



Crématorium à Nîmes (30)

Evaluation quantitative des risques sanitaires liés aux rejets atmosphériques

Pour le compte de :
ESKA Conseil



• Intervenants

CLIENT		ESKA Conseil	
Coordonnées		8. rue de la Croix Chaudron - 51 500 SAINT-LÉONARD - France	
Contacts		Kévin GUILLIER	
		E-mail : kguillier@eska-conseil.fr	
		Mobile : +33 6 58 91 39 17	
PRESTATAIRE		NUMTECH	
Coordonnées		5 rue des planchettes – 63100 Clermont Ferrand – 06 72 11 52 38	
Contacts		Emmanuelle Duthier	
		Chef de projet Qualité de l’Air NUMTECH	
		E-mail : emmanuelle.duthier@numtech.fr	
		Mobile : +33 6 49 65 15 34	
VERSION	DATE	MODIFICATIONS	
1.0	12/08/2025	Version initiale	
REDACTION		VERIFICATION	
Alisson GODART		Emmanuelle DUTHIER	
Ingénieur en Evaluation des risques sanitaires		Cheffe de Projet Qualité de l’Air	
			

● Résumé

NUMTECH est sollicitée par ESKA CONSEIL afin d'évaluer les risques sanitaires relatif à un projet de modification des rejets du crématorium à Nîmes (30).

L'évaluation des risques sanitaires a été réalisée en 4 étapes selon la démarche préconisée par l'Institut de l'environnement et des risques industriels (INERIS). Les effets aigus (pour une durée d'exposition de 1 heure à 2 semaines) et chroniques (pour une durée d'exposition d'au moins 1 an) susceptibles d'être induits suite à une exposition respiratoire et/ou orale à une série de substances ont été étudiés. Les niveaux d'expositions des populations riveraines au crématorium et les risques sanitaires ont été estimés via une étude de dispersion.

Les valeurs toxicologiques de référence ont été choisies en suivant les recommandations de la note méthodologique de la direction générale de la santé (DGS) d'octobre 2014.

Comme indiqué dans le guide de l'Ineris, la caractérisation des risques a porté uniquement sur les émissions du site. Ainsi, l'exposition actuelle des populations, appelée aussi « exposition ambiante » ou « niveau de fond ambiant » n'a pas été considérée dans l'étape de caractérisation des risques.

Les données relatives au niveau de fond dans l'air ont été obtenues via une recherche d'informations sur le site internet d'ATMO Occitanie. Pour ces substances, les émissions de l'installation contribuent faiblement aux niveaux agrégés (niveau de fond + projet).

Concernant les données de fond dans l'alimentation, pour les substances pour lesquelles ces données sont disponibles, les émissions du projet d'installation devraient peu contribuer aux niveaux agrégés, quelle que soit la substance considérée.

D'après les résultats obtenus, aucun dépassement de seuil sanitaire ($QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$) n'est observé lors d'expositions aiguës et chroniques par voie respiratoire et/ou digestive, pour l'ensemble des substances étudiées.

Les sommes de risques effectuées pour les effets chroniques non cancérogènes et les deux voies d'exposition (respiratoire et orale) conduisent à l'obtention d'un risque inférieur au seuil sanitaire ($QD < 1$). D'après ces résultats, la population n'est pas susceptible de développer les effets sanitaires relatifs aux substances émises par l'installation étudiée et considérées dans l'étude.

Le document produit par NUMTECH doit être diffusé dans son intégralité de façon à ce que les lecteurs disposent de l'ensemble des éléments ayant servi à établir les résultats. La responsabilité de NUMTECH ne pourra pas être engagée si les informations qui lui ont été fournies au cours de l'étude par le commanditaire sont erronées ou parcellaires ou si le rapport et ses annexes sont présentés de façon partielle ou utilisés à d'autres fins que celles prévues dans l'introduction de cette étude.

● Table des matières

1	Introduction	8
1.1	Contexte et objectifs de l'étude	8
1.2	Cadre de l'évaluation quantitative des risques sanitaires (ERS)	8
1.2.1	Définition de l'ERS et références méthodologiques	8
1.2.2	Champ d'intervention	8
1.2.3	Structure du rapport	8
1.2.4	Principes conducteurs à la réalisation de l'étude	9
2	Caractérisation du site et de son environnement	11
2.1	Présentation de l'installation et de son environnement proche	11
2.2	Détermination de la taille du domaine d'étude	11
2.3	Caractérisation des populations et des usages de l'environnement	12
2.3.1	Populations fréquentant le domaine d'étude	12
2.3.2	Usages de l'environnement	14
2.4	Présence d'activités industrielles	16
2.5	Inventaire et choix des substances émises	17
3	Identification des dangers	19
3.1	Méthode	19
3.2	Etude des dangers	19
4	Inventaire et choix des valeurs toxicologiques de référence	21
4.1	Définition	21
4.2	Sources de données	21
4.2.1	Cas particulier du benzène	23
4.2.2	Cas particulier du mercure	23
4.3	Choix des valeurs toxicologiques de référence	24
5	Évaluation des expositions	26
5.1	Exposition par inhalation	26
5.2	Exposition par ingestion	26
5.2.1	Médias d'exposition orale exclus	27
5.3	Exposition par voie cutanée	27
5.4	Schéma conceptuel d'exposition	28
5.5	Calcul des doses d'exposition par inhalation	28
5.5.1	Paramètres d'exposition retenus	29
5.5.2	Estimation des concentrations en substances dans l'air (Ci)	31
5.5.3	Résultats de l'étude de dispersion	31
5.5.4	Concentration de fond dans l'air	35

5.6	Calcul des doses d'exposition par ingestion	36
5.6.1	Définition du scénario d'exposition	38
5.6.2	Paramètres du scénario d'exposition	40
5.6.3	Estimation des doses journalières d'exposition	40
5.7	Exposition cumulée	42
6	Caractérisation des risques sanitaires	43
6.1	Méthode	43
6.1.1	Quotients de danger pour les substances à effets à seuil de dose	43
6.1.2	Excès de risque individuel pour les substances à effets sans seuil de dose	43
6.2	Exposition par voie respiratoire	45
6.2.1	Exposition aiguë	45
6.2.2	Expositions chroniques	46
6.3	Résultats pour la voie digestive	47
6.4	Risques cumulés	47
7	incertitudes	49
7.1	Incertainitudes ayant pour effet de sous-estimer les risques	49
7.1.1	Sélection des substances retenues dans l'étude	49
7.2	Incertainitudes ayant pour effet de surestimer les risques	49
7.2.1	Mélanges de substances	49
7.3	Incertainitudes dont l'effet sur les risques est inconnu (ou variable)	50
7.3.1	Taux d'exposition journalier	50
7.3.2	Fréquence d'exposition annuelle pour des expositions chroniques	50
7.3.3	Estimation des concentrations intérieures et extérieures (Ci)	50
7.3.4	Incertainitude associée au choix des VTR	51
7.3.5	Variables humaines d'exposition	52
7.3.6	Modélisation de la dispersion atmosphérique	52
7.3.7	Modélisation des transferts dans la chaîne alimentaire	53
7.3.8	Incertainitude intrinsèque aux VTR	54
8	Conclusion	55
8.1	Exposition respiratoire	55
8.1.1	Exposition aiguë	55
8.1.2	Exposition chronique et effets à seuil de dose	55
8.1.3	Exposition chronique et effets sans seuil de dose (cancérogènes)	55
8.2	Exposition orale	55
8.3	Risques cumulés	56
Annexe 1.	Dynamique du mercure après combustion (HHRAP)	57
Annexe 2.	La modélisation de la dispersion atmosphérique	58
Annexe 3.	Fiches toxicologiques des substances étudiées dans l'ERS	68
Annexe 4.	Récapitulatif des données et des résultats obtenus avec MODULERS	69

● Figures

Figure 1 – Domaine d'étude pris en compte	11
Figure 2 - Localisation des sites considérés comme sensibles dans la zone d'étude	14
Figure 3 – Caractérisation de l'usage des sols	15
Figure 4 – Zone de culture (source : RPG 2022)	16
Figure 5 - Logigramme pour le choix des VTR (note n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014)	22
Figure 6 - Schéma conceptuel d'exposition considéré dans le cadre de cette étude	28
Figure 7 – Variabilité spatiale de l'exposition moyenne annuelle (cas des oxydes d'azote)	32
Figure 8 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale horaire (cas des oxydes d'azote)	33
Figure 9 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale journalière (cas des oxydes d'azote)	34
Figure 10. Modèle d'exposition selon l'outil MODULERS	38
Figure 11. Variabilité spatiale des dépôts atmosphériques en dioxines-furannes et localisation du site potentiellement exploité pour la culture d'aliments le plus impacté (étoile rouge)	39
Figure 12. Variabilité temporelle des DJE estimées pour les dioxines-furannes induites pas le projet	41
Figure 13 - Comportement du mercure dans l'air et dans la chaine alimentaire après un procédé de combustