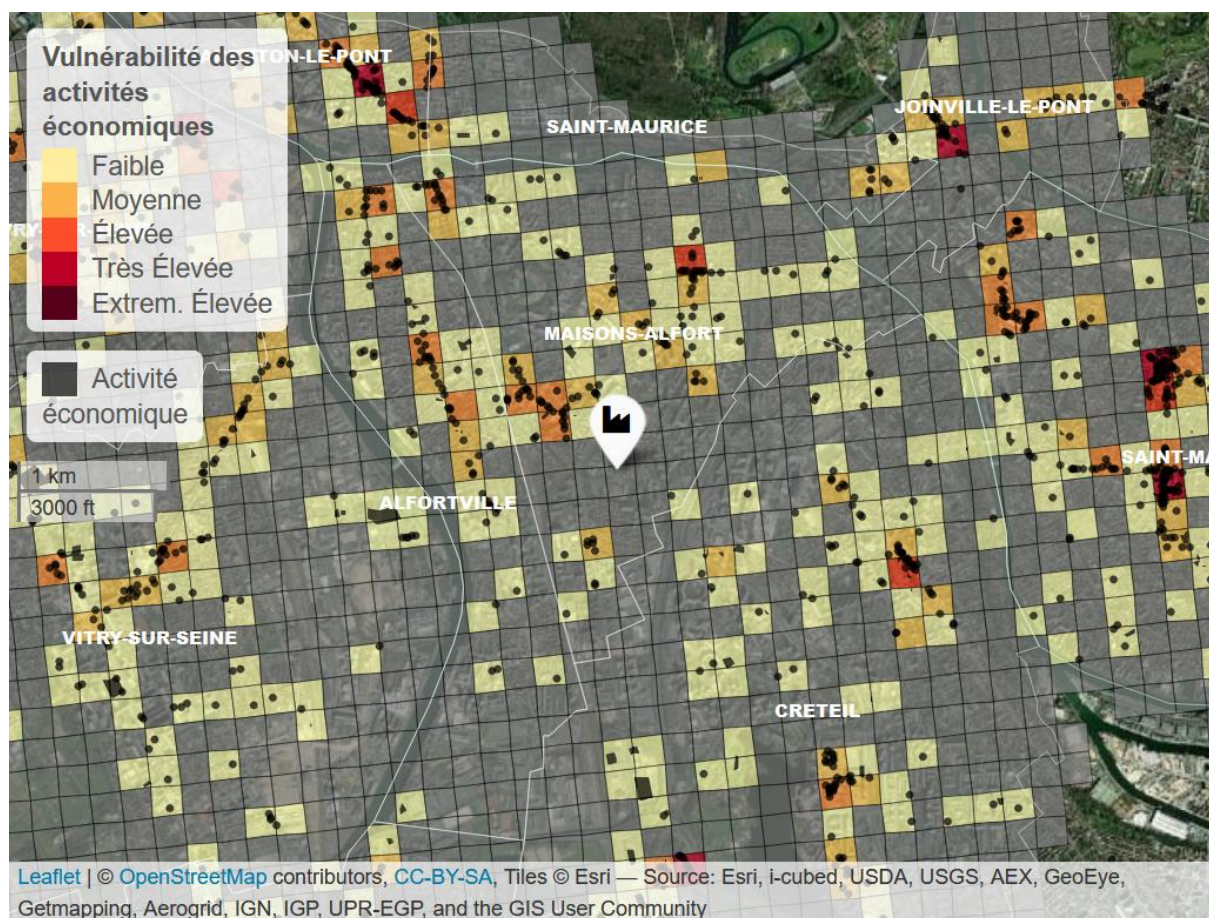


Figure 37 : Cartographie de la vulnérabilité des activités économiques

À moins de 2 km autour du site, on identifie deux zones particulièrement vulnérables à la présence d'une nuisance odorante : les centres-villes de Maisons-Alfort et d'Alfortville au nord-ouest, et le quartier des Charentonneau au nord-est qui compte plusieurs restaurants et commerces.

III.3.2.3. Cartographie de la vulnérabilité sociale

La vulnérabilité sociale est évaluée dans chaque carreau de la grille d'analyse d'après le nombre d'infrastructures publiques présentes et leur sensibilité face à la présence d'une nuisance odorante. Contrairement aux activités économiques qui ont tendance à se concentrer, la carte de la vulnérabilité des infrastructures publiques (Figure 38) montre que celles-ci ont tendance à se disperser et à se répartir sur l'ensemble du territoire.

À l'échelle du territoire d'étude, on observe plusieurs carreaux caractérisés par une vulnérabilité très élevée. Pour la plupart, ces zones vulnérables traduisent la présence

de plusieurs établissements scolaires (groupe scolaire primaire/secondaire) généralement situés à proximité d'infrastructures sportives (stade, terrains de sport, gymnase), elles aussi particulièrement sensibles à la présence d'une nuisance odorante.

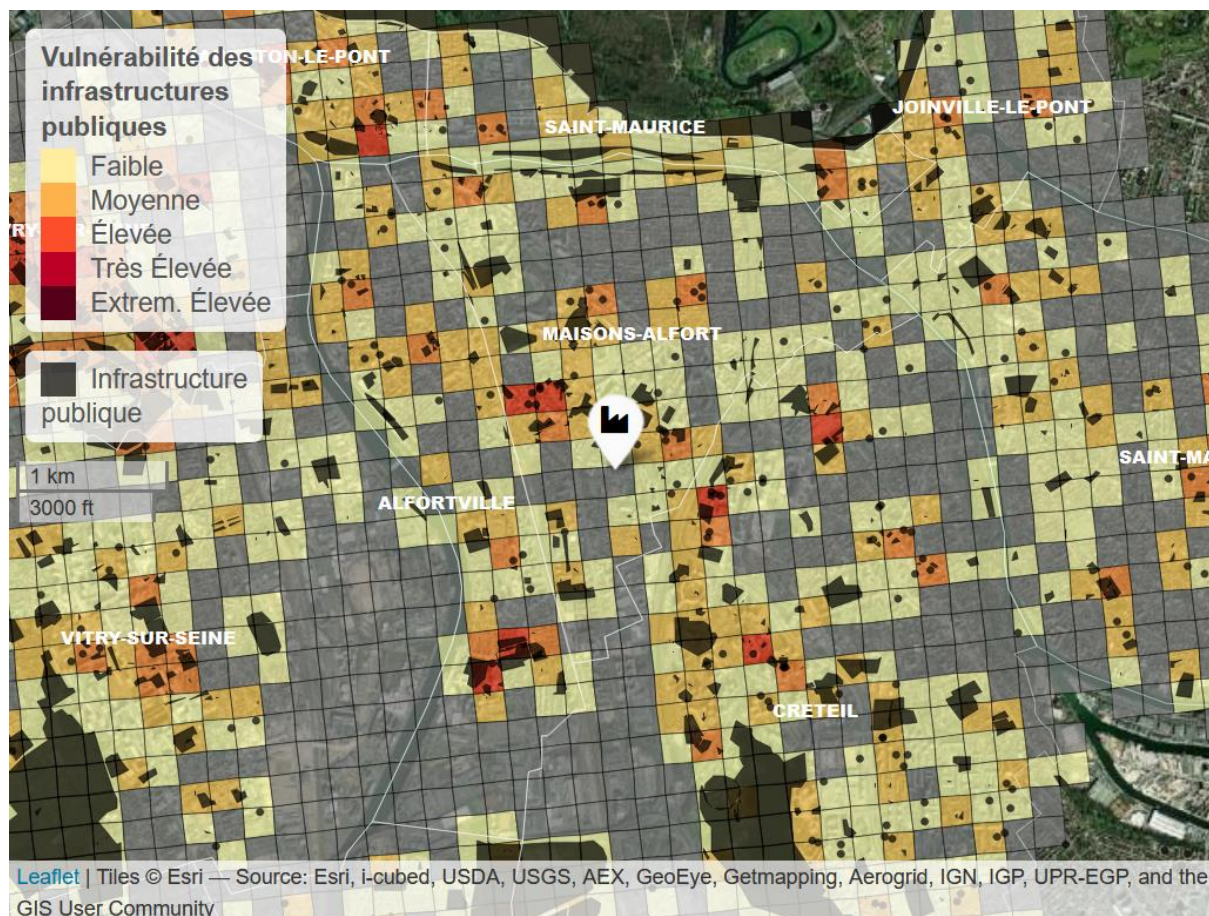


Figure 38 : Cartographie de la vulnérabilité des infrastructures publiques

À moins de 2 km autour du site, on identifie deux zones particulièrement vulnérables à la présence d'une nuisance odorante : le quartier de la gare de Maisons-Alfort et ses nombreuses écoles au nord-ouest et celui des universités de Créteil au sud-est.

III.3.3. Indices de risque

Un indice d'impact odorant est évalué dans chaque carreau du territoire d'étude pour chacun des trois enjeux présentés précédemment. Celui-ci est obtenu en multipliant l'indice de potentiel de nuisance de l'odeur et l'indice de vulnérabilité de l'enjeu considéré. Par définition, un risque d'impact existe si et seulement si les enjeux vulnérables sont exposés aux odeurs du site, sinon, le risque d'impact est nul.

La méthode développée aboutit à trois cartographies distinctes qui sont présentées ci-après.

III.3.3.1. Cartographie du risque de gêne olfactive

L'indice de risque de gêne olfactive est obtenu en multipliant l'indice de potentiel de nuisance de l'odeur et l'indice de vulnérabilité humaine (Figure 39).

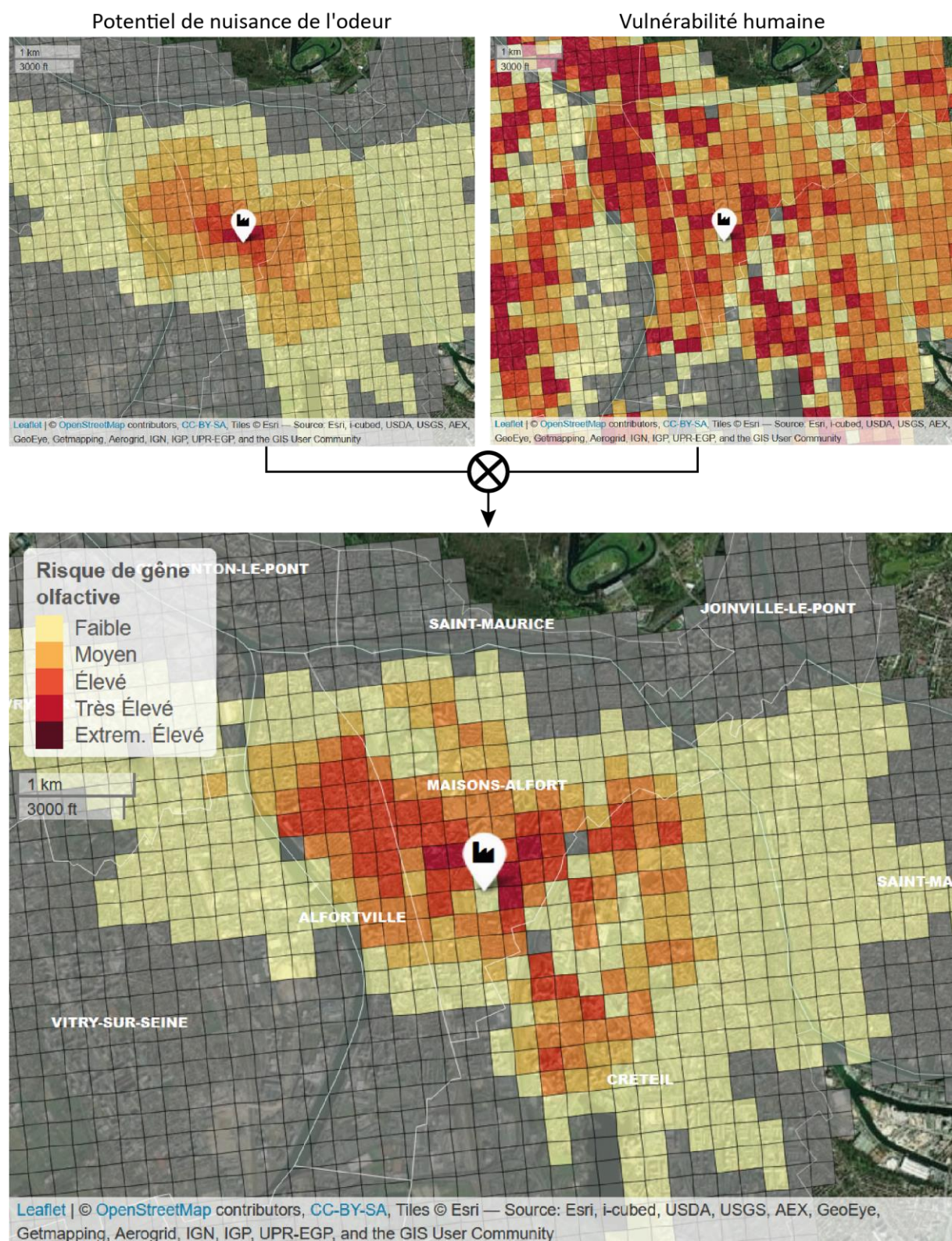


Figure 39 : Cartographie du risque de gêne olfactive chez soi

L'examen de la figure 12 montre que le risque de gêne olfactive diminue progressivement jusqu'aux limites de la zone d'impact. Les principales communes concernées sont Maisons-Alfort, Alfortville et le nord de Créteil. La forte urbanisation du territoire et les densités de population élevées occasionnent des niveaux de risque très élevés aux abords immédiats de la levurerie, et des niveaux élevés sur approximativement 2 km. Les espaces précédemment identifiés comme vulnérables (les centres-villes de Maisons-Alfort et d'Alfortville, les grands ensembles des *Juilliottes* et des *Choux* de Créteil) se trouvent sous les vents dominants de l'axe nord-ouest/sud-est où l'on observe les concentrations d'odeurs les plus élevées. Cette situation accentue le risque de gêne olfactive et se traduit par des niveaux très élevés en ces lieux, parfois jusqu'à 2 km du site émetteur.

La figure 40 illustre les niveaux de gêne mesurés selon la distance au site émetteur. Comme on l'a vu, les niveaux de risque les plus élevés sont circonscrits autour du site émetteur. Pour autant, toutes les modalités de risque sont observées autour du site puisque celui-ci ne dépend pas seulement du potentiel de nuisance mais aussi de la vulnérabilité des enjeux présents. Prenons l'exemple du carreau situé au niveau du site émetteur et qui affiche un risque de gêne olfactive faible. Celui-ci présente un niveau de potentiel de nuisance élevé mais une faible vulnérabilité (seulement 12 habitants en raison de l'emprise du site).

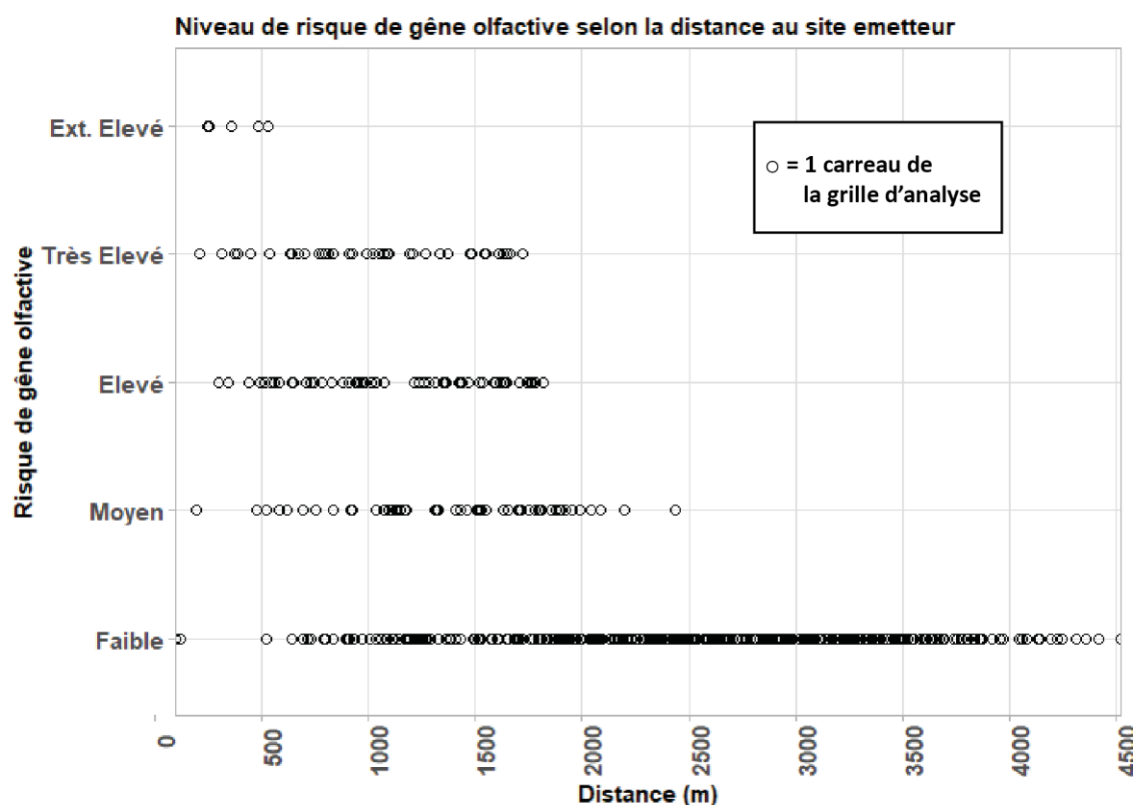


Figure 40 : Niveau de risque de gêne olfactive selon la distance au site émetteur

L'examen de la figure 40 peut être complété par l'analyse du tableau 10 qui récapitule le nombre de carreaux concernés selon le niveau de gravité mesuré.

Gravité	Vulnérabilité humaine	Potentiel de nuisance	Risque de gêne
Nulle	32	0	32
Faible	146	330	369
Moyen	146	101	54
Elevé	110	90	56
Tres élevé	68	33	43
Ext. élevé	57	5	5
Total	527	559	527

Tableau 10 : Nombre de carreaux concernés selon le niveau de gravité (risque de gêne olfactive)

Sur les 527 carreaux concernés par un risque de gêne olfactive, 70% présentent un risque de gêne faible (369 carreaux), conséquence d'une faible exposition à l'odeur ou d'une faible vulnérabilité humaine. Les carreaux qui présentent des niveaux de risque élevés jusqu'à extrêmement élevés représentent quant à eux environ 20 % de la zone d'impact (104 carreaux). Ces carreaux sont principalement situés à proximité du site émetteur, là où les concentrations d'odeur sont les plus élevées, mais parfois un peu plus loin comme au niveau du quartier des *Choux* de Créteil particulièrement peuplés, à environ 2 km au sud du site émetteur qui présente un risque de gêne très élevé alors que le potentiel de nuisance de l'odeur observé est moyen. À l'inverse, aux limites de la zone d'impact, on observe un risque de gêne olfactive faible malgré la présence de certains carreaux très vulnérables. La faible exposition aux odeurs diminue fortement le risque d'impact.

III.3.3.2. Cartographie du risque de préjudice économique

L'indice de risque de préjudice économique est obtenu en multipliant l'indice de potentiel de nuisance de l'odeur et l'indice de vulnérabilité économique (Figure 41).

La carte du risque de préjudice économique révèle les zones d'activités économiques impactées par la nuisance odorante. Celles précédemment identifiées comme vulnérables autour du site émetteur ne sont pas impactées de la même manière :

- Les centres-villes de Maisons-Alfort et d'Alfortville situés sous les vents dominants du sud-est concentrent de nombreuses activités. On observe un niveau de risque de préjudice économique élevé dans ce secteur et jusqu'à très élevé au plus proche du site émetteur.

- Le quartier des *Charentonneau* au nord-est compte plusieurs restaurants et commerces mais celui-ci est situé à l'écart des vents dominants à la limite de la zone d'impact. Il en résulte un risque de préjudice économique faible dans ce secteur.

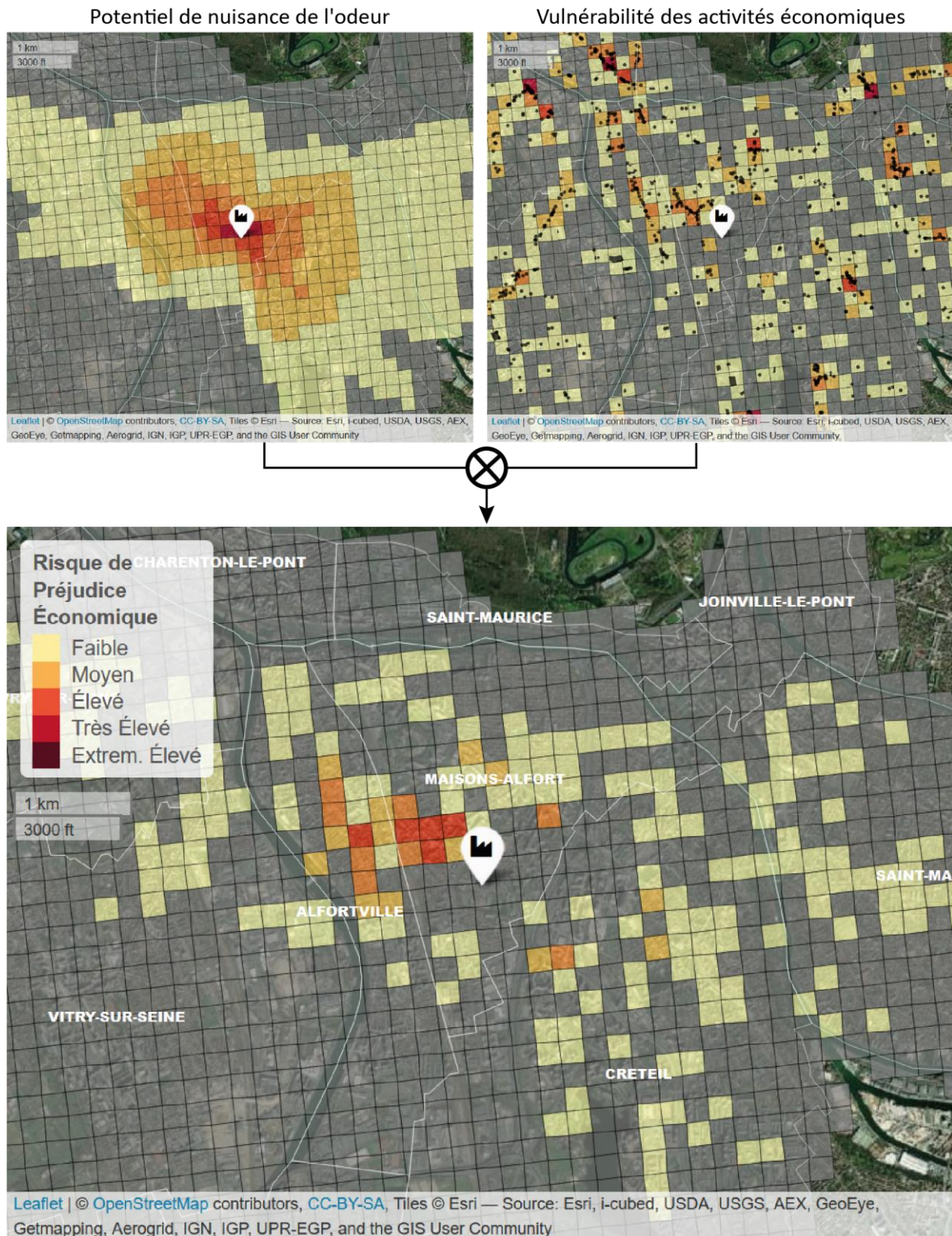


Figure 41 : Cartographie du risque de préjudice économique

Le risque de préjudice économique concerne principalement les centres-villes de Maisons-Alfort et d'Alfortville. Le reste du territoire d'étude est soumis à un faible risque d'impact.

La figure 42 illustre les niveaux de préjudice économique mesurés selon la distance au site émetteur. Les niveaux de risque les plus élevés sont situés à moins de 1500 m du site émetteur, là où le potentiel de nuisance de l'odeur est le plus élevé. Les différentes modalités de niveau de risque sont observées autour du site puisque celui-ci ne dépend pas seulement du potentiel de nuisance mais aussi du nombre et de la sensibilité à l'odeur des activités économiques présentes.

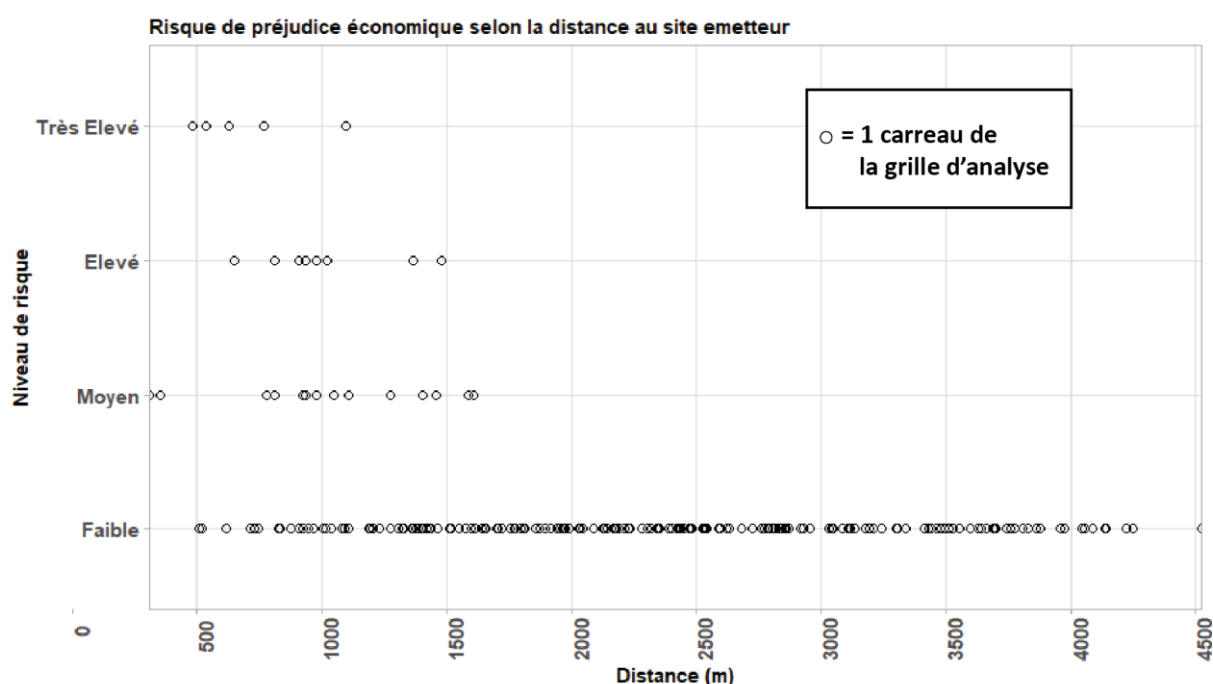


Figure 42 : Niveau de risque de préjudice économique selon la distance au site émetteur

L'examen de la figure 42 peut être complété par l'analyse du tableau 11 qui récapitule le nombre de carreaux concernés selon le niveau de gravité mesuré.

Gravité	Vulnérabilité économique	Potentiel de nuisance	Risque de préjudice économique
Nulle	344	0	344
Faible	164	330	188
Moyen	32	101	14
Elevé	16	90	8
Tres élevé	2	33	5
Ext. élevé	1	5	0
Total	215	559	215

Tableau 11 : Nombre de carreaux concernés selon le niveau de gravité (risque de préjudice économique)

Sur les 215 carreaux concernés par un risque de préjudice économique, 87 % présentent un risque de préjudice faible (188 carreaux), conséquence d'une faible exposition à l'odeur ou d'une faible vulnérabilité économique. Les carreaux qui présentent des niveaux de risque de préjudice élevé jusqu'à très élevé représentent quant à eux environ 6% des carreaux concernés (13 carreaux). Le risque de préjudice économique extrêmement élevé n'est pas représenté malgré la présence d'un carreau qui présente une vulnérabilité économique extrêmement élevée : celui-ci est situé à la limite sud de la zone d'impact et se trouve donc faiblement exposé aux odeurs du site. À l'inverse, les cinq carreaux situés aux abords immédiats du site affichent un potentiel de nuisance extrêmement élevé mais ne contiennent aucune activité économique : le risque de préjudice économique est nul.

III.3.3.3. Cartographie du risque de préjudice social

L'indice de risque de préjudice social est obtenu en multipliant l'indice de potentiel de nuisance de l'odeur et l'indice de vulnérabilité des infrastructures publiques (Figure 43).

Autour du site émetteur, les secteurs vulnérables de la gare de Maisons-Alfort au nord-ouest avec ses nombreuses écoles et celui des universités de Créteil au sud-est sont particulièrement impactés par la nuisance odorante. Situés sous les vents dominants, on observe un niveau de risque de préjudice social très élevé dans ces secteurs.

En dehors de ces secteurs vulnérables, le risque de préjudice social reste élevé dans une zone circonscrite à 2 km autour du site émetteur. La présence d'une seule infrastructure publique vulnérable (école, lieu de culte, structure de santé ou équipements sportifs) dans un carreau où le potentiel de nuisance de l'odeur est élevé se traduit par un risque de préjudice social élevé.

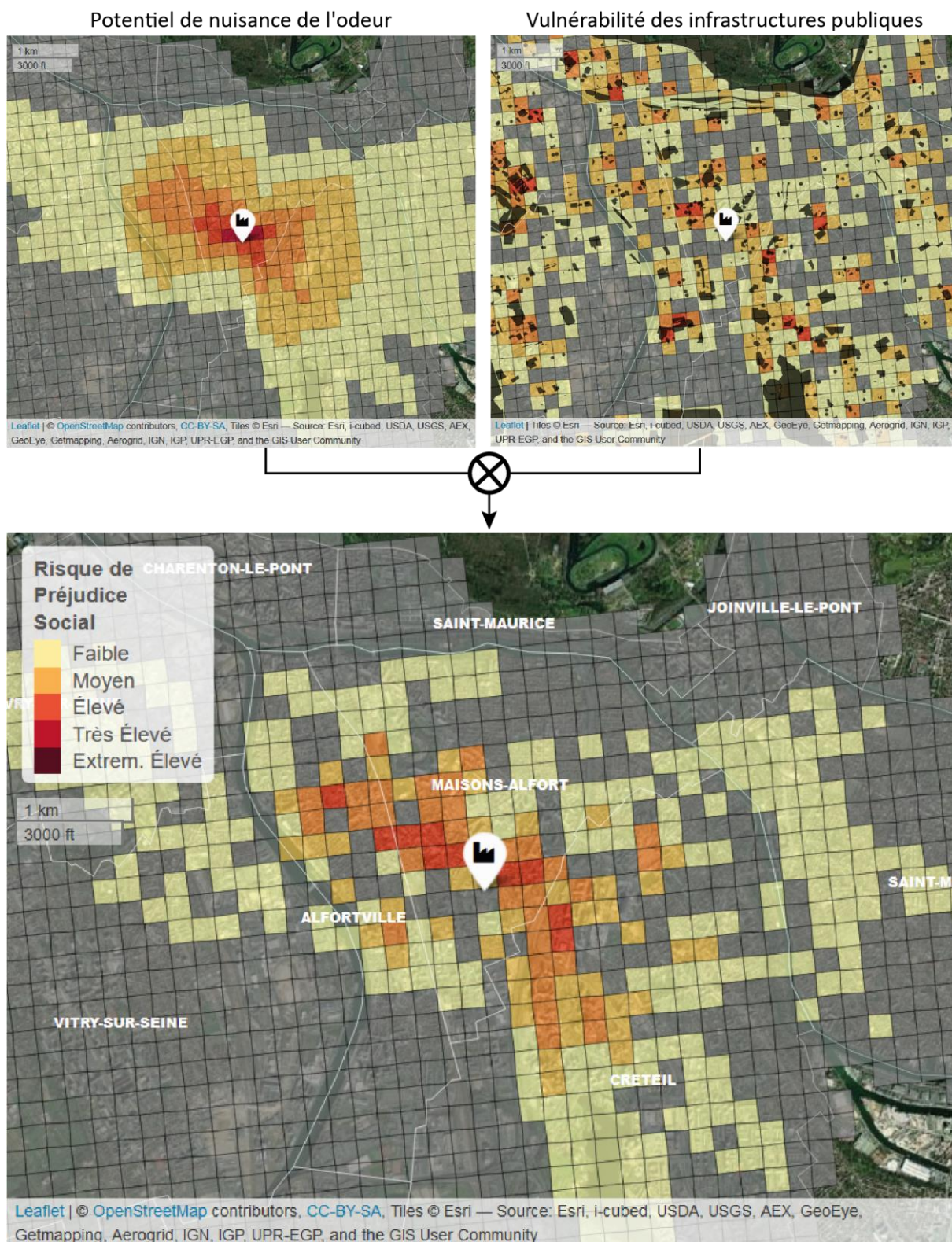


Figure 43 : Cartographie du risque de préjudice social

La figure 44 illustre les niveaux de préjudice social mesurés selon la distance au site émetteur. Les niveaux de risque les plus élevés se situent à proximité du site émetteur, là où le potentiel de nuisance de l'odeur est le plus élevé. Les différentes modalités de risque sont observées autour du site puisque celui-ci ne dépend à la fois du potentiel

de nuisance mais aussi du nombre et de la sensibilité à l'odeur des infrastructures publiques exposées.

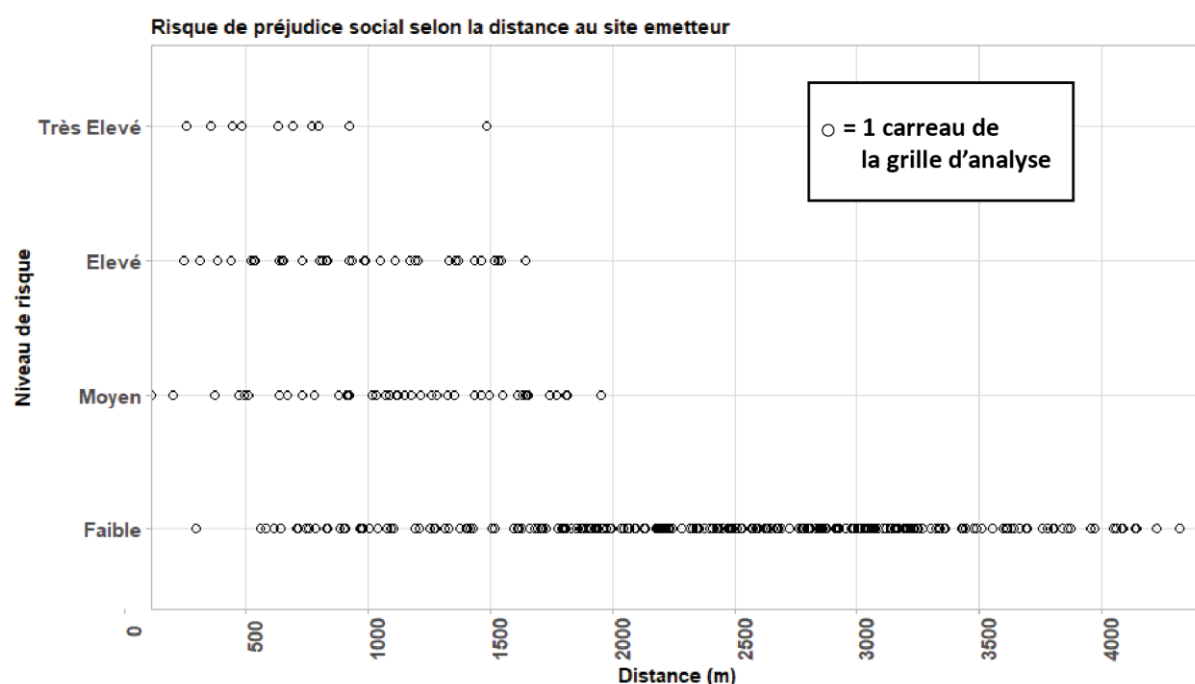


Figure 44 : Niveau de risque de préjudice social selon la distance au site émetteur

L'examen de la figure 44 peut être complété par l'analyse du tableau 12 qui récapitule le nombre de carreaux concernés selon le niveau de gravité mesuré.

Gravité	Vulnérabilité sociale	Potentiel de nuisance	Risque de préjudice social
Nulle	204	0	204
Faible	210	330	269
Moyen	104	101	43
Elevé	28	90	33
Tres élevé	12	33	10
Ext. élevé	1	5	0
Total	355	559	355

Tableau 12 : Nombre de carreaux concernés selon le niveau de gravité (risque de préjudice social)

Sur les 355 carreaux concernés par un risque de préjudice social, la majorité présente un risque de préjudice faible (269 carreaux), conséquence d'une faible exposition à l'odeur ou d'une faible vulnérabilité des infrastructures publiques. Les carreaux qui présentent des niveaux de risque de préjudice élevés jusqu'à très élevés représentent quant à eux environ 10% des carreaux concernés (43 carreaux). Comme précédemment, le risque de préjudice social extrêmement élevé n'est pas représenté malgré la présence d'un carreau qui présente une vulnérabilité des infrastructures

publiques extrêmement élevée. À l'inverse, les cinq carreaux situés aux abords immédiats du site affichent un potentiel de nuisance extrêmement élevé mais sont caractérisés par une vulnérabilité faible : le risque de préjudice social est moyen.

III.3.4. Synthèse

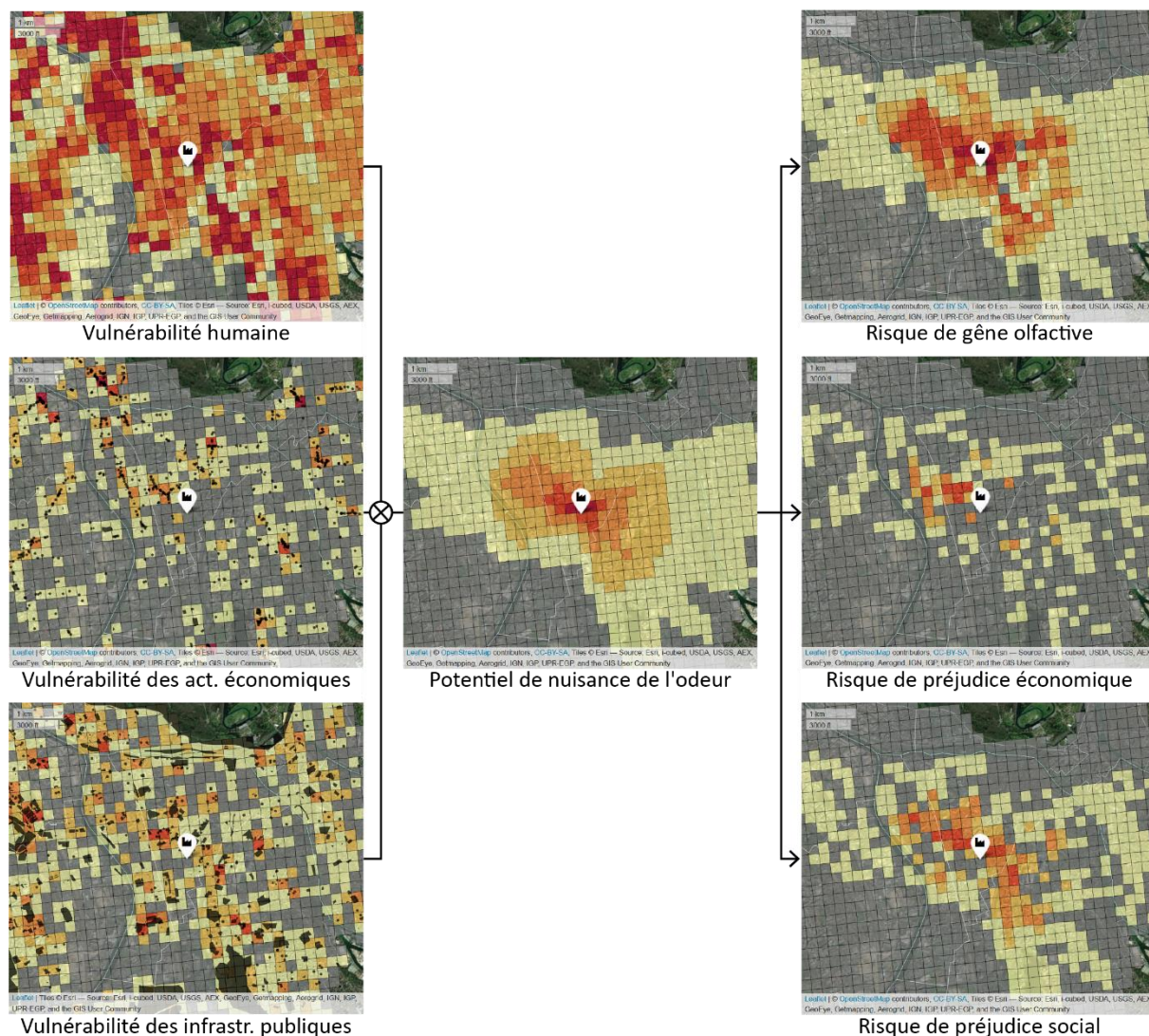


Figure 45 : Synthèse des résultats obtenus

L'impact odorant de la levurerie est évalué sous le prisme de trois enjeux qui donnent lieu à trois cartographies distinctes (Figure 45).

Le potentiel de nuisance de l'odeur constitue le dénominateur commun pour évaluer les différents risques d'impact. Les communes de Maisons-Alfort, Alfortville et le nord de Créteil sont les plus impactées par les odeurs de la levurerie. D'une manière générale, les risques d'impact les plus élevés sont circonscrits dans un périmètre d'environ 2 km autour du site émetteur. Pour autant, la localisation et l'ampleur de l'impact odorant diffèrent selon l'enjeu considéré :

- Le risque de gêne olfactive est élevé tout autour du site industriel à l'exception du secteur universitaire de Créteil au sud-est. Sous les vents dominants du nord-ouest/sud-est, on observe un risque de gêne élevé jusqu'à 2 km du site émetteur.
- Le risque de préjudice économique se concentre dans les centres-villes de Maisons-Alfort et d'Alfortville.
- Le risque de préjudice social est particulièrement important au niveau de la gare de Maisons-Alfort au nord-ouest du site et dans le secteur des universités de Créteil au sud-est.

III.4. ÉVALUATION DE LA REPRESENTATIVITE DU MODELE

Notre modèle, s'il présente l'intérêt par rapport aux méthodes d'évaluation de la gêne olfactive existantes de prendre en considération l'intégralité de la population concernée, n'en reste pas moins un modèle, fruit d'hypothèses, dont il convient de vérifier la représentativité. L'odeur étant une perception, cette vérification a été conduite en confrontant les résultats de notre modélisation aux signalements des riverains participant à un observatoire des odeurs autour du site d'étude.

III.4.1. Présentation de l'observatoire des odeurs

Un observatoire des odeurs a été mis en place depuis le mois de juin 2020 autour du terrain d'étude pour suivre l'évolution de la situation odorante. Il est composé d'une vingtaine de riverains volontaires formés à la reconnaissance et à la verbalisation des odeurs du site. Les membres de l'observatoire sont invités à reporter chaque épisode odorant qu'ils perçoivent, où qu'ils se trouvent, à l'aide d'une application mobile qui les géolocalise (Figure 46).

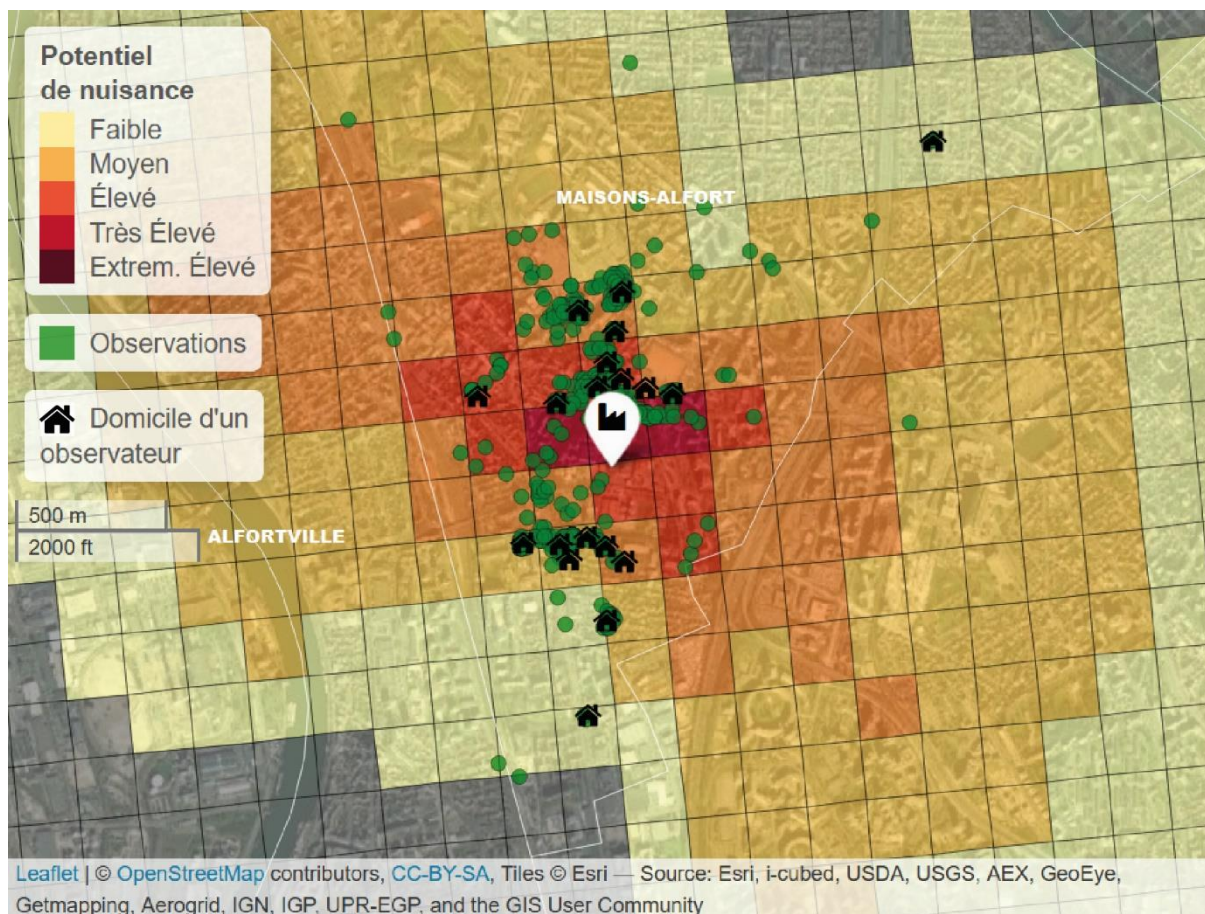


Figure 46 : Cartographie des lieux de résidence des membres de l'observatoire des odeurs et des observations sur une année

Cette application permet aux membres de l'observatoire de transmettre à tout moment plusieurs informations :

- La nature de l'odeur perçue (levure, cuisson, soufre, etc.) ;
- L'intensité de l'odeur (odeur faible / moyenne / forte / très forte) ;
- L'acceptabilité de l'odeur (odeur indifférente / légèrement désagréable / désagréable / très désagréable / insoutenable) ;
- La date, l'heure et le lieu de la déclaration sont acquis automatiquement.

Au total, 769 signalements d'odeurs ont été émis entre juin 2020 et juin 2021. Leur analyse révèle que :

- Les signalements sont majoritairement effectués à proximité des domiciles des volontaires (Figure 46). Quelques-uns sont réalisés à l'écart des lieux de résidence.
- Toutes les observations sont contenues dans la zone d'impact odorant prévue par le modèle. En dépit du faible nombre d'observateurs, ce constat tend à

conforter le choix des données sources et météorologiques utilisées pour modéliser la dispersion atmosphérique des composés odorants.

- Les riverains sont confrontés à des épisodes odorants plus ou moins pénalisants. Un même observateur peut être amené (selon les conditions météorologiques ou de production, le contexte, son état physiologique) à percevoir des odeurs légèrement désagréables jusqu'à des odeurs insoutenables.
- L'intensité et l'acceptabilité de l'odeur perçue par les observateurs sont deux informations intrinsèquement liées à la concentration de l'odeur (Tableau 13). Ainsi, une odeur de faible intensité est davantage associée à une odeur légèrement désagréable, une odeur moyenne à une odeur désagréable, etc. Une odeur insoutenable (acceptabilité) est systématiquement associée à une odeur très forte (intensité).

Acceptabilité \ Intensité	Odeur Faible	Odeur Moyenne	Odeur Forte	Odeur Très Forte	Total
Odeur indifférente	8	2	1	0	11
Odeur légèrement désagréable	44	58	10	1	113
Odeur désagréable	2	131	96	8	237
Odeur très désagréable	1	17	170	34	222
Odeur extrêmement désagréable	0	1	36	107	144
Odeur insoutenable	0	0	0	42	42
Total	55	209	313	192	769

Tableau 13 : Nombre de signalements de l'observatoire recueillis du 1^{er} juin 2020 au 1^{er} juin 2021 selon l'intensité et l'acceptabilité de l'odeur perçue

III.4.2. Confrontation des résultats

On évalue la pertinence des résultats du modèle en les confrontant aux signalements de l'observatoire des odeurs sur la même période de temps. On se limite à comparer les résultats du potentiel de nuisance de l'odeur avec l'acceptabilité et l'intensité de l'odeur perçue par les membres de l'observatoire. En effet, les signalements de l'observatoire des odeurs renseignent sur l'ampleur de la nuisance et non pas sur la gêne ressentie. De plus, le nombre restreint d'observateurs ne permet pas de comparer les résultats obtenus pour le risque de gêne olfactive qui est évalué de manière collective. Cette comparaison semble davantage adaptée dans la mesure où le modèle évalue un potentiel de nuisance de l'odeur dans chaque carreau du territoire d'étude selon ces deux mêmes paramètres.

transect) tracée du sud au nord pour couper perpendiculairement les vents dominants venus d'ouest. Ce transect est établi de sorte à passer à proximité du site émetteur tout en tenant compte de la domiciliation d'un maximum d'observateurs différents (11 sur 19). Sur les 769 signalements recueillis par l'observatoire, 565 recoupent les 13 carreaux sélectionnés (Figure 47). Ces observations s'étendent sur environ un kilomètre de part et d'autre du site émetteur. La plupart a été effectuée à moins de 500 m du site à proximité des domiciles des observateurs. Plusieurs informations peuvent être extraites de ce transect :

- Les odeurs insoutenables ou très fortes sont seulement perçues à proximité du site émetteur (moins de 500 m).
- On observe toutes les modalités d'intensité et d'acceptabilité de l'odeur à proximité du site émetteur (moins de 500 m). Cette variabilité sur une année peut résulter de différents éléments comme la météo, le type de production ou la sensibilité des observateurs.
- La répartition des observations le long du transect est fortement liée au lieu de résidence des volontaires. On observe des amas d'observations au niveau de chaque domicile.

En dépit de la faible mobilité des observateurs, de la variabilité des éléments circonstanciels sur une année d'observation et des sensibilités propres à chacun, on observe un gradient de l'acceptabilité et de l'intensité de l'odeur perçue qui décroît en s'éloignant de la source d'émission. Cette observation traduit simplement la dispersion et la dilution de l'odeur à mesure que l'on s'éloigne de la source d'émission.

Cet effet de dilution est également perceptible sur les résultats de la méthode d'évaluation de l'impact odorant :

- Sur les 13 carreaux qui composent le transect, un seul carreau affiche un potentiel de nuisance extrêmement élevé. Celui-ci se situe au niveau du site émetteur. On relève dans ce carreau seulement 12 observations, puisqu'aucun observateur n'y habite. On observe néanmoins les modalités les plus pénalisantes pour l'acceptabilité et l'intensité des odeurs perçues par les membres de l'observatoire.
- Un seul carreau affiche un potentiel de nuisance de l'odeur très élevé. Celui-ci regroupe à lui seul plus de la moitié des observations qui recoupent le transect (268 sur 565). On retrouve toutes les modalités de réponses possibles pour l'acceptabilité et l'intensité de l'odeur perçue par les membres de l'observatoire. Du point de vue de l'acceptabilité, les odeurs perçues sont majoritairement très

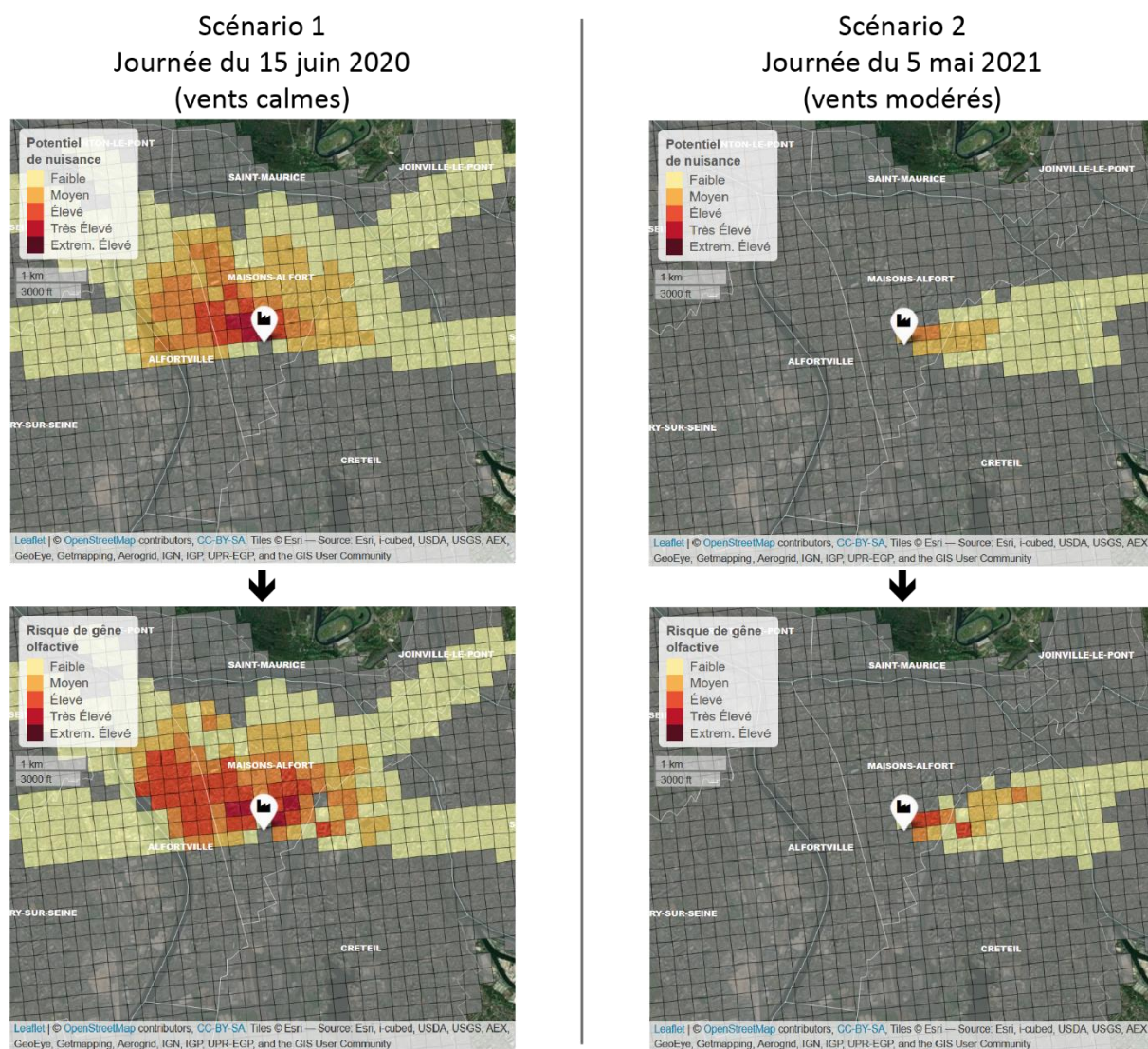
désagréables (86), voire extrêmement désagréables (75). Du point de vue de l'intensité, les odeurs perçues sont majoritairement fortes (108) voire très fortes (89). Cette propension conforte l'évaluation du potentiel de nuisance comme très élevé dans ce carreau.

- Deux carreaux affichent un niveau de potentiel de nuisance élevé. Entre les deux, le nombre d'observations recueillies rend la comparaison délicate (17 contre 154 observations). On observe toutefois dans chacun de ces deux carreaux une proportion plus importante de signalements concernant une odeur légèrement désagréable ou une odeur faible comparé au carreau affichant un potentiel de nuisance très élevé. Ce constat traduit l'effet de dilution de l'odeur à mesure que l'on s'éloigne du site émetteur.
- Cinq carreaux affichent un niveau de potentiel de nuisance moyen. Sur les cinq, un seul compte assez d'observations (91) pour être analysé. Curieusement, on observe une majorité de signalements concernant des odeurs fortes (42) qui sont jugées désagréables (38) voire très désagréables (32). Ce carreau se situe en effet à moins de 500 m du site émetteur. Situé à l'écart des vents dominants, sa proximité n'écarte pas la possibilité de journées particulièrement pénalisantes au cours d'une année puisque l'évaluation du potentiel de nuisance de l'odeur s'appuie, dans le cadre de cette étude, sur une moyenne annuelle des conditions météorologiques.
- Quatre carreaux affichent un niveau de potentiel de nuisance faible. Aucun membre de l'observatoire n'habitant là, ces derniers totalisent 10 signalements. Les odeurs perçues sont faibles et légèrement désagréables.

Dans le cadre de cette analyse, les résultats de la méthode semblent pertinents pour évaluer le potentiel de nuisance odorante du site émetteur. Les niveaux relevés le long de ce transect apparaissent cohérents avec les signalements des membres de l'observatoire des odeurs en place autour du site d'étude. Toutefois, cette simple analyse comprend plusieurs limites et ne suffit pas à valider l'ensemble de la méthode. Une évaluation plus complète de la pertinence du modèle nécessiterait de confronter ses résultats aux signalements réalisés dans le cadre d'observatoires menés sur d'autres sites industriels, sur des périodes suffisamment longues et avec des riverains suffisamment répartis sur l'ensemble du territoire pour couvrir l'intégralité de la zone d'impact.

III.4.3. Analyse de différents scénarios

Pour évaluer la réactivité du modèle, plusieurs scénarios ont été générés en agissant soit sur le potentiel de nuisance de l'odeur, soit sur l'exposition des enjeux. Ils sont réalisés sur le même territoire d'étude, avec des conditions de fonctionnement du site identiques, en utilisant les données météorologiques fournies par l'industriel.



Nombre de carreaux et d'habitants concernés selon le niveau de risque de gêne olfactive

Gravité	Scénario 1		Scénario 2		Rapport Pop S1/Pop S2
	Nb carreaux S1	Nb Pop S1	Nb carreaux S2	Nb Pop S2	
Faible	246	86 294	62	16 883	5.1
Moyen	37	18 084	8	3 623	5.0
Elevé	31	15 943	3	2 833	5.6
Tres élevé	33	21 833	3	2 455	8.9
Ext. élevé	5	4 615	0	0	/
Total	352	146 769	76	25 794	5.7

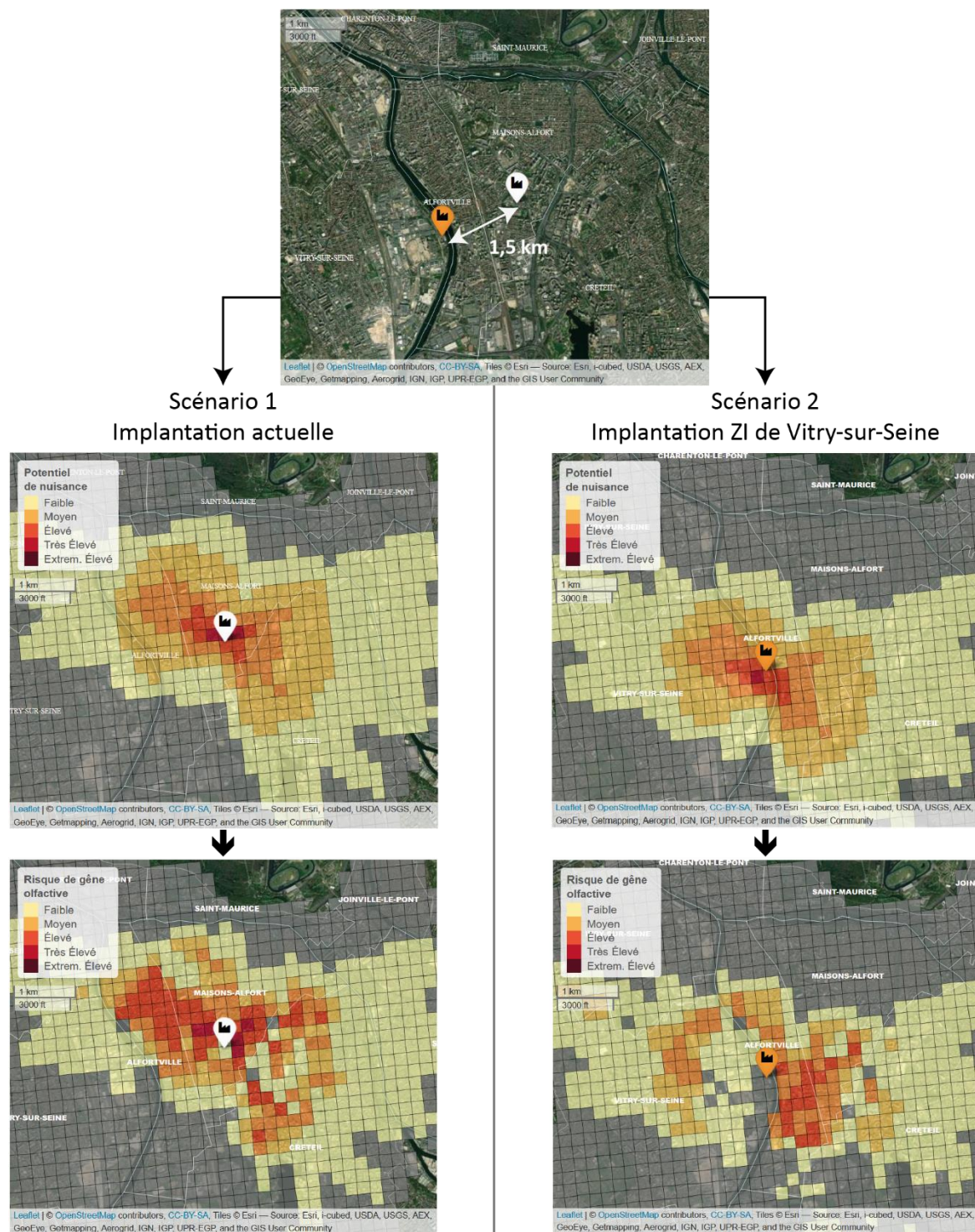
Figure 48 : Comparaison des résultats obtenus pour l'indice de gêne olfactive selon les conditions météorologiques

Une première étude (Figure 48) compare les résultats obtenus pour l'indice de gêne olfactive en appliquant le modèle sur deux journées différentes en termes de conditions météorologiques :

- La journée du 15 juin 2020 (scénario 1) a été sélectionnée car elle comptabilise le plus de signalements de la part des membres de l'observatoire des odeurs (16 signalements). Cette journée particulièrement pénalisante est caractérisée par des vents calmes qui empêchent la dispersion des composés odorants qui se concentrent alors autour du site émetteur.
- La journée du 5 mai 2021 (scénario 2) est à l'inverse caractérisée par un vent d'ouest modéré. Cette situation favorise la dispersion des composés odorants dans l'atmosphère et donc la dilution des odeurs. Ce jour-là, aucun signalement n'a été enregistré à l'observatoire des odeurs.

Les quantités d'odeurs rejetées sont identiques mais le risque d'impact est significativement plus élevé pour le scénario 1. L'analyse du tableau de la figure 48 révèle une zone d'impact odorant six fois plus étendue pour le scénario 1 que pour le scénario 2 (352 contre 76 carreaux), conséquence des vents calmes et tournants qui empêchent la dilution des odeurs. Au total, cinq fois plus de personnes sont impactées par les odeurs du site dans le scénario 1 que dans le scénario 2 (146 767 contre 25 794 habitants).

Entre les deux scénarios, les habitants ne sont pas exposés aux mêmes concentrations d'odeurs, beaucoup plus faibles dans le cas du scénario 2. Il en résulte un risque de gêne moindre dans le cas du scénario 2 qui ne compte aucun carreau avec un risque de gêne extrêmement élevé contrairement au scénario 1 qui en comptabilise 5.



Nombre de carreaux et d'habitants concernés selon le niveau de risque de gêne olfactive

Gravité	Implantation 1		Implantation 2		Rapport Pop S1/Pop S2
	Nb carreaux S1	Nb Pop S1	Nb carreaux S2	Nb Pop S2	
Faible	369	125 642	333	108 619	1,2
Moyen	54	23 757	60	34 984	0,7
Elevé	56	31 752	46	26 485	1,2
Tres élevé	43	31 362	16	11 366	2,8
Ext. élevé	5	4 913	0	0	/
Total	527	217 426	455	181 454	1,2

Figure 49 : Comparaison des résultats obtenus pour l'indice de gêne olfactive selon le lieu d'implantation

Une deuxième étude (Figure 49) compare les résultats obtenus pour l'indice de gêne olfactive selon deux scénarios d'implantation. Cette étude s'appuie sur la même année de données météorologiques. Pour les deux scénarios, la zone d'impact odorant et les niveaux de potentiel de nuisance évalués sont quasiment identiques. Seule la répartition des populations exposées varie.

- Le premier scénario correspond à l'actuel emplacement de la levurerie. Comme nous l'avons vu plus haut dans la section III.3.2.1, le site industriel se trouve aujourd'hui au cœur d'une aire urbaine très dense proche des centres-villes de Maisons-Alfort, Alfortville et Créteil.
- Le second scénario correspond à l'emplacement fictif de la levurerie à 1,5 km du véritable site dans la zone industrielle de Vitry-sur-Seine. Celle-ci est située au bord de la Seine et constitue un des espaces les moins peuplés de la zone d'étude (Figure 9).

L'analyse de la figure 49 révèle un risque d'impact moindre pour le scénario 2. L'implantation fictive du site dans la zone industrielle évite d'exposer les populations riveraines aux plus fortes concentrations d'odeurs généralement rencontrées autour du site émetteur. Néanmoins, on observe un risque de gêne olfactive élevé à très élevé de l'autre côté de la Seine, conséquence des vents dominants venus d'ouest qui impactent le quartier particulièrement peuplé du *Grand Ensemble* d'Alfortville. L'implantation de la levurerie à l'écart des centres-villes permet d'impacter 20 % d'habitants en moins par rapport au scénario 1 (181 454 contre 217 426 habitants). De plus, cette implantation permet de protéger les riverains des concentrations d'odeurs les plus élevées. Il en résulte un risque de gêne moindre dans le cas du scénario 2 qui ne compte aucun carreau avec un risque de gêne extrêmement élevé, et trois fois moins de carreaux avec un risque de gêne très élevée par rapport au scénario 1.

Au final, le modèle développé affiche une bonne réactivité selon que l'on agisse sur le potentiel de nuisance de l'odeur ou sur la vulnérabilité des enjeux, deux paramètres auxquels on accorde autant d'importance dans l'évaluation du risque d'impact odorant. Les deux études ci-dessus permettent de constater l'influence de ces deux paramètres sur l'évaluation du risque de gêne olfactive sur le territoire. Les résultats obtenus apparaissent cohérents par rapport aux hypothèses formulées pour chaque scénario.

III.4.4. Synthèse

Les résultats fournis par notre modèle ont pu être comparés aux signalements réalisés par une vingtaine de riverains volontaires dans le cadre d'un observatoire des odeurs mis en place depuis juin 2020 pour suivre l'évolution de la situation odorante autour du site d'étude.

Il ressort de cette comparaison que les niveaux de potentiel de nuisance évalués par notre modèle sont cohérents avec les signalements des membres de l'observatoire des odeurs. Même si ces résultats peuvent apparaître satisfaisants en première analyse, cela ne suffit pas pour les valider. Les observations sont en effet réalisées par un échantillon de population trop faible pour être jugé représentatif des dizaines de milliers de personnes que compte la zone d'étude, trop concentrées autour de la source de nuisance. La confrontation des résultats fournis par notre modèle à des études d'impact réalisées dans le cadre d'observatoires sur d'autres sites industriels, avec des observateurs mieux répartis sur la zone d'impact seraient nécessaires pour compléter l'évaluation de la pertinence de la méthode développée. Le paradoxe est que de telles conditions sont malheureusement difficiles à réunir. La plupart des observatoires sont en effet construits sur la base d'un échantillon de population très limité (quelques personnes à quelques dizaines de personnes), souvent inégalement réparties sur le territoire. Les plus enclins à participer sont le plus fréquemment ceux subissant les nuisances les plus fortes, c'est-à-dire les plus proches du site émetteur. Par ailleurs, comme noté plus haut, même si la possibilité de réaliser des observations où que l'on soit est offerte, la plupart seront réalisées au domicile, traduisant l'importance accordée par chacun à l'odeur chez soi par rapport à la perception de la même odeur à l'extérieur.

III.5. CONCLUSION

Nous avons présenté dans cette partie les résultats de la méthode d'évaluation et de prévision de la gêne olfactive, expérimentée autour d'une levurerie qui se trouve aujourd'hui au cœur d'une agglomération densément peuplée.

L'application de la méthode à ce cas de figure fait ressortir des résultats satisfaisants. La zone d'impact odorant du site industriel est cohérente avec les résultats de l'observatoire des odeurs en place autour du site d'étude. Les communes de Maisons-Alfort, Alfortville et le nord de Créteil sont les plus impactées par les odeurs de la levurerie. De façon générale, les niveaux de risques les plus élevés sont circonscrits dans un périmètre d'environ 2 km autour du site émetteur. De façon plus détaillée, la

localisation et l'ampleur de l'impact odorant varient selon que l'on se place du point de vue des riverains, des activités économiques ou des infrastructures publiques.

L'impact odorant est évalué dans chaque carreau de 200x200m du territoire d'étude. Cette échelle de représentation cartographique permet une analyse précise des problèmes d'odeurs, à l'échelle d'une rue. Cette finesse de représentation résulte d'un compromis entre la disponibilité des données nécessaires pour évaluer la vulnérabilité des enjeux et la validité du modèle.

La méthode aboutit à une représentation collective de la gêne olfactive, en tenant compte de l'intégralité des enjeux présents, dépassant ainsi les représentations individuelles des méthodes classiques d'évaluation de la gêne. Depuis les premiers travaux de Popa (2013), la méthode de calcul de l'indice de gêne a été simplifiée pour être facilement appliquée à d'autres territoires, et même d'autres pays. Cette simplification semble, dans le cadre de cette étude, préserver la pertinence des résultats obtenus.

La méthode développée peut ainsi être utilisée comme un outil d'aide à la décision au service des acteurs impliqués pour gérer de manière proactive des problèmes d'odeur sur leur territoire.

PARTIE IV. APPORTS ET LIMITES DE LA METHODE

Après avoir présenté les résultats de cette recherche dans la partie précédente, cette dernière section propose de discuter des apports et des limites de ce travail. Des perspectives sont proposées en fin de document pour de futurs développements.

IV.1. LES APPORTS

À partir des limites identifiées dans les travaux de Popa (2013), notre recherche s'est organisée autour de trois axes d'amélioration qui ont constitué nos objectifs :

- Faciliter la transposabilité du modèle à d'autres territoires tout en conservant une bonne représentativité des résultats ;
- Améliorer l'évaluation du potentiel de nuisance de l'odeur ;
- Proposer une représentation des résultats plus facilement interprétable.

IV.1.1. La transposabilité

Un des objectifs de ce travail était de rendre le modèle facilement applicable d'un territoire à l'autre. Pour y parvenir, il a été nécessaire de se questionner sur le nombre de données nécessaires pour évaluer la vulnérabilité des enjeux et la validité des résultats obtenus.

Pour rappel, les premiers travaux de Popa (2013) s'appuient sur un ensemble 81 variables socio-économiques pour évaluer la vulnérabilité des enjeux. De nombreuses sources de données sont mobilisées et rendent la méthode difficilement transposable à d'autres territoires. Pour simplifier le jeu de données nécessaire, nous nous sommes appuyés sur les instructions de Jaubert (2010), qui rappelle que l'importance d'une nuisance s'apprécie principalement au nombre de personnes qu'elle concerne. La quantification des enjeux constitue donc la principale variable pour évaluer la vulnérabilité des enjeux exposés à une nuisance odorante. Ces choix méthodologiques ont permis de surmonter les principales limites identifiées dans les travaux de Popa (2013) pour évaluer la vulnérabilité des enjeux exposés :

- Le nombre important de sources de données nécessaires ;
- La pondération des variables par un jury d'experts ;
- Le caractère sensible de certaines variables (revenu fiscal, CSP, etc.).

La méthode de calcul de l'indice de gêne a été simplifiée pour être facilement transposée à d'autres territoires, et même d'autres pays. Finalement, seulement deux

sources de données géographiques sont nécessaires pour évaluer la vulnérabilité des enjeux : les données de population carroyées du LCSQA (couverture française) et les données d'Open Street Map (couverture mondiale). La simplification du jeu de données semble, dans le cadre de notre étude, préserver la pertinence des résultats obtenus.

IV.1.2. L'évaluation du potentiel de nuisance de l'odeur

Pour rappel, l'évaluation du potentiel de nuisance est basée sur les deux principales informations que nous renvoie notre sens olfactif : l'acceptabilité et l'intensité de l'odeur. Ces deux paramètres sont mesurés sur une échelle ouverte pour chaque type d'effluent gazeux (méthodologie Olentica) puis évalués dans chaque carreau de notre territoire d'étude en fonction de la concentration d'odeur mesurée (adaptation de la loi de Weber Fechner).

Cette nouvelle méthode d'évaluation du potentiel de nuisance intègre les quatre facteurs FIDO (fréquence, intensité, durée, acceptabilité), reconnus comme déterminants pour évaluer l'impact d'une nuisance odorante. Cette innovation permet de prendre en compte la persistance de chaque effluent gazeux dans l'évaluation de l'acceptabilité et de l'intensité de l'odeur. Ceci constitue une avancée importante dans la mesure où les travaux de Popa (2013) et d'Invernizzi *et al* (2016) s'appuient seulement sur la concentration en unités odeur et un coefficient propre à chaque effluent gazeux pour évaluer un potentiel de nuisance.

IV.1.3. La représentation de résultats

Au lieu de fournir un indice global du risque de gêne olfactive, notre méthode aboutit à trois cartographies distinctes selon l'enjeu considéré : celui des riverains, des activités économiques et des infrastructures publiques. Cette distinction permet aux acteurs impliqués d'identifier rapidement les enjeux et l'importance de l'impact. D'un point de vue méthodologique, cette distinction permet de s'affranchir d'une méthode de pondération nécessaire pour juger l'importance de chaque enjeu. Cette appréciation est laissée à l'utilisateur final selon les caractéristiques de son territoire.

Un autre apport concerne l'échelle de représentation des résultats. La disponibilité de données renseignant le nombre d'habitants a été déterminante dans le choix de la résolution du carroyage. Notre méthode permet d'évaluer et de représenter un risque d'impact dans les carreaux de 200m×200m de l'INSEE. Ce gain de précision n'est pas négligeable dans la mesure où les problèmes d'odeurs s'apprécient généralement dans un périmètre restreint autour du site (moins de 2 km).

Un dernier point concerne la construction des échelles utilisées pour cartographier les résultats. Pour chaque variable en entrée (intensité et acceptabilité de l'odeur, vulnérabilité humaine, économique et sociale), nous avons effectué une opération de discrétisation, ou découpage en classes, pour assurer la lisibilité des résultats mais également leur comparaison d'une étude ou d'un territoire à l'autre. La discrétisation des variables s'est appuyée sur des éléments objectifs et quantifiables (échelles ordinales de verbalisation utilisées par les panélistes, nombre d'habitants, nombre d'activités ou d'infrastructures publiques sensibles) pour déterminer un seuil maximal au-delà duquel on considère le potentiel de nuisance ou la vulnérabilité d'un carreau comme extrêmement élevé. Ces éléments concrets permettent aux utilisateurs d'aborder plus facilement les différents résultats obtenus. De plus, l'importance égale accordée au potentiel de nuisance de l'odeur et à la vulnérabilité des enjeux permet de constater l'influence de chaque paramètre dans l'évaluation du risque d'impact odorant sur le territoire.

IV.2. LES LIMITES

Si l'on peut considérer les résultats du modèle satisfaisants, il convient de souligner un certain nombre de limites à la méthode développée. Celles-ci s'organisent autour des trois grandes étapes qui permettent de prévoir l'impact odorant d'un futur site industriel :

- La caractérisation des odeurs émises à la source,
- La modélisation de la dispersion des molécules odorantes dans l'atmosphère,
- L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux.

IV.2.1. La caractérisation de la source

La caractérisation des émissions d'odeurs à la source conditionne la qualité de la modélisation de la dispersion des composés odorants et donc celle des résultats. Dans le cadre de ce travail, la méthode déployée pour caractériser la source d'odeurs comporte certaines limites.

Le potentiel de nuisance de l'odeur (aléa) est évalué dans chaque carreau du territoire d'après une méthode innovante permettant de caractériser l'intensité et l'acceptabilité de l'odeur selon sa nature et sa concentration. Cette méthode ne permet pas de caractériser les émissions de plusieurs types d'odeurs combinées. Celle-ci tient compte d'un seul type d'odeur en entrée. Or, les odeurs perçues autour du site d'étude ne se limitent plus à celle de levure. De nouvelles odeurs jugées plus intenses et plus désagréables sont apparues avec les nouvelles recettes de produits dérivés de levure.

Face à cette limite, les coefficients les plus pénalisant en termes d'impact sont retenus pour protéger les riverains et les activités.

Un second point de vigilance concerne la quantification des émissions. Plusieurs campagnes de prélèvements sur le site d'étude ont révélé la difficulté de quantifier l'ensemble des émissions canalisées, diffuses et les fuites des bâtiments datant parfois de la fin du XIX^e siècle. De plus, la production de levure est rythmée par des phases de chargement et de déchargement des cuves qui rendent l'estimation des émissions odorantes un peu plus approximative.

Dans le cadre de ce travail de thèse, le site émetteur existe : des mesures et des prélèvements ont pu être effectués sur place. Dans le cas où le site émetteur serait inexistant, les émissions odorantes devront être estimées sur la base des émissions de sites industriels analogues. Pour être totalement opérationnel, il faudrait ainsi disposer d'une base de données caractérisant les émissions odorantes de n'importe quel type d'industrie, enrichie au fur et à mesure des expertises.

IV.2.2. La modélisation de la dispersion atmosphérique

La modélisation du transport des molécules odorantes dans l'atmosphère conditionne en partie la zone d'impact et l'importance de l'aléa, et au final la qualité des prévisions. Quelques limites rencontrées au cours de cette modélisation méritent d'être soulignées.

Dans le cadre de cette thèse, le logiciel de dispersion atmosphérique ARIA Impact est utilisé pour modéliser la dispersion atmosphérique des composés odorants sur le territoire. La version du logiciel utilisé ne tient pas compte des potentiels obstacles (bâtiments, végétation, etc.) qui, selon leur hauteur et leur emprise au sol, peuvent avoir un impact sur la dispersion des composés odorants. Leur prise en compte est potentiellement négligeable en milieu rural, mais aurait certainement constitué un gain de précision dans le contexte urbain très dense de notre zone d'étude.

Un deuxième point de vigilance concerne la qualité des données météorologiques utilisées. Dans le cadre de ce travail, l'entreprise Biospringer nous a fourni les données météorologiques de sa propre station installée sur place. Ces données permettent d'obtenir les conditions météorologiques les plus représentatives au niveau du site d'émission. Dans le cas d'une étude sur un site industriel inexistant, il n'existe pas de données météorologiques aussi précises. Les futures études devront se baser sur les données des stations météorologiques les plus proches, qui peuvent se trouver parfois à plusieurs dizaines de kilomètres. La distance qui sépare le futur site industriel de la station météorologique peut représenter une limite pour la fiabilité des prévisions du

modèle. En effet, les conditions météorologiques au niveau de la station ne sont pas forcément représentatives de la situation à quelques kilomètres de distance.

Un dernier point porte sur la nécessité de disposer de deux outils pour faire fonctionner le modèle : le logiciel de dispersion atmosphérique d'une part et un outil SIG de l'autre. Le développement d'une extension permettant d'intégrer un logiciel de dispersion atmosphérique dans un SIG (QGIS, ArcGis, etc.) ou inversement, l'intégration de l'outil SIG dans un logiciel de dispersion atmosphérique constitue un axe d'amélioration important pour permettre une utilisation opérationnelle du modèle. Cette association permettrait d'éviter les ruptures logicielles et faciliterait ainsi son utilisation.

IV.2.3. L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux

L'évaluation de la vulnérabilité des différents enjeux exposés à une nuisance odorante est un exercice délicat dans la mesure où les réactions des populations restent difficiles à appréhender et à expliquer.

Dans le cadre de notre méthode, les enjeux (humains, économiques et sociaux) sont quantifiés pour rendre compte d'une certaine valeur de vulnérabilité dans chaque carreau du territoire d'étude. Pour assurer la lisibilité cartographique des résultats mais aussi leur comparaison d'un territoire à l'autre, nous avons eu recours à une opération de discrétisation (ou découpage en classes d'une distribution statistique). Cette opération se base sur une valeur maximale de vulnérabilité que nous avons nous-mêmes définies. Plusieurs analyses sur différents territoires (ruraux, périurbains et urbains) ont servi à déterminer un seuil au-delà duquel on considère la vulnérabilité d'un enjeu comme maximale. Le choix de ces valeurs reste discutable et pourra à l'avenir être laissé aux décideurs qui définiront eux-mêmes « la limite à ne pas dépasser ».

Les limites spécifiques à l'évaluation des différents enjeux sont mentionnées ci-dessous.

IV.2.3.1. La caractérisation de la vulnérabilité humaine

La vulnérabilité humaine est évaluée de manière quantitative en dénombrant la population présente dans chaque carreau.

Contrairement aux travaux de Popa (2013) qui décrit la sensibilité de la population à une odeur à partir de 42 variables socio-économiques (type de propriété, revenus, ancienneté, etc.), nous avons fait le choix de placer chaque riverain au même pied d'égalité vis-à-vis d'une nuisance odorante. De ce fait, les sensibilités individuelles

(seuil de tolérance, état psychologique, habitude, contexte, etc.), pourtant déterminantes dans la genèse du sentiment de gêne, ne sont pas prises en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité. Cette simplification résulte d'un compromis entre la validité du modèle et sa transposabilité à d'autres territoires, voire même d'autres pays :

- Le nombre d'habitants exposés reste la principale variable pour apprécier la vulnérabilité humaine d'un territoire ;
- En dehors de la France, l'hétérogénéité des bases de données ne permet pas de décrire de manière aussi détaillée la sensibilité des populations vis-à-vis d'une nuisance odorante.

IV.2.3.2. La caractérisation de la vulnérabilité économique et de la vulnérabilité sociale

La vulnérabilité économique et la vulnérabilité sociale sont évaluées dans chaque carreau du territoire d'étude selon le nombre d'infrastructures présentes et leur sensibilité vis-à-vis d'une nuisance odorante. Rappelons qu'un questionnaire en ligne a été mis en place pour évaluer la sensibilité des activités économiques et sociales à une odeur.

Une limite inhérente à cette technique d'enquête est qu'elle ne permet pas d'identifier le fond du problème. Les préoccupations olfactives ne sont pas perceptibles par les personnes interrogées et nous ne saurons pas davantage pourquoi certaines activités sont plus sensibles que d'autres vis-à-vis d'une nuisance odorante.

L'inconvénient du questionnaire en ligne est qu'il ne permet pas de cibler l'échantillon de répondants. Sur les 353 répondants, la moitié sont des étudiants. Cette part conséquente occulte les autres catégories socioprofessionnelles et représente inévitablement un biais dans les résultats. La fragilité de l'échantillon est palpable sur certaines questions (e.g. « Évaluer votre capacité à supporter une odeur désagréable pendant que vous déposez votre enfant à l'école ») qui ont recueilli une part importante de réponses « Ne sait pas ». Cela traduit la difficulté des répondants à se projeter dans des situations qu'ils ne connaissent pas. Ces résultats pourraient être affinés en menant une enquête plus large intégrant un panel plus représentatif.

Un dernier point concerne le traitement des résultats du questionnaire et le calcul des indices qui permettent de hiérarchiser les activités selon leur sensibilité à une odeur. Ces indices de sensibilité ont été calculés (équation 9) d'après le nombre de réponses obtenues pour chaque niveau de réponse (un peu, moyennement, très difficilement, absolument pas, ne sait pas) et selon des facteurs de pondération que nous avons jugés

suffisamment discriminants (1,10, 100 et 1000). Ce traitement statistique ne doit pas occulter la subjectivité de la perception des odeurs et la variabilité des réactions d'un individu à l'autre. En ce sens, la méthode de calcul ainsi que le choix des facteurs de pondération restent discutables.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'objectif de cette thèse était de mettre au point une nouvelle méthode d'évaluation et de prévision de la gêne olfactive pour aider les décideurs à anticiper les problèmes d'odeurs avant qu'ils ne surviennent sur leur territoire. Le développement de cette méthode s'est appuyé sur les premiers travaux de Popa (2013) qui fut la première à évaluer et à représenter la gêne olfactive comme un risque. Les limites identifiées dans son travail ont donné lieu à des questionnements spécifiques portant en particulier sur la transposabilité du modèle à d'autres territoires, sur la représentation des résultats, sur la caractérisation de la vulnérabilité des enjeux confrontés à une nuisance odorante, sur l'évaluation de l'impact odorant d'un site industriel existant futur ainsi que sur l'importance accordée à chacun des paramètres qui interviennent dans l'évaluation du risque d'impact odorant.

Pour atteindre notre objectif, notre travail a débuté par une analyse bibliographique de notre objet d'étude : la gêne olfactive. Les différentes caractéristiques de l'odeur ont été abordées. Le processus allant de la perception négative d'une odeur (nuisance) au sentiment de gêne a été discuté. Les méthodes existantes pour évaluer la gêne olfactive auprès des populations ont été présentées. Celles-ci sont généralement mises en place *a posteriori*, une fois que les problèmes d'odeurs sont apparus. Coûteuses en temps et en argent, elles sont essentiellement utilisées pour rendre compte de la situation odorante à un moment donné, mais peuvent aussi être utilisées en complément d'une approche prédictive pour corroborer ou infirmer les résultats d'un modèle. Notre recherche s'est ensuite focalisée sur les modalités indispensables pour anticiper l'impact odorant d'une future industrie comme la caractérisation de la vulnérabilité du territoire exposé ainsi que les facteurs FIDOL (Fréquence, Intensité, Durée, Acceptabilité, Localisation) reconnus comme déterminants pour évaluer et prévoir l'effet d'une nuisance odorante. Seules deux méthodes de prévision de la gêne olfactive ont pu être identifiées et analysées : celle de Popa (2013) et celle d'Invernizzi *et al* (2016). Basées sur les méthodes d'évaluation des risques, ces deux approches intègrent à la fois l'impact odorant d'une industrie et la sensibilité des populations pour anticiper l'effet d'une nuisance odorante. Cette étude a souligné le besoin de trouver un juste milieu entre l'approche très complexe et difficilement transposable de Popa (2013) et celle d'Invernizzi *et al* (2016) qui propose au contraire une analyse macro de la gêne olfactive.

Une deuxième partie a permis de présenter notre nouvelle méthode de prévision de la gêne olfactive. Cette approche basée sur les méthodes d'évaluation des risques aboutit à une représentation spatiale et temporelle de l'impact odorant sur un territoire. Celle-ci intègre à la fois le potentiel de nuisance de l'odeur et la vulnérabilité des enjeux exposés pour évaluer un niveau de risque. Ces deux composantes ont été caractérisées selon des approches innovantes :

- La définition du potentiel de nuisance de l'odeur. Son évaluation est basée sur les deux principales informations que nous renvoie notre sens olfactif : l'acceptabilité et l'intensité de l'odeur. Ces deux paramètres sont évalués d'après la méthodologie développée par l'entreprise Olentica. Celle-ci tient compte de la concentration de l'odeur et de sa persistance pour évaluer un niveau d'intensité et d'acceptabilité de l'odeur dans chaque carreau du territoire d'étude.
- La définition des enjeux. L'impact odorant est évalué sous le prisme de trois enjeux : celui des riverains, des activités économiques et des infrastructures publiques. La vulnérabilité d'un enjeu est définie comme la mesure où il peut être affecté négativement par une odeur. La quantification des enjeux dans chaque carreau du territoire d'étude a constitué la principale variable pour évaluer leur vulnérabilité face à une nuisance odorante. Si nous avons fait le choix de placer chaque riverain au même pied d'égalité face à une nuisance odorante, nous avons attribué un facteur de sensibilité à l'odeur aux 225 activités économiques et sociales de notre nomenclature à partir des résultats d'un questionnaire en ligne ouvert à tous.

Ces deux composantes ont été normalisées de sorte à accorder autant d'importance au potentiel de nuisance de l'odeur et à la vulnérabilité des enjeux dans l'évaluation d'un niveau de risque de gêne olfactive. Cette opération s'est appuyée sur des valeurs maximales qui correspondent pour chacun d'eux à une réalité objective et quantifiable. En résumé, notre méthode intègre les cinq facteurs FIDOL pour évaluer et cartographier l'impact odorant d'une industrie existante ou future sous le prisme des trois enjeux considérés.

Dans une troisième partie, nous avons présenté l'application de notre méthode sur un territoire densément peuplé de la région parisienne exposé aux odeurs d'une levurerie située à Maisons-Alfort. Le territoire d'étude ainsi que la levurerie ont été caractérisés depuis l'implantation du site en 1870. Une mise en perspective historique a révélé les profondes transformations de ce territoire situé aux portes de la capitale. L'ensemble

des résultats obtenus ont ensuite été analysés et ont servi à évaluer la représentativité du modèle :

- Les résultats du potentiel de nuisance ont été confrontés aux signalements d'un observatoire des odeurs en place autour du site d'étude. Cette étude a révélé des résultats cohérents avec le ressenti des riverains même si plusieurs études seraient nécessaires pour une validation plus approfondie.
- Les résultats du risque de gêne olfactive ont été comparés selon quatre scénarios différents en termes d'implantation ou de temporalité. Ces derniers ont révélé la bonne réactivité du modèle et semblent cohérents par rapport aux hypothèses formulées pour chaque scénario.

En conclusion, la simplification de la méthode de calcul et du jeu de données semble, dans le cadre de notre étude, préserver la pertinence des résultats obtenus. Notre méthode de prévision de la gêne olfactive présente l'intérêt de replacer l'évaluation des risques sur le terrain des décideurs, en portant leur attention sur les enjeux majeurs du territoire, éléments concrets sur lesquels ils ont prise. La méthode permet une représentation collective de la gêne olfactive, en tenant compte des différents enjeux présents, dépassant ainsi les représentations individuelles des méthodes classiques d'évaluation de la gêne. Cette méthode innovante constitue un outil d'aide à la décision à destination des acteurs impliqués pour gérer de manière proactive les problèmes d'odeurs sur leur territoire.

Les limites de ces travaux ont été exposées et ne remettent pas fondamentalement en cause notre méthode. Si l'on peut considérer les résultats du modèle satisfaisants, plusieurs pistes d'amélioration sont envisagées :

- La constitution d'une base de données caractérisant les émissions potentielles des différentes activités industrielles émettrices d'odeurs pour anticiper l'impact de futures installations ;
- La réalisation d'une enquête plus large portant sur la sensibilité des différentes structures économiques et publiques vis-à-vis d'une nuisance odorante. Un panel plus représentatif de la population permettrait d'affiner les résultats ;
- Des recherches visant à caractériser l'évolution du potentiel de nuisance lorsque des effluents odorants présentant des caractéristiques différentes impactent un point donné du territoire permettraient, dans certains cas, une évaluation plus fidèle de l'impact ;
- L'application du modèle sur des territoires présentant des densités de population, des reliefs et des climats différents. Ces modélisations devront être

réalisées en parallèle d'observatoires des odeurs pour conforter la validation du modèle ;

- Partager les résultats du modèle avec des utilisateurs potentiels afin d'évaluer leur degré d'appropriation de l'outil et l'intérêt de son utilisation dans le processus de décision.

BIBLIOGRAPHIE

ADEME (2005) *Pollutions olfactives : origine, législation, analyse, traitement*. Edited by ADEME/DUNOD.

Amanzougarene, F., Chachoua, M. and Zeitouni, K. (2012) 'Qualitative representation of building sites annoyance', *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings*, pp. 13–20. doi: 10.1145/2390226.2390230.

Ayral, P.-A. et al. (2022) 'Systèmes d'information géographique : études de cas', *Techniques de l'Ingénieur*, pp. 1–30. doi: <https://doi.org/10.51257/a-v2-h7416>.

Balez, S. (2001) *Ambiances olfactives dans l'espace construit : perception des usagers et dispositifs techniques et architecturaux pour la maîtrise des ambiances olfactives dans des espaces de type tertiaire*. Université de Nantes.

Beauguitte, L. and Giraud, T. (2012) *Cartographier avec le logiciel R, Hypothèses*. Available at: <https://quanti.hypotheses.org/795> (Accessed: 25 November 2019).

Benzécri, J. P. (1979) 'La psychophysique : histoire et critique de la notion de seuil', *Les cahiers de l'analyse des données*, 4, pp. 391–404.

Bilsen, I., De Fré, R. and Bosmans, S. (2008) 'Code van goede praktijk bepalen van de geurverspreiding door middel van snuffelploegmetingen'. Expertisecentrum Milieumetingen.

Birkmann, J. et al. (2013) 'Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework', *Natural Hazards*, 67(2), pp. 193–211. doi: 10.1007/s11069-013-0558-5.

Boni, S. (2022) *Homo confort : le prix à payer d'une vie sans efforts ni contraintes*. L'Echapée.

Brancher, M. et al. (2017) 'A review of odour impact criteria in selected countries around the world', *Chemosphere*. Pergamon, 168, pp. 1531–1570. doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2016.11.160.

Van Broeck, G. and Van Langenhove, H. (2000) 'Development of a methodology to set up odour-quality objectives for sewage-treatment plants in Flanders', *Water and Environment*, 14(5), pp. 318–324. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2000.tb00268.x>.

Bull, M. et al. (2018) *IAQM Guidance on the assessment of odour for planning – version 1.1*, Institute of Air Quality Management. London. Available at: www.iaqm.co.uk/text/guidance/odour-guidance-2018.

Capelli, L. et al. (2012) 'Evaluating the dispersion of toxic odour emissions from complex sources', *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, (November 2014), pp. 37–41. doi: 10.1080/10934529.2012.668068.

Capelli, L. et al. (2013) 'Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling: A review', *Atmospheric Environment*. Pergamon, 79, pp. 731–743. doi: 10.1016/J.ATMOENV.2013.07.029.

Cardona, O. D. et al. (2012) 'Determinants of risk: Exposure and vulnerability', *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 9781107025, pp. 65–108. doi: 10.1017/CBO9781139177245.005.

Carre, J. and Fanlo, J. (2006) *Pollution Olfactive, sources d'odeurs, cadre réglementaire, techniques de mesure et procédés de traitement. Etat de l'art*, Record.

CAUE94 (2012) *Urbanisatin du Val-de-Marne*. Choisy le Roi.

CGMA (2016) *Visite de l'usine Bio-Springer (02)*, Cercle Généalogique de Maisons-Alfort. Available at: <https://cgma.wordpress.com/2016/12/27/visite-de-lusine-bio-springer-02/>

(Accessed: 6 January 2023).

Chabrol, J.-P. and Vezon, T. (2017) *Alès Capitale des Cévennes*. Alcide.

Charpentier, D. (1998) 'Fould-Springer et la levure 126 ans d'histoire commune - Le Parisien', *Le Parisien*. Available at: <https://www.leparisien.fr/val-de-marne-94/fould-springer-et-la-levure-126-ans-d-histoire-commune-05-08-1998-2000190068.php> (Accessed: 4 January 2023).

Chaverou, E., El Idrissi, A. and Petillon, C. (2016) *Les mauvaises odeurs à vue de nez, Pixel*. Available at: <https://www.franceculture.fr/emissions/pixel/les-mauvaises-odeurs-vue-de-nez> (Accessed: 11 December 2019).

Conti, C., Guarino, M. and Bacenetti, J. (2020) 'Measurements techniques and models to assess odor annoyance: A review', *Environment International*. Elsevier Ltd, 134. doi: 10.1016/J.ENVINT.2019.105261.

Corbin, A. (1982) *Le Miasme et la Jonquille. L'odorat et l'imaginaire social, XVIIIe-XIXe siècles*. Flammarion. Paris.

Le Courrier du Val-de-Marne (1976) 'Les usines Fould-Springer consacreront 18 000F pour réduire leur pollution', *Le Courrier du Val-de-Marne*, (281).

Cutter, S. L. (1996) 'Vulnerability to environmental hazards', *Progress in Human Geography*, 20(4), pp. 529–539. doi: 10.1177/030913259602000407.

D'Ercole, R. and Metzger, P. (2009) 'La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain', *CyberGeo*, (447). doi: 10.4000/cyberge0.22022.

Daniel, F. (2016) 'De l'usage collectif des sens. Fonctionnement et incertitudes d'un jury de nez riverain', *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, pp. 559–623.

Dartiguepeyrou, C. (2013) 'Où en sommes-nous de notre conscience écologique ? (Where are we in our ecological awareness?)', *Vraiment durable*, 4(2), p. 15. doi: 10.3917/vdur.004.0015.

Delva, J., Cobut, P. and Fanlo, J. (2017) 'De l'odeur à l'impact sur le territoire', *Pollution atmosphérique*, 234, pp. 1–13.

Duleau, R. and Pitte, J.-R. (1998) *La géographie des odeurs*. Harmattan.

EAUK (2002) 'Assessment of community response to odorous emissions', *Environment Agency of United Kingdom*. Available at: <http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SP4-095-TR-e-p.pdf>.

Eden Green Environmental Limited (2019) *Odour Assessment : Site: Mount Pleasant Works, Occupation Lane, Woodville, Swadlincote, DE11 8TZ*.

EN 13725 (2003) *Qualité de l'air - Détermination de la concentration d'une odeur par olfactométrie dynamique*. www.afnor.org.

Environment Agency (2011) 'Additional guidance for H4 Odour Management How to comply with your environmental permit'. Bristol, p. 46.

ERM (2012) 'Environmental Resources Management. Broiler Farm Odour Environmental Risk Assessment - Background to Technical Guidance', *Environmental Protection Authority of Victoria*, (June), p. 65.

Etzold, B. and Sakdapolrak, P. (2016) 'Socio-spatialities of vulnerability: towards a polymorphic perspective in vulnerability research', *Die Erde*, 147(4), pp. 234–251. doi: 10.12854/erde-147-15.

Eugster, M. J. A. and Schlesinger, T. (2013) 'osmar: OpenStreetMap and R', *R Journal*. Available at: <http://wiki.openstreetmap.org/>. (Accessed: 7 October 2022).

European Commission (2006) 'ESPON Project 2.3.2 Governance of Territorial and Urban

- Policies From EU to Local Level, Final Report', pp. 1–209. Available at: www.espon.lu.
- Foerster, E. (2009) *Vulnérabilité : état de l'art sur les concepts et méthodologies d'évaluation*.
- Foerster, E. et al. (2009) *WP 1: State-of-the art on vulnerability types Del. 1.1.1: Methodologies to assess vulnerability of structural systems*. Available at: http://forum.eionet.europa.eu/eionet-air-climate/library/public/2010_citiesproject/interchange/project_deliverables/ensure_del111pdf/download/1/ENSURE_Del1.1.1.pdf.
- Freeman, T. and Cudmore, R. (2002) 'Review of Odour Management in New Zealand', *Air Quality Technical Report 24*, (August).
- Gaimard, M. (2019) 'Introduction. Les dimensions territoriales des vulnérabilités', *Populations vulnérables*. OpenEdition, (5), pp. 9–17. doi: 10.4000/popvuln.991.
- Géoconfluences (2021a) *Système d'information géographique (SIG)*. Available at: <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/systemes-dinformation-geographique-sig-et-geomatique> (Accessed: 13 February 2023).
- Géoconfluences (2021b) *Vulnérabilité*. Available at: <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/vulnerabilite> (Accessed: 19 April 2023).
- Gormley, Á., Pollard, S. and Rocks, S. (2011) *Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management. Green Leaves III, Risk Management*. Available at: <http://www.defra.gov.uk/publications/files/pb13670-green-leaves-iii-1111071.pdf>.
- Grésillon, L. (2010) 'Sentir Paris. Bien être et matérialité des lieux', in *Les cafés géographiques*, pp. 13–16.
- Griffiths, K. D. (2014) 'Disentangling the frequency and intensity dimensions of nuisance odour, and implications for jurisdictional odour impact criteria', *Atmospheric Environment*, 90, pp. 125–132. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.022.
- Guideline VDI 3882 Part 1 (1992) 'Determination of Odour Intensity', p. 26.
- Guideline VDI 3883, P. 1 (1997) 'Effects and assessment of Odours Psychometric Assessment of Odour Annoyance Questionnaires', p. 60.
- Guideline VDI 3883, P. 2 (1993) 'Determination of Annoyance Parameters by Questioning Repeated Brief Questioning of Neighbour Panellists'. Düsseldorf.
- Guideline VDI 3940, P. 1 (2006) 'Measurement of odour impact by field inspection - Measurement of the impact frequency of recognizable odours Grid measurement'. Düsseldorf.
- Guideline VDI 3940, P. 2 (2006) 'Measurement of odour impact by field inspection - Measurement of the impact frequency of recognizable odours Plume measurement'. Düsseldorf.
- Guillot, J. and Luillery, C. (2017) 'Évolution des normes de mesure des odeurs et des composés odorants', 16841(1), pp. 1–6.
- Guillot, J., Troussset, F. and Daclin, N. (2022) 'Limitations of FIDOL Factors for Odour Impact Assessment: Potential Ways of Improvements', 95(June), pp. 163–168. doi: 10.3303/CET2295028.
- Hanin, K. (2023) 'L'association "Unis pour la qualité de vie à Garons" manifeste devant Nîmes Métropole', *Midi Libre*. Available at: <https://www.midilibre.fr/2023/06/26/lassociation-unis-pour-la-qualite-de-vie-a-garons-manifeste-devant-nimes-metropole-11302479.php> (Accessed: 27 June 2023).
- Van Harreveld, A. P. (2001) 'From odorant formation to odour nuisance: New definitions for discussing a complex process', *Water Science and Technology*, 44(9), pp. 9–15.
- Hayes, J. E., Stevenson, R. J. and Stuetz, R. M. (2014) 'The impact of malodour on

- communities: A review of assessment techniques', *Science of The Total Environment*. Elsevier, 500–501, pp. 395–407. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2014.09.003.
- Hijmans, R. J. (2015) 'Introduction to R', pp. 301–332. doi: 10.1201/b19209-18.
- Hourtoulou, D. (2002) *Analyse des risques et prevention des accidents majeurs (DRA-007). Rapport final operation ASSURANCE*.
- Invernizzi, M., Capelli, L. and Sironi, S. (2016) 'Quantification of Odour Annoyance-Nuisance', *Chemical Engineering Transactions*, 54, pp. 205–210. doi: 10.3303/CET1654035.
- Invernizzi, M., Capelli, L. and Sironi, S. (2017) 'Proposal of odor nuisance index as urban planning tool', *Chemical Senses*, 42(2), pp. 105–110. doi: 10.1093/chemse/bjw103.
- ISO 5492:2008 (2008) 'Analyse sensorielle — Vocabulaire'. AFNOR, p. 122.
- Jarrige, F. and Le Roux, T. (2017) *La contamination du monde*. Seuil.
- Jaubert, J.-N., Tapiero, C. and Dore, J.-C. (1995) 'The Field of Odors : Toward a Universal Language for Odor Relationships', *Perfumer & Flavorist*, 20(May/June), pp. 1–16.
- Jaubert, J. N. (2005) 'Les odeurs dans l'air: de la pollution osmique à la gêne olfactive', *Environnement, Risques & Santé*, 4(1), pp. 51–61.
- Jaubert, J. N. (2010a) 'La gêne olfactive: composantes - Moyens d'appréciation', *Pollution Atmospherique*, (208), pp. 405–433. doi: 10.4267/pollution-atmospherique.91.
- Jaubert, J. N. (2010b) 'Surveiller la qualité odorante de l'air', *Pollution Atmospherique*, (205), pp. 103–113.
- Jessop, B., Brenner, N. and Jones, M. S. (2008) 'Theorizing sociospatial relations', *Environment and Planning D: Society and Space*, 26(3), pp. 389–401. doi: 10.1068/d9107.
- Konz, A. and Pourtier, L. (2008) 'Réglementation en matière d'odeurs', *Techniques de l'Ingénieur*, 33(0).
- Köster, E. . (1991) 'Méthodes d'évaluation psychologique dans l'étude de l'environnement', in Martin, G. and Laffort, P. (eds) *Odeurs et désodorisation dans l'environnement*. Edition Te. Paris, pp. 25–58.
- Lahousse, P. and Piédanna, V. (2000) 'La discrétisation: un outil cartographique objectif?', *Espace, populations, sociétés*, 18(1), pp. 115–125. doi: 10.3406/espos.2000.1930.
- Van Langenhove, H. and Van Broeck, G. (2001) 'Applicability of sniffing team observations: Experience of field measurements', *Water Science and Technology*, 44(9), pp. 65–70. doi: 10.2166/wst.2001.0510.
- Lebrero, R. et al. (2011) *Odor assessment and management in wastewater treatment plants: A review*, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. doi: 10.1080/10643380903300000.
- Létinois, L. (2014) *Méthodologie de répartition spatiale de la population*. Available at: https://www.lcsqa.org/system/files/drc-15-144366-00427a_modelisation_methodologie_population_2014_vf.pdf.
- Leyk, S. et al. (2019) 'The spatial allocation of population: A review of large-scale gridded population data products and their fitness for use'. doi: 10.7927/H4JW8BX5.
- Macé, C. (2023) 'L'implantation d'une usine Virbac interroge', *La Marseillaise*. Available at: <https://www.lamarseillaise.fr/societe/l-implantation-d-une-usine-virbac-interroge-ON14086091> (Accessed: 10 July 2023).
- Mainland, J. and Sobel, N. (2006) 'The sniff is part of the olfactory percept', *Chemical Senses*, 31(2), pp. 181–196. doi: 10.1093/chemse/bjj012.
- Martinais, E. (2011) 'L'évaluation des risques industriels - Une histoire des analyses de risques

de 1970 à nos jours', *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, N° 62(2), pp. 51–61. doi: 10.3917/re.062.0051.

MfE (2016) *Good Practice for Assessing and Managing Odour*. Wellington. doi: 978-0-908339-74-7.

Muchembled, R. (2017) *La civilisation des odeurs*. Belles Lettres.

Mylne, K. R. (1992) 'Concentration fluctuation measurements in a plume dispersing in a stable surface layer', *Boundary-Layer Meteorology*, 60(1–2), pp. 15–48. doi: 10.1007/BF00122060.

Mylne, K. R. and Mason, P. J. (1991) 'Concentration fluctuation measurements in a dispersing plume at a range of up to 1000 m', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 117(497), pp. 177–206. doi: 10.1002/qj.49711749709.

NF EN 16841-2 (2016) *Air ambiant - Détermination de la présence d'odeurs par mesures de terrain - Partie 2 : méthode du panache*. www.afnor.org.

NF X43-103 (1996) *Mesures olfactométriques — Mesurage de l'odeur d'un effluent gazeux*. France.

Nicell, J. (2009) 'Assessment and regulation of odour impacts', *Atmospheric Environment*. Elsevier Ltd, 43(2), pp. 196–206. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.033.

Nicolas, J. et al. (2010) 'Identification of odour sources in an industrial park from resident diaries statistics', *Atmospheric Environment*. Elsevier Ltd, 44(13), pp. 1623–1631. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.01.046.

Nicolas, J., Craffe, F. and Romain, A. C. (2006) 'Estimation of odor emission rate from landfill areas using the sniffing team method', *Waste Management*, 26(11), pp. 1259–1269. doi: 10.1016/j.wasman.2005.10.013.

Niget, D. and Petitclerc, M. (2012) *Pour une histoire du risque Québec, France, Belgique*. Presses un.

Olivier, S. (2019) 'Médicalisation, hygiène et risque sanitaire dans les campagnes de la région de Lodève au temps des Lumières', in *Colloque Hygiène et santé SHMCNG*, p. 11.

Peters, G. M. et al. (2014) 'Improving odour assessment in LCA—the odour footprint', *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(11), pp. 1891–1900. doi: 10.1007/s11367-014-0782-6.

Pierrette, M. (2009) 'L'environnement olfactif : de la perception à la gêne. Le cas d'un site industriel.', *www.theses.fr*.

Pierrette, M. and Moch, A. (2009) 'Étude des prédictors de la gêne olfactive aux abords d'un site industriel', *Psychologie Française*, 54(3), pp. 259–270. doi: 10.1016/j.psfr.2008.12.001.

Piton, G. et al. (2018) 'Aide à la décision par l'application de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) à l'analyse multicritère des stratégies d'aménagement du Grand Buech à la Faurie', *Sciences Eaux & Territoires*, Numéro 26(2), pp. 54–57. doi: 10.3917/set.026.0054.

Popa, V. (2013) 'Méthode prédictive d'évaluation de la gêne olfactive sur un territoire soumis à une activité industrielle. Approche du potentiel de nuisance et analyse de la vulnérabilité du territoire', *www.theses.fr*. Available at: <http://www.theses.fr/2013MON30030>.

Pourtier, L., Deiber, G. and Piet, H. (2007) 'Modélisation de la dispersion atmosphérique des odeurs', *Techniques de l'Ingénieur*, 33(0), pp. 1–8.

Renard, F. and Chapon, P. M. (2010) 'An urban vulnerability assessment method applied to the conurbation of Lyon', *Espace Géographique*, 39(1), pp. 35–50. doi: 10.3917/eg.391.0035.

Ritter, P. and Rozec, V. (2003) 'Les avancées et les limites de la législation sur le bruit face au vécu du citoyen', *Geocarrefour, Revue de Géographie de Lyon*, 78(2), pp. 111–119. Available at: <http://geocarrefour.revues.org/196>.

- Rognon, C. and Pourtier, L. (2010) 'Mesurer les odeurs', *Technique de l'Ingénieur*, 33, p. 23. doi: 10.1111/pde.12110.
- Rognon, C. and Pourtier, L. (2014) 'Les odeurs dans l'environnement', *Edition Techniques de l'Ingénieur*, 33(0), p. 10.
- Rossi, A. N. (2015) 'L'impatto olfattivo delle emissioni in atmosfera : la classificazione dei ricettori sensibili', in *Ecomondo*. Rimini, p. 20.
- Rozec, V. et al. (2003) 'Nuisances olfactives et pollution de l'air : les plaintes des Parisiens', *Pollution atmosphérique*, (180), pp. 523–537.
- Sapountzaki, K. et al. (2009) *WP 1 : State-of-the-art on vulnerability types Del. 1.1.2: State-of-the-art on vulnerability of territorial systems – The case of forest fire & drought*.
- Schmidt-Thomé, P. et al. (2005) *ESPON Project 1.3.1 The Spatial Effects and Management of Natural and Technological Hazards in Europe*. Available at: https://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Projects/ESPON2006Projects/ThematicProjects/NaturalHazards/fr-1.3.1_revised-full.pdf.
- Selliez, T. and Beaufils, J. (2023) 'Implantation de Virbac à Garons : Michel Kayser "trouve ça méprisant pour les habitants"', *France Bleu Gard Lozère*. Available at: <https://www.francebleu.fr/infos/economie-social/implantation-de-virbac-a-garons-michel-kayser-je-trouve-ca-meprisant-pour-les-habitants-9275139> (Accessed: 27 June 2023).
- Shi, W., Wu, B. and Stein, A. (2015) *Uncertainty modelling and quality control for spatial data*. Edited by CRC Press Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/b19160.
- Société d'encouragement pour l'industrie nationale (1876) *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale - Volume 75 - Tome III*. Paris. Available at: <https://books.google.fr/books?id=rbk6AQAAMAAJ&pg=PA422#v=onepage&q&f=false> (Accessed: 6 January 2023).
- Stuetz, R. and Frechen, F.-B. (2001) 'Odours in Wastewater Treatment Measurement, Modelling and Control', *IWA*, p. 454.
- Sucker, K. et al. (2008) 'Odor frequency and odor annoyance. Part I: Assessment of frequency, intensity and hedonic tone of environmental odors in the field', *International Archives of Occupational and Environmental Health*. doi: 10.1007/s00420-007-0259-z.
- Sucker, K., Both, R. and Winneke, G. (2001) 'Adverse effects of environmental odours : reviewing studies on annoyance responses and symptom reporting', *Water Science and Technology*, 44(9), pp. 43–52.
- Tansel, B. and Inanloo, B. (2019) 'Odor impact zones around landfills: Delineation based on atmospheric conditions and land use characteristics', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 88, pp. 39–47. doi: 10.1016/j.wasman.2019.03.028.
- Tixier, J. et al. (2006) 'Environmental vulnerability assessment in the vicinity of an industrial site in the frame of ARAMIS European project', *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier B.V., 130(3 SPEC. ISS.), pp. 251–264. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.07.020.
- Tran Ba Huy, P. (2010) 'Odorat et histoire sociale', *Communication et langages*, 126(1), pp. 85–107. doi: 10.3406/colan.2000.3046.
- Van der Veen, A. et al. (2009) *State-of-art on vulnerability of socio-economic systems. Del. 1.1.3 of the ENSURE EC FP7. Project: Methodologies to assess vulnerability of structural, territorial and economic systems*. Bruxelles.
- Vigné, P. et al. (2011) 'Traitements géomatiques par carreaux pour l'observation des territoires', *Certu*, p. 59.
- Vogel, C. and O'Brien, K. (2004) 'Vulnerability and global environmental change: rhetoric and reality', *Global Environmental Change and Human Security*, (13), pp. 1–8. Available at:

<https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/39859/IDL-39859.pdf?sequence=1>.

Watts, P. J. and Sweeten, J. M. (1995) 'Toward a better regulatory model for odour', in *Feedlot Waste Management Conference*. Benowa, QLD.

Wells, P. (2013) 'Diversity, scale and sustainability in human systems: Towards a research agenda', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier, 47, pp. 232–235. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.06.011.

Wisner, B. *et al.* (2004) *At Risk: Natural Hazards, People*. Routledge, *The Geographical Journal*. Routledge.

Wu, C. *et al.* (2016) 'Conversion of the chemical concentration of odorous mixtures into odour concentration and odour intensity: A comparison of methods', *Atmospheric Environment*. Pergamon, 127, pp. 283–292. doi: 10.1016/J.ATMOENV.2015.12.051.

Zanin, C. (2006) *Discrétisation*, HyperGeo. Available at: <https://hypergeo.eu/discretisation/> (Accessed: 4 October 2022).

ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE

Dans quelle situation une odeur désagréable vous gêne-t-elle le plus ?

Mon travail de doctorat s'intéresse à la gêne olfactive engendrée par les émissions odorantes d'activités industrielles. L'objectif est de fournir un outil d'aide à la décision claire et objective aux acteurs impliqués pour mesurer et prévoir l'impact olfactif d'une industrie existante ou future sur un territoire. Il s'agit d'un outil d'aménagement du territoire qui doit permettre de choisir de façon pertinente un emplacement pour une nouvelle activité industrielle, ainsi qu'autoriser une meilleure gestion du site industriel avec une localisation plus précise des populations et des activités vulnérables.

La nature du lieu joue un rôle important dans l'évaluation du sentiment de gêne. Un parc, une boulangerie ou un cinéma nourrit en nous certaines attentes odorantes. Percevoir les émissions d'une friteuse dans un de ces lieux peut sembler intolérable alors que ces mêmes odeurs perçues dans un fast-food sont jugées normales voire indispensables à certains (Jaubert, 2010).

Au travers de ce questionnaire, nous recherchons votre avis en fonction de votre vécu personnel. Je vous remercie donc par avance de ne pas le renseigner en groupe, ce qui pourrait fausser votre jugement. Ce questionnaire me permettra d'évaluer quelles sont les activités économiques ou sociales les plus vulnérables face à la présence d'une nuisance odorante.

Le questionnaire est totalement anonyme et ne devrait pas vous prendre plus de 5 minutes.

Un point important : il n'y a pas de mauvaise réponse! Répondez donc avec le maximum de spontanéité, en vous projetant dans les situations proposées. N'hésitez pas non plus à cocher la case "ne sait pas" si la situation évoquée ne vous concerne pas. Les premières questions (sexe, âge, situation) nous servent simplement à caractériser notre échantillon.

Merci d'avance pour votre participation !

Vous êtes...

- ☐ Une femme
- ☐ Un homme

Vous avez...

- ☐ Moins de 20 ans
- ☐ 20 – 30 ans
- ☐ 30 – 40 ans
- ☐ 40 – 50 ans
- ☐ 50 – 60 ans
- ☐ 60 ans et plus

Quelle est votre situation actuelle ? *

- ☐ Agriculteur
- ☐ Artisan, commerçant ou chef d'entreprise
- ☐ Salarié (secteur public ou privé)
- ☐ Étudiant
- ☐ Sans emploi
- ☐ Retraité

Nous n'avons pas forcément la même réaction lorsqu'une mauvaise odeur s'insinue chez nous ou lorsque nous la percevons à l'extérieur de notre domicile...
Évaluez ici votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (par exemple une odeur d'égouts) dans ces deux situations

	Un peu	Moyennement	Très difficilement	Absolument pas	Ne sait pas
À votre domicile	☐	☐	☐	☐	☐
En dehors de chez vous	☐	☐	☐	☐	☐

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égouts) pendant chacune de ces activités

	Un peu	Moyennement	Très difficilement	Absolument pas	Ne sait pas
Activités de loisirs et sportives	☐	☐	☐	☐	☐
Activités culturelles	☐	☐	☐	☐	☐
Activités de santé et de bien-être (médecin, coiffeur, spa, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
Activités commerciales alimentaires	☐	☐	☐	☐	☐
Activités commerciales non alimentaire	☐	☐	☐	☐	☐
Activités de restauration	☐	☐	☐	☐	☐
Activités d'hébergement	☐	☐	☐	☐	☐

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (non liée à *
l'activité que vous pratiquez : par exemple une odeur d'égouts) pendant...

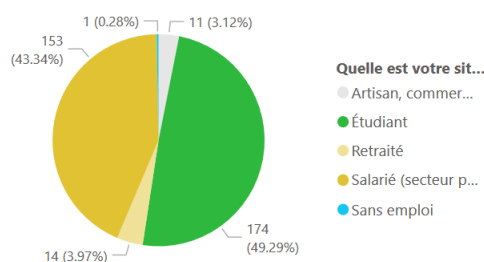
	Un peu	Moyennement	Très difficilement	Absolument pas	Ne sait pas
une activité sportive en salle (fitness, yoga, foot en salle, mur d'escalade, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
une activité de loisirs à l'extérieur (parc d'attraction, zoo, accro branche, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
un 18 trous au club de golf	☐	☐	☐	☐	☐
un séjour à l'hôtel	☐	☐	☐	☐	☐
un séjour au camping	☐	☐	☐	☐	☐
un repas au restaurant	☐	☐	☐	☐	☐
un repas au fast-food	☐	☐	☐	☐	☐
que vous êtes installés à la terrasse d'un bar/café	☐	☐	☐	☐	☐
une course alimentaire (boucherie, boulangerie, poissonnerie, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
vos courses au supermarché	☐	☐	☐	☐	☐
une sortie culturelle (musée, cinéma, médiathèque, théâtre, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
une course dans une boutique ou un magasin spécialisé (habillement, bricolage, bijouterie, électroménager, ameublement, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
une soirée en boîte de nuit	☐	☐	☐	☐	☐
une soirée au casino	☐	☐	☐	☐	☐
vos soins chez le coiffeur ou dans un institut de beauté	☐	☐	☐	☐	☐
une course chez le buraliste	☐	☐	☐	☐	☐
une course à la pharmacie	☐	☐	☐	☐	☐
une visite chez votre garagiste/concessionnaire	☐	☐	☐	☐	☐

Évaluez votre capacité à supporter une odeur désagréable inhabituelle (par exemple une odeur d'égouts) pendant... *

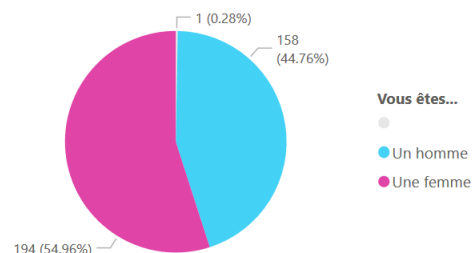
	Un peu	Moyennement	Très difficilement	Absolument pas	Ne sait pas
un séjour à l'hôpital ou dans une clinique	☐	☐	☐	☐	☐
des formalités dans une structure publique (mairie, bureau de poste, commissariat de police, CPAM, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐
une visite dans un établissement pénitencier	☐	☐	☐	☐	☐
que vous déposez votre enfant à l'école	☐	☐	☐	☐	☐
que vous êtes en classe au collège au lycée	☐	☐	☐	☐	☐
votre pratique religieuse dans un lieu de culte	☐	☐	☐	☐	☐

ANNEXE 2 : RESULTATS DU QUESTIONNAIRE

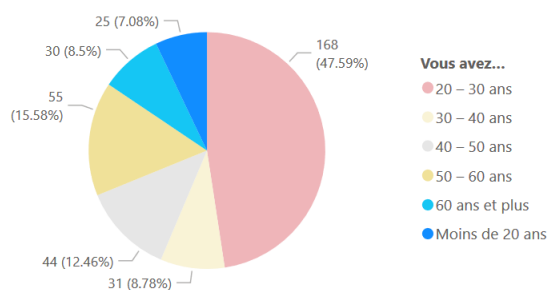
Quelle est votre situation actuelle ?



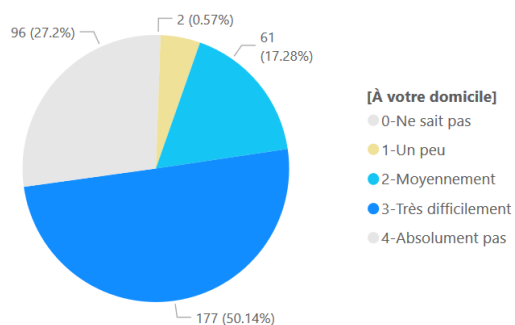
Vous êtes...



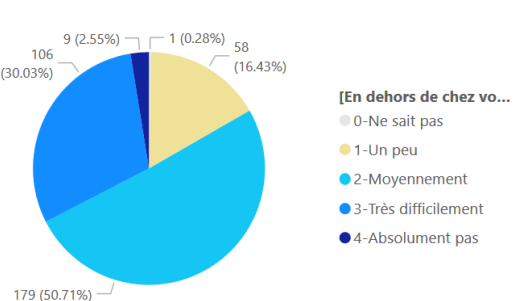
Vous avez...



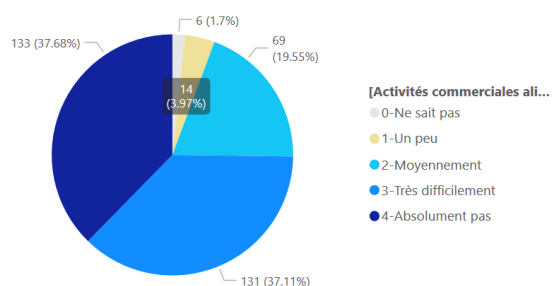
[À votre domicile]



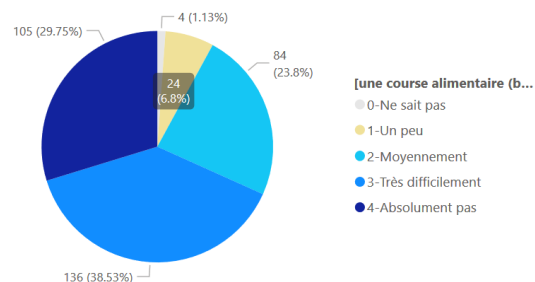
[En dehors de chez vous]



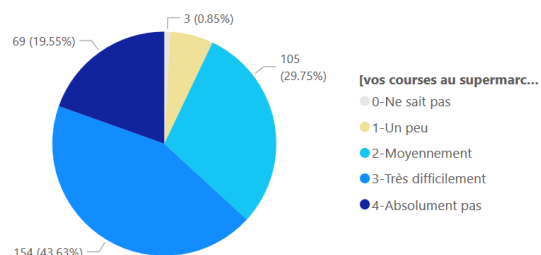
[Activités Commerciales alimentaires]



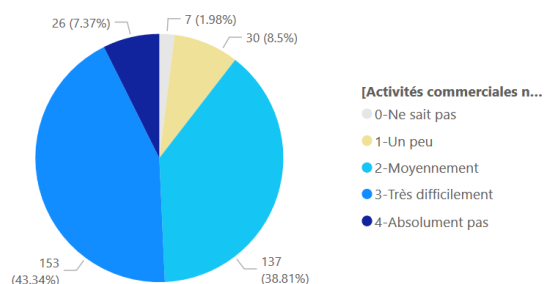
[une course alimentaire (boucherie, boulangerie, poissonnerie, etc.)]



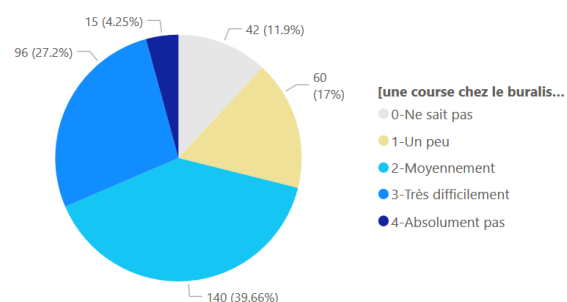
[vos courses au supermarché]



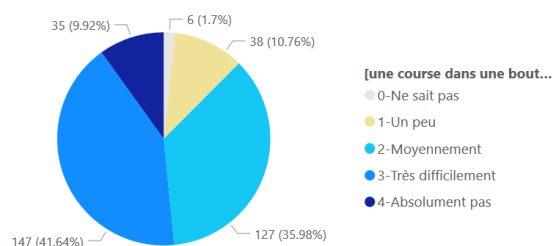
Activités commerciales non alimentaire



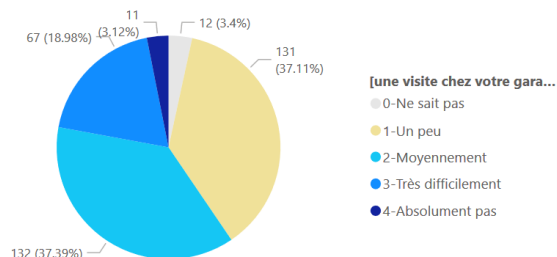
[une course chez le buraliste]



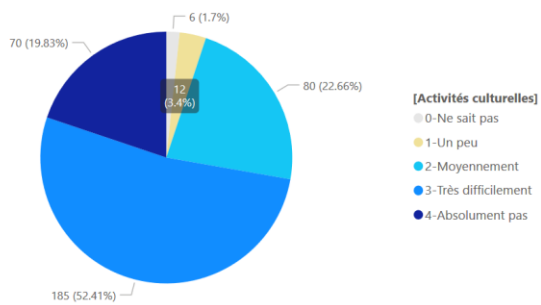
[une course dans une boutique ou un magasin spécialisé (habillement, bricolage, bijouterie, électroménager, ameublement, etc.)]



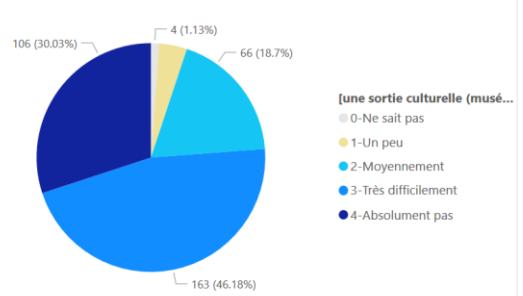
[une visite chez votre garagiste/concessionnaire]



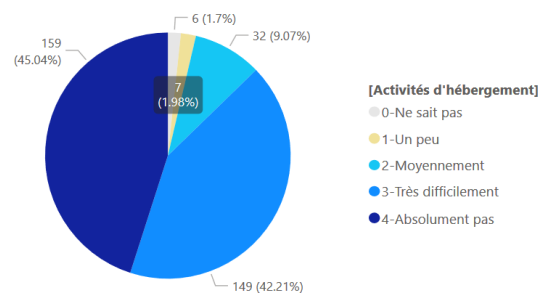
[Activités culturelles]



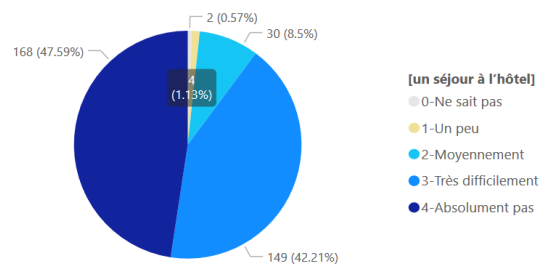
[une sortie culturelle (musée, cinéma, médiathèque, théâtre, etc.)]



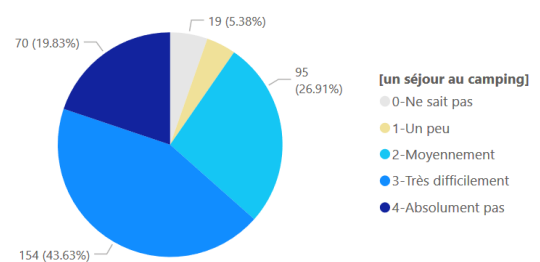
[Activités d'hébergement]



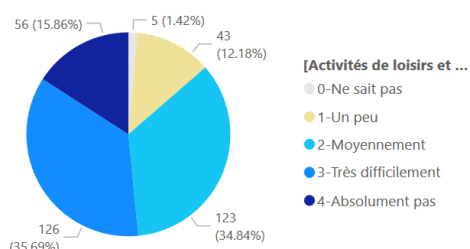
[un séjour à l'hôtel]



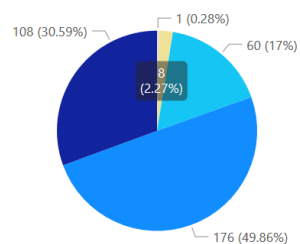
[un séjour au camping]



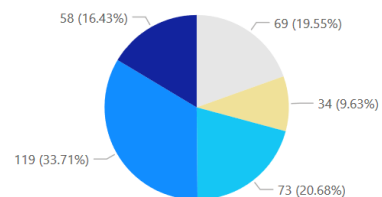
[Activités de loisirs et sportives]



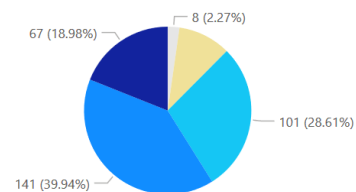
[que vous êtes installés à la terrasse d'un bar/café]



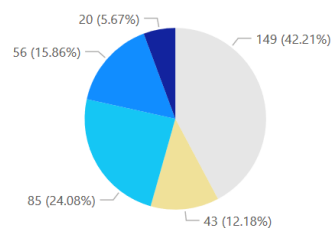
[une soirée en boîte de nuit]



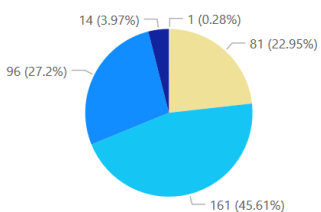
[une activité sportive en salle (fitness, yoga, foot en salle, mur d'escalade, etc.)]



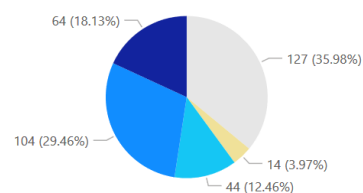
[un 18 trous au club de golf]



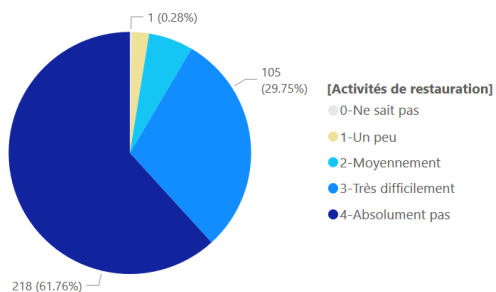
[une activité de loisirs à l'extérieur (parc d'attraction, zoo, accrobranche, etc.)]



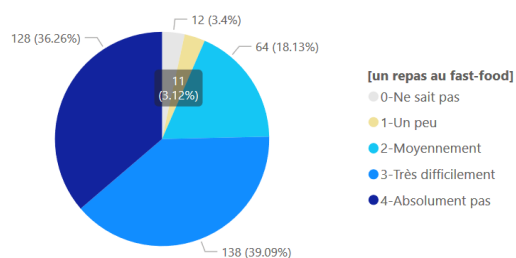
[une soirée au casino]



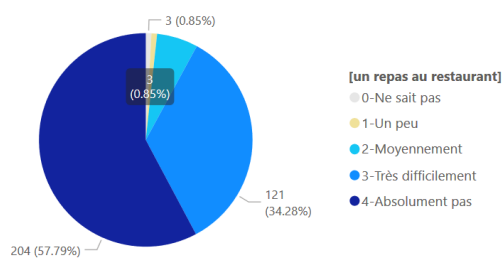
[Activités de restauration]

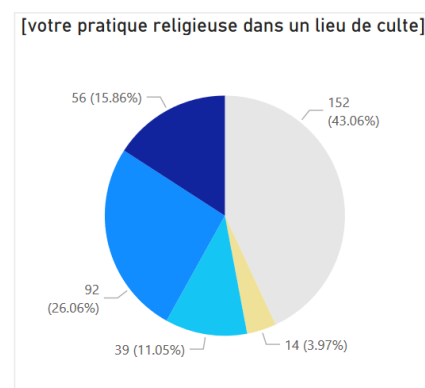
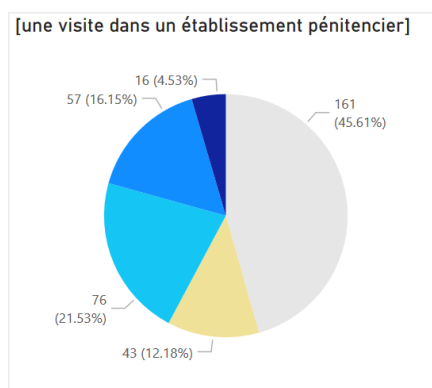
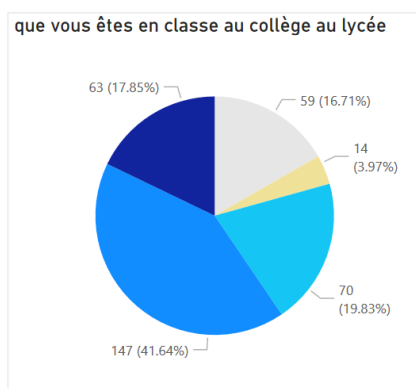
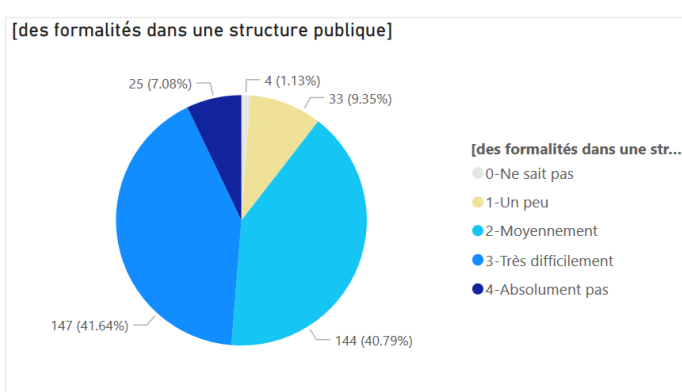
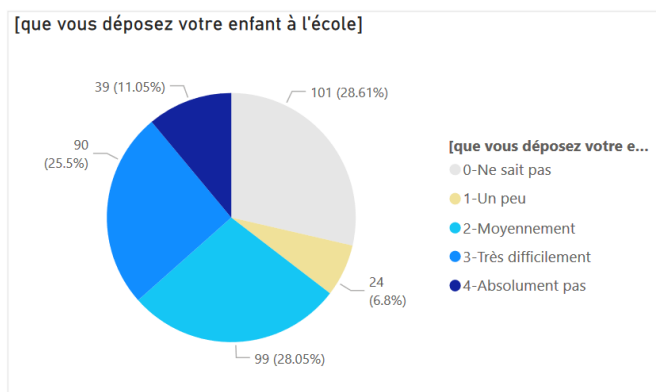
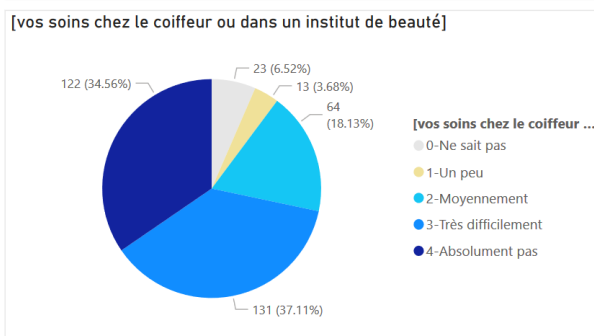
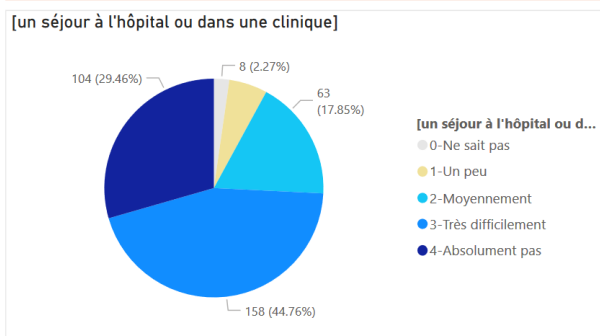
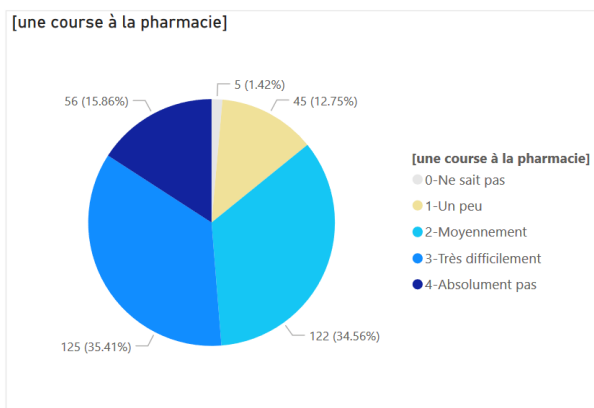
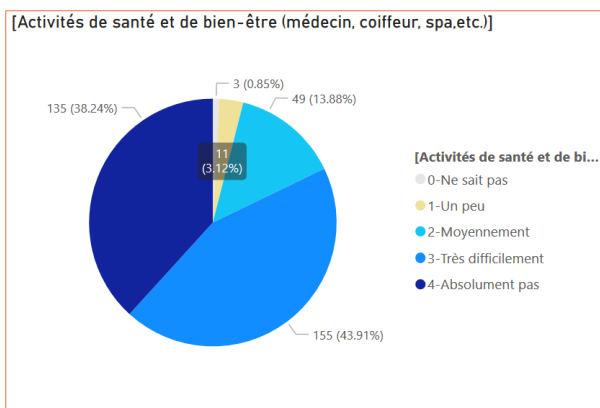


[un repas au fast-food]



[un repas au restaurant]





ANNEXE 3 : CODE R : CALCUL DU RISQUE DE GENE OLFACTIVE

```
library(sf) # Gestion des objets spatiaux (remplace rgdal, rgeos et sp)
library(RPostgreSQL) # Connection/Import/Export depuis une base de donnee
library(tidyverse) # Contient Dplyr, Tidyverse, Tibble
library(leaflet) # Pour ajuster le rendu des cartes

# Fonctions de nettoyage et de calcul
calculateCS <- function(lcsqa){

  lcsqa <- lcsqa %>%
    # Définition du seuil maximal de vulnérabilité
    dplyr::mutate(V_CS=ifelse(PopT2018 > 1000,1000,PopT2018)) %>%
    # Normalisation de 0 à 10
    dplyr::mutate(V_CS=(V_CS*10)/1000)

  return(lcsqa)
}

calculateNuisance <- function(nuisance){
  # Equation permettant de calculer une valeur d'intensité d'après
  # le coefficient évalué à partir de la méthodologie Olentica : ici
  # le coefficient vaut 3
  equation_I <- function(x) {
    y <- 3*log(x)+0.5
    return(y)
  }

  # Equation permettant de calculer une valeur d'acceptabilité d'après
  # le coefficient évalué à partir de la méthodologie Olentica : ici
  # le coefficient vaut 2
  equation_ACC <- function(x) {
    y <- 2*log(x)
    return(y)
  }

  nuisance <- nuisance %>%
    # Transformation des mailles carrées issues d'Aria Impact en points
    sf::st_centroid() %>%
    # Jointure des points aux mailles de 200x200
    sf::st_join(lcsqa, join = st_intersects, left = FALSE) %>%
    # Groupement des points selon l'ID de la maille
    dplyr::group_by(id) %>%
    # Calcul de la concentration moyenne dans chaque maille
    dplyr::summarise(conc=mean(PER_98_0)) %>%
    dplyr::mutate_all(list(~replace_na(.,0))) %>%
    # Si concentration inférieure à 1 alors odeur non détectable
    dplyr::mutate(conc=ifelse(conc<1,0,conc)) %>%
    # Calcul d'une valeur d'intensité et d'acceptabilité de l'odeur dans chaque
    # maille du territoire d'étude
    dplyr::mutate(intensite=equation_I(conc)) %>%
    dplyr::mutate(acceptabilite=equation_ACC(conc)) %>%
    # Normalisation de 0 à 10
    dplyr::mutate(nuis=((intensite*acceptabilite)*10)/200) %>%
    dplyr::mutate(nuis = ifelse(is.finite(nuis), nuis, 0)) %>%
    # On garde seulement le df
    sf::st_drop_geometry()

  return(nuisance)
}
```

```

calculateGO <- function(nuisance){
  car <- car %>%
    # Jointure des valeurs du potentiel de nuisance
    # aux mailles du territoire d'étude
    dplyr::left_join(nuisance, by = "id") %>%
    # NA -> 0 sinon erreur de normalisation
    dplyr::mutate_all(list(~replace_na(.,0))) %>%
    # Calcul du risque de Gène olfactive
    dplyr::mutate(RG=nuis*V_CS) %>%
    dplyr::select(id,PopT2018,conc,intensite,acceptabilite,V_CS,nuis,RG)

  # On convertit les resultats quantitatifs en resultats "qualitatifs"
  car <- car %>%
    dplyr::mutate(c_nuis=ifelse(nuis>0 & nuis<=0.1,1,
                                ifelse(nuis>0.1 & nuis<=0.4,2,
                                ifelse(nuis>0.4 & nuis<=0.9,3,
                                ifelse(nuis>0.9 & nuis<=1.6,4,
                                ifelse(nuis>1.6 & nuis<=2.5,5,
                                ifelse(nuis>2.5 & nuis<=3.6,6,
                                ifelse(nuis>3.6 & nuis<=4.9,7,
                                ifelse(nuis>4.9 & nuis<=6.4,8,
                                ifelse(nuis>6.4 & nuis<=8.1,9,
                                ifelse(nuis>8.1 & nuis<=10,10,0)))))))))) %>%
    dplyr::mutate(c_nuis_v2=ifelse(nuis>0 & nuis<=0.4,1,
                                ifelse(nuis>0.4 & nuis<=1.6,2,
                                ifelse(nuis>1.6 & nuis<=3.6,3,
                                ifelse(nuis>3.6 & nuis<=6.4,4,
                                ifelse(nuis>6.4 & nuis<=10,5,0)))))) %>%
    dplyr::mutate(c_V_CS=ifelse(PopT2018>0 & PopT2018<=100,1,
                                ifelse(PopT2018>100 & PopT2018<=200,2,
                                ifelse(PopT2018>200 & PopT2018<=300,3,
                                ifelse(PopT2018>300 & PopT2018<=400,4,
                                ifelse(PopT2018>400 & PopT2018<=500,5,
                                ifelse(PopT2018>500 & PopT2018<=600,6,
                                ifelse(PopT2018>600 & PopT2018<=700,7,
                                ifelse(PopT2018>700 & PopT2018<=800,8,
                                ifelse(PopT2018>800 & PopT2018<=900,9,
                                ifelse(PopT2018>900,10,0)))))))) %>%
    dplyr::mutate(c_RG=ifelse(RG>0 & RG<=0.1,1,
                                ifelse(RG>0.1 & RG<=0.8,2,
                                ifelse(RG>0.8 & RG<=2.7,3,
                                ifelse(RG>2.7 & RG<=6.4,4,
                                ifelse(RG>6.4 & RG<=12.5,5,
                                ifelse(RG>12.5 & RG<=21.6,6,
                                ifelse(RG>21.6 & RG<=34.3,7,
                                ifelse(RG>34.3 & RG<=51.2,8,
                                ifelse(RG>51.2 & RG<=72.9,9,
                                ifelse(RG>72.9 & RG<=100,10,0)))))))) %>%
    dplyr::mutate(c_RG_v2=ifelse(RG>0 & RG<=0.8,1,
                                ifelse(RG>0.8 & RG<=6.4,2,
                                ifelse(RG>6.4 & RG<=21.6,3,
                                ifelse(RG>21.6 & RG<=51.2,4,
                                ifelse(RG>51.2 & RG<=100,5,0))))))

  return(car)
}

```

```
#####
# RECUPERATION DONNEES DEPUIS BDD #
#####
# Source LCSQA : ftp.lcsqa.org (solution ftp comme FileZilla)(mdp public/public)
# BDD (package RPostgreSQL)
con <- dbConnect(PostgreSQL(), user="postgres", host="localhost",
                  password="postgres", dbname="sig", port="5432")

# ##### BIOPSRINGER #####
# Import des carreaux de 200x200m renseignant la population (LCSQA)
lcsqa <- st_read(con,
                 query = "SELECT DISTINCT * FROM lcsqa.c200m_lcsqa_biospringer_2018")
# Import des résultats de la modélisation de dispersion atmosphérique issus d'ARIA Impact
nuisance <- st_read(con,
                    query = "SELECT DISTINCT * FROM nuisance.pot_nuis_biospringer_v12")

#####
# TRAITEMENT DES DONNEES #
#####
car <- calculateCS(lcsqa)
nuisance <- calculateNuisance(nuisance)

result <- calculateGO()
```

ANNEXE 4 : CODE R : CALCUL DU RISQUE D'IMPACT ECONOMIQUE ET SOCIAL

```
library(sf) # Gestion des objets spatiaux (remplace rgdal, rgeos et sp)
library(RPostgreSQL) # Connection/Import/Export depuis une base de donnee
library(tidyverse) # Contient Dplyr, Tidyverse, Tibble
library(leaflet) # Pour ajuster le rendu des cartes
library(kableExtra)

# FONCTION POUR CREER LES COLONNES MANQUANTES
# Fonction pour ajouter les champs des differents features
# si certains sont absents
osm_col = function(couche){
  if(any(names(couche) == 'amenity')==FALSE) {
    couche <- mutate(couche,amenity=NA)
  }
  if(any(names(couche) == 'leisure')==FALSE) {
    couche <- mutate(couche,leisure=NA)
  }
  if(any(names(couche) == 'shop')==FALSE) {
    couche <- mutate(couche,shop=NA)
  }
  if(any(names(couche) == 'sport')==FALSE) {
    couche <- mutate(couche,sport=NA)
  }
  if(any(names(couche) == 'tourism')==FALSE) {
    couche <- mutate(couche,tourism=NA)
  }
  return(couche)
}

cleanOSM_pts <- function(osm_pts){
  osm_pts <- osm_pts %>%
    osm_col() %>%
    dplyr::mutate(feature=NA) %>%
    dplyr::select(name,amenity,leisure,shop,sport,tourism,historic,feature) %>%
    dplyr::mutate(feature=ifelse(!is.na(osm_pts$shop),shop,
                                ifelse(!is.na(osm_pts$amenity),amenity,
                                ifelse(!is.na(osm_pts$leisure),leisure,
                                ifelse(!is.na(osm_pts$sport),sport,
                                ifelse(!is.na(osm_pts$tourism),tourism,
                                ifelse(!is.na(osm_pts$historic),historic,feature)))))) %>%
    # On verifie quels points sont des duplicats de noeuds de polygones
    # de la couche osm_surf
    dplyr::mutate(n_overlaps = lengths(st_touches(geometry, osm_surf))) %>%
    # On vérifie quels points sont recouverts par des polygones
    dplyr::mutate(n_covered_by = lengths(st_covered_by(geometry, osm_surf))) %>%
    # On joint le fichier CSV contenant les valeurs de frequentation et les classes
    dplyr::left_join(freq, by = "feature") %>%
    dplyr::filter(n_overlaps == 0) %>%
    # On filtre les points à l'intérieur des polygones de type loisirs
    # (i.e aire de jeux dans parc)
    dplyr::filter(!n_covered_by >= 1 | !classe_OSM == 'leisure') %>%
    # On filtre les points de type magasin contenu dans des polygones
    # (i.e boutique dans un mall)
    dplyr::filter(!n_covered_by >= 1 | !classe_OSM == 'shop') %>%
    dplyr::select(-n_overlaps,-n_covered_by) %>%
    dplyr::filter(freq>0) %>%
    sf::st_transform(2154)

  return(osm_pts)
}
```

```

cleanOSM_surf <- function(osm_surf){
  osm_surf <- osm_surf %>%
    osm_col() %>%
    sf::st_transform(2154) %>%
    dplyr::mutate(area=as.numeric(st_area(.))) %>%
    # Problemes de calculs si leisure = NA ou autres pour le calcul
    # de frequentation selon la surface
    dplyr::mutate_at(vars(cols_osm), list(~replace_na(., ''))) %>%
    dplyr::mutate(feature=NA) %>%
    dplyr::select(area,name,amenity,leisure,shop,sport,tourism,historic,feature) %>%
    dplyr::mutate(feature=ifelse(!is.na(osm_surf$shop),shop,
                                ifelse(!is.na(osm_surf$amenity),amenity,
                                ifelse(!is.na(osm_surf$leisure),leisure,
                                ifelse(!is.na(osm_surf$sport),sport,
                                ifelse(!is.na(osm_surf$tourism),tourism,
                                ifelse(!is.na(osm_surf$historic),historic,feature)))))) %>%

    # On retire les piscines privees
    dplyr::filter(leisure != 'swimming_pool') %>%
    # On verifie si le polygone contient un ou plusieurs pts
    dplyr::mutate(n_contains = lengths(st_contains(geometry, osm_pts_clean))) %>%
    # On joint le fichier CSV contenant les valeurs de frequentation et les classes
    dplyr::left_join(freq, by = "feature") %>%
    dplyr::filter(freq>0) %>%
    # On filtre les polygones de la soue classe éducation contenant des points
    # (i.e groupe scolaire contenant les points école)
    dplyr::filter(!n_contains >= 1 | !sous_categorie_OSM == 'Education') %>%
    # On recalcule la frequentation des surfaces selon leur surface occupee
    # dans le carreau
    sf::st_intersection(car) %>%
    dplyr::mutate(area_dec=as.numeric(st_area(.))) %>%
    dplyr::mutate(freq=(freq*area_dec)/area) %>%
    # Pour les parcs on definit la fréquentation selon la surface: 20/m²
    dplyr::mutate(freq=ifelse(leisure=="park",area_dec/20,freq)) %>%
    # Buffer negatif sinon multi compte de la frequentation au niveau de l'id
    # On le désactive car il cause des problèmes d'affichage
    sf::st_buffer(-1) %>%
    dplyr::select(-n_contains) %>%
    dplyr::select(name:freq)

  return(osm_surf)
}

calculatePrejEco <- function(osm){
  osm <- osm %>%
    # Jointure spatiale des infos carreaux aux ERP
    sf::st_join(car, join = st_intersects, left = FALSE) %>%
    # On filtre pour garder les activités commerciales
    dplyr::filter(type=="eco") %>%
    # On groupe par ID et par classe
    # [autres manieres qui marchent: dplyr::group_by_at(vars(one_of(columns))) /
    # columns = c("id","classe") OU columns = names(test)[1:2]]
    dplyr::group_by(id) %>%
    dplyr::summarise(sum_ECO=sum(sensibilite),
                    max_eco=max(v_b10),
                    n_eco=n()) %>% # On somme le total de chaque classe par ID
    dplyr::mutate(V_ECO=(sum_ECO*10)/1000) %>%
    dplyr::mutate(V_ECO = ifelse(V_ECO>10, 10, V_ECO)) %>%
    #On garde seulement le df
    sf::st_drop_geometry()

  return(osm)
}

```

```

calculatePrejSoc <- function(osm){
  osm <- osm %>%
    # Jointure spatiale des infos carreaux aux ERP
    sf::st_join(car, join = st_intersects, left = FALSE) %>%
    # On filtre pour garder les activités commerciales
    dplyr::filter(type=="soc") %>%
    dplyr::group_by(id) %>%
    # On groupe par ID et par classe
    dplyr::summarise(sum_SOC=sum(sensibilite),
                     max_soc=max(v_b10),
                     # On somme le total de chaque classe par ID
                     n_soc=n()) %>%
    dplyr::mutate(V_SOC=(sum_SOC*10)/250) %>%
    dplyr::mutate(V_SOC = ifelse(V_SOC>10, 10, V_SOC)) %>%
    #On garde seulement le df
    sf::st_drop_geometry()

  return(osm)
}

calculateNuisance <- function(nuisance){

  equation_I <- function(x) {
    y <- 3*log(x)+0.5
    return(y)
  }

  equation_ACC <- function(x) {
    y <- 2*log(x)
    return(y)
  }

  nuisance <- nuisance %>%
    sf::st_centroid() %>%
    sf::st_join(car, join = st_intersects, left = FALSE) %>%
    dplyr::group_by(id) %>%
    dplyr::summarise(conc=mean(PER_98_0)) %>%
    dplyr::mutate_all(list(~replace_na(.,0))) %>%
    dplyr::mutate(conc=ifelse(conc<1,0,conc)) %>%
    dplyr::mutate(intensite=equation_I(conc)) %>%
    dplyr::mutate(acceptabilite=equation_ACC(conc)) %>%
    dplyr::mutate(nuis=((intensite*acceptabilite)*10)/200) %>%
    dplyr::mutate(nuis = ifelse(is.finite(nuis), nuis, 0)) %>%
    sf::st_drop_geometry() #On garde seulement le df

  return(nuisance)
}

```

```

calculateGO <- function(nuisance){
  car <- car %>%
    dplyr::left_join(v_eco, by = "id") %>%
    dplyr::left_join(v_soc, by = "id") %>%
    dplyr::left_join(nuisance, by = "id") %>%
    dplyr::mutate(G_ECO=nuis*V_ECO) %>%
    dplyr::mutate(G_SOC=nuis*V_SOC) %>%
    dplyr::mutate(c_nuis=ifelse(nuis>0 & nuis<=0.1,1,
                               ifelse(nuis>0.1 & nuis<=0.4,2,
                               ifelse(nuis>0.4 & nuis<=0.9,3,
                               ifelse(nuis>0.9 & nuis<=1.6,4,
                               ifelse(nuis>1.6 & nuis<=2.5,5,
                               ifelse(nuis>2.5 & nuis<=3.6,6,
                               ifelse(nuis>3.6 & nuis<=4.9,7,
                               ifelse(nuis>4.9 & nuis<=6.4,8,
                               ifelse(nuis>6.4 & nuis<=8.1,9,
                               ifelse(nuis>8.1 & nuis<=10,10,0)))))))))) %>%
    dplyr::mutate(c_nuis_v2=ifelse(nuis>0 & nuis<=0.4,1,
                                   ifelse(nuis>0.4 & nuis<=1.6,2,
                                   ifelse(nuis>1.6 & nuis<=3.6,3,
                                   ifelse(nuis>3.6 & nuis<=6.4,4,
                                   ifelse(nuis>6.4 & nuis<=10,5,0)))))) %>%
    dplyr::mutate(c_V_ECO=ifelse(V_ECO>0 & V_ECO<=1,1,
                                  ifelse(V_ECO>1 & V_ECO<=2,2,
                                  ifelse(V_ECO>2 & V_ECO<=3,3,
                                  ifelse(V_ECO>3 & V_ECO<=4,4,
                                  ifelse(V_ECO>4 & V_ECO<=5,5,
                                  ifelse(V_ECO>5 & V_ECO<=6,6,
                                  ifelse(V_ECO>6 & V_ECO<=7,7,
                                  ifelse(V_ECO>7 & V_ECO<=8,8,
                                  ifelse(V_ECO>8 & V_ECO<=9,9,
                                  ifelse(V_ECO>9 & V_ECO<=10,10,0)))))))) %>%
    dplyr::mutate(c_V_ECO_v2=ifelse(V_ECO>0 & V_ECO<=2,1,
                                    ifelse(V_ECO>2 & V_ECO<=4,2,
                                    ifelse(V_ECO>4 & V_ECO<=6,3,
                                    ifelse(V_ECO>6 & V_ECO<=8,4,
                                    ifelse(V_ECO>8 & V_ECO<=10,5,0)))))) %>%
    dplyr::mutate(c_V_SOC=ifelse(V_SOC>0 & V_SOC<=1,1,
                                  ifelse(V_SOC>1 & V_SOC<=2,2,
                                  ifelse(V_SOC>2 & V_SOC<=3,3,
                                  ifelse(V_SOC>3 & V_SOC<=4,4,
                                  ifelse(V_SOC>4 & V_SOC<=5,5,
                                  ifelse(V_SOC>5 & V_SOC<=6,6,
                                  ifelse(V_SOC>6 & V_SOC<=7,7,
                                  ifelse(V_SOC>7 & V_SOC<=8,8,
                                  ifelse(V_SOC>8 & V_SOC<=9,9,
                                  ifelse(V_SOC>9 & V_SOC<=10,10,0)))))))) %>%
    dplyr::mutate(c_V_SOC_v2=ifelse(V_SOC>0 & V_SOC<=2,1,
                                    ifelse(V_SOC>2 & V_SOC<=4,2,
                                    ifelse(V_SOC>4 & V_SOC<=6,3,
                                    ifelse(V_SOC>6 & V_SOC<=8,4,
                                    ifelse(V_SOC>8 & V_SOC<=10,5,0)))))) %>%

```

```

dplyr::mutate(c_G_ECO=ifelse(G_ECO>0 & G_ECO<=0.1,1,
                             ifelse(G_ECO>0.1 & G_ECO<=0.8,2,
                             ifelse(G_ECO>0.8 & G_ECO<=2.7,3,
                             ifelse(G_ECO>2.7 & G_ECO<=6.4,4,
                             ifelse(G_ECO>6.4 & G_ECO<=12.5,5,
                             ifelse(G_ECO>12.5 & G_ECO<=21.6,6,
                             ifelse(G_ECO>21.6 & G_ECO<=34.3,7,
                             ifelse(G_ECO>34.3 & G_ECO<=51.2,8,
                             ifelse(G_ECO>51.2 & G_ECO<=72.9,9,
                             ifelse(G_ECO>72.9 & G_ECO<=100,10,0)))))))))) %>%
dplyr::mutate(c_G_ECO_v2=ifelse(G_ECO>0 & G_ECO<=0.8,1,
                                ifelse(G_ECO>0.8 & G_ECO<=6.4,2,
                                ifelse(G_ECO>6.4 & G_ECO<=21.6,3,
                                ifelse(G_ECO>21.6 & G_ECO<=51.2,4,
                                ifelse(G_ECO>51.2 & G_ECO<=100,5,0)))))) %>%
dplyr::mutate(c_G_SOC=ifelse(G_SOC>0 & G_SOC<=0.1,1,
                              ifelse(G_SOC>0.1 & G_SOC<=0.8,2,
                              ifelse(G_SOC>0.8 & G_SOC<=2.7,3,
                              ifelse(G_SOC>2.7 & G_SOC<=6.4,4,
                              ifelse(G_SOC>6.4 & G_SOC<=12.5,5,
                              ifelse(G_SOC>12.5 & G_SOC<=21.6,6,
                              ifelse(G_SOC>21.6 & G_SOC<=34.3,7,
                              ifelse(G_SOC>34.3 & G_SOC<=51.2,8,
                              ifelse(G_SOC>51.2 & G_SOC<=72.9,9,
                              ifelse(G_SOC>72.9 & G_SOC<=100,10,0)))))))) %>%
dplyr::mutate(c_G_SOC_v2=ifelse(G_SOC>0 & G_SOC<=0.8,1,
                                ifelse(G_SOC>0.8 & G_SOC<=6.4,2,
                                ifelse(G_SOC>6.4 & G_SOC<=21.6,3,
                                ifelse(G_SOC>21.6 & G_SOC<=51.2,4,
                                ifelse(G_SOC>51.2 & G_SOC<=100,5,0)))))) %>%

dplyr::mutate(act_eco_max=ifelse(max_eco==57,"Concessionnaire/garage",
                                ifelse(max_eco==87,"Bureau de tabac",
                                ifelse(max_eco==135,"Parcours de golf",
                                ifelse(max_eco==148,"Magasin specialise",
                                ifelse(max_eco==200,"Activite sportive exterieure ou de loisir",
                                ifelse(max_eco==203,"Pharmacie",
                                ifelse(max_eco==244,"Club de sport",
                                ifelse(max_eco==247,"Hyper/supermarche",
                                ifelse(max_eco==262,"Camping",
                                ifelse(max_eco==329,"Casino",
                                ifelse(max_eco==347,"Activites culturelles (musee)",
                                ifelse(max_eco==350,"Magasin alimentaire (boulangerie,boucher,etc.)",
                                ifelse(max_eco==358,"Bar-cafe",
                                ifelse(max_eco==409,"Activite de bien-etre (massage, coiffeur,etc.)",
                                ifelse(max_eco==422,"Fast-food",
                                ifelse(max_eco==520,"Activite d'hebergement (hotel)",
                                ifelse(max_eco==618,"Activite de restauration","/")))))))))))) %>%
dplyr::mutate(act_soc_max=ifelse(max_soc==78,"Parc, jardin",
                                 ifelse(max_soc==119,"Prison",
                                 ifelse(max_soc==120,"Infrastructure publique",
                                 ifelse(max_soc==198,"Ecole primaire/maternelle",
                                 ifelse(max_soc==200,"Structure sportive exterieure (terrains de sport)",
                                 ifelse(max_soc==253,"Ecole de musique",
                                 ifelse(max_soc==271,"College/lycee/universite",
                                 ifelse(max_soc==323,"Lieu de culte",
                                 ifelse(max_soc==344,"Etablissement de sante","/"))))))))
}

```

```
#####
# RECUPERATION DONNEES DEPUIS BDD #
#####
# Source LCSQA : ftp.lcsqa.org (solution ftp comme FileZilla)(mdp public/public)
# BDD (package RPostgreSQL)
con <- dbConnect(PostgreSQL(), user="postgres", host="localhost",
                  password="postgres", dbname="sig", port="5432")

# IMPORT DU CSV CONTENANT LES VALEURS DE SENSIBILITE
freq <- read.table("D:/Bill/Mirror/R/data_v5/freq_exterieur.csv", header = TRUE,
                  sep = ";", dec = ",", na.strings="",
                  stringsAsFactors=FALSE)

car <- st_read(con,
               query = "SELECT DISTINCT * FROM lcsqa.c200m_lcsqa_biospringer_2018")

osm_surf <- st_read(con,
                   query = "SELECT DISTINCT * FROM osm.osm_surf_biospringer_full_v6")
osm_pts <- st_read(con,
                  query = "SELECT DISTINCT * FROM osm.osm_pts_biospringer_full_v6")

nuisance <- st_read(con,
                   query = "SELECT DISTINCT * FROM nuisance.pot_nuis_biospringer_v12")

#####
# Préparation des couches OSM #
#####
# CleanOSM_pts en 1er car on a besoin d'avoir le meme SCR pour les deux couches
# au moment de retirer les doublons de points correspondant aux surfaciques
osm_pts_clean <- cleanOSM_pts(osm_pts)
osm_surf_clean <- cleanOSM_surf(osm_surf)

# On assemble les deux df: osmsurf et osmpts
osm <- rbind(osm_surf_clean,osm_pts_clean)

v_eco <- calculatePrejEco(osm)
v_soc <- calculatePrejSoc(osm)

nuisance <- calculateNuisance(nuisance)

result <- calculateGO()
```

ANNEXE 5 : CODE R : IMPORT DES OBJETS OSM

```
library(osmdata)
library(sf)
library(tidyverse)
library(RPostgreSQL)
library(mapview)

# RECUPERATION ET TRAITEMENT DES FEATURES OSM
# Fonctions pour recuperer l'ensembles des donnees OSM utilisees dans le modele.
# Glossaire des donnees disponibles :
# https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map\_Features

con <- dbConnect(PostgreSQL(), user="postgres", host="localhost",
                  password="postgres", dbname="sig", port="5432")

# Import d'une couche spatiale (polygones) servant d'emprise
# pour la requete d'objets OSM
communes <- st_read(con, query = "SELECT DISTINCT * FROM com_biospringer")

getOSM_surf <- function(extent){
  # On reprojete en WGS84 (4326)
  # car on a besoin des coordonnees lat/long pour le bbox
  wgs <- st_transform(extent, 4326)
  # On recupere l'emprise de la couche et on la passe en vecteur
  wgs <- as.vector(st_bbox(wgs))

  arts_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "arts_centre") %>%
    osmdata_sf()

  cinema <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "cinema") %>%
    osmdata_sf()

  bar <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "bar") %>%
    osmdata_sf()

  cafe <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "cafe") %>%
    osmdata_sf()

  fast_food <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "fast_food") %>%
    osmdata_sf()

  ice_cream <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "ice_cream") %>%
    osmdata_sf()
}
```

```

pub <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "pub") %>%
  osmdata_sf()

restaurant <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "restaurant") %>%
  osmdata_sf()

pharmacy <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "pharmacy") %>%
  osmdata_sf()

casino <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "casino") %>%
  osmdata_sf()

nightclub <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "nightclub") %>%
  osmdata_sf()

theatre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "theatre") %>%
  osmdata_sf()

internet_cafe <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "internet_cafe") %>%
  osmdata_sf()

marketplace <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "marketplace") %>%
  osmdata_sf()

college <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "college") %>%
  osmdata_sf()

driving_school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "driving_school") %>%
  osmdata_sf()

kindergarten <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "kindergarten") %>%
  osmdata_sf()

language_school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "language_school") %>%
  osmdata_sf()

library <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "library") %>%
  osmdata_sf()

toy_library <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "toy_library") %>%
  osmdata_sf()

```

```

music_school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "music_school") %>%
  osmdata_sf()

school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "school") %>%
  osmdata_sf()

university <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "university") %>%
  osmdata_sf()

car_rental <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "car_rental") %>%
  osmdata_sf()

car_wash <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "car_wash") %>%
  osmdata_sf()

fuel <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "fuel") %>%
  osmdata_sf()

bank <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "bank") %>%
  osmdata_sf()

clinic <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "clinic") %>%
  osmdata_sf()

hospital <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "hospital") %>%
  osmdata_sf()

pharmacy <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "pharmacy") %>%
  osmdata_sf()

social_facility <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "social_facility") %>%
  osmdata_sf()

conference_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "conference_centre") %>%
  osmdata_sf()

community_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "community_centre") %>%
  osmdata_sf()

events_venue <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "events_venue") %>%
  osmdata_sf()

gambling <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "gambling") %>%
  osmdata_sf()

```

```

social_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "social_centre") %>%
  osmdata_sf()

courthouse <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "courthouse") %>%
  osmdata_sf()

fire_station <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "fire_station") %>%
  osmdata_sf()

police <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "police") %>%
  osmdata_sf()

post_office <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "post_office") %>%
  osmdata_sf()

prison <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "prison") %>%
  osmdata_sf()

townhall <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "townhall") %>%
  osmdata_sf()

grave_yard <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "grave_yard") %>%
  osmdata_sf()

dive_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "dive_centre") %>%
  osmdata_sf()

monastery <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "monastery") %>%
  osmdata_sf()

place_of_worship <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "place_of_worship") %>%
  osmdata_sf()

shop <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("shop") %>%
  osmdata_sf()

leisure <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("leisure") %>%
  osmdata_sf()

sport <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("sport") %>%
  osmdata_sf()

tourism <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("tourism") %>%
  osmdata_sf()

```

```

surf <- c(arts_centre,cinema,bar,cafe,fast_food,ice_cream,pub,restaurant,
          pharmacy,casino,nightclub,theatre,internet_cafe,marketplace,
          college,driving_school,kindergarten,language_school,library,toy_library,
          music_school,school,university,
          car_rental,car_wash,fuel,bank,
          clinic,hospital,pharmacy,social_facility,
          community_centre,conference_centre,events_venue,gambling,social_centre,
          courthouse,fire_station,police,post_office,prison,townhall,grave_yard,
          dive_centre,monastery,place_of_worship,
          shop,leisure,sport,tourism)
return(surf$osm_polygons)
}
getOSM_pts <- function(extent){
  # On reprojete en WGS84 (4326)
  # car on a besoin des coordonnees lat/long pour le bbox
  wgs <- st_transform(extent, 4326)
  # On recupere l'emprise de la couche et on la passe en vecteur
  wgs <- as.vector(st_bbox(wgs))

  cinema <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "cinema") %>%
    osmdata_sf()

  bar <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "bar") %>%
    osmdata_sf()

  cafe <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "cafe") %>%
    osmdata_sf()

  fast_food <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "fast_food") %>%
    osmdata_sf()

  ice_cream <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "ice_cream") %>%
    osmdata_sf()

  pub <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "pub") %>%
    osmdata_sf()

  restaurant <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "restaurant") %>%
    osmdata_sf()

  pharmacy <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "pharmacy") %>%
    osmdata_sf()

  casino <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "casino") %>%
    osmdata_sf()

  nightclub <- opq(bbox = wgs) %>%
    add_osm_feature("amenity", "nightclub") %>%
    osmdata_sf()

```

```

theatre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "theatre") %>%
  osmdata_sf()

internet_cafe <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "internet_cafe") %>%
  osmdata_sf()

college <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "college") %>%
  osmdata_sf()

driving_school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "driving_school") %>%
  osmdata_sf()

kindergarten <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "kindergarten") %>%
  osmdata_sf()

language_school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "language_school") %>%
  osmdata_sf()

library <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "library") %>%
  osmdata_sf()

toy_library <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "toy_library") %>%
  osmdata_sf()

music_school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "music_school") %>%
  osmdata_sf()

school <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "school") %>%
  osmdata_sf()

university <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "university") %>%
  osmdata_sf()

car_rental <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "car_rental") %>%
  osmdata_sf()

car_wash <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "car_wash") %>%
  osmdata_sf()

fuel <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "fuel") %>%
  osmdata_sf()

bank <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "bank") %>%
  osmdata_sf()

```

```

clinic <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "clinic") %>%
  osmdata_sf()

hospital <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "hospital") %>%
  osmdata_sf()

pharmacy <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "pharmacy") %>%
  osmdata_sf()

social_facility <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "social_facility") %>%
  osmdata_sf()

conference_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "conference_centre") %>%
  osmdata_sf()

community_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "community_centre") %>%
  osmdata_sf()

events_venue <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "events_venue") %>%
  osmdata_sf()

gambling <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "gambling") %>%
  osmdata_sf()

social_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "social_centre") %>%
  osmdata_sf()

courthouse <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "courthouse") %>%
  osmdata_sf()

fire_station <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "fire_station") %>%
  osmdata_sf()

police <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "police") %>%
  osmdata_sf()

post_office <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "post_office") %>%
  osmdata_sf()

prison <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "prison") %>%
  osmdata_sf()

townhall <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "townhall") %>%
  osmdata_sf()

```

```

grave_yard <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "grave_yard") %>%
  osmdata_sf()

dive_centre <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "dive_centre") %>%
  osmdata_sf()

monastery <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "monastery") %>%
  osmdata_sf()

place_of_worship <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("amenity", "place_of_worship") %>%
  osmdata_sf()

shop <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("shop") %>%
  osmdata_sf()

leisure <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("leisure") %>%
  osmdata_sf()

sport <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("sport") %>%
  osmdata_sf()

tourism <- opq(bbox = wgs) %>%
  add_osm_feature("tourism") %>%
  osmdata_sf()

pts <- c(cinema,bar,cafe,fast_food,ice_cream,pub,restaurant,
  pharmacy,casino,nightclub,theatre,internet_cafe,
  college,driving_school,kindergarten,language_school,library,toy_library,
  music_school,school,university,
  car_rental,car_wash,fuel,bank,
  clinic,hospital,pharmacy,social_facility,
  community_centre,conference_centre,events_venue,gambling,social_centre,
  courthouse,fire_station,police,post_office,prison,townhall,grave_yard,
  dive_centre,monastery,place_of_worship,
  shop,leisure,sport,tourism)

  return(pts$osm_points)
}

osm_surf <- getOSM_surf(communes)
osm_pts <- getOSM_pts(communes)

```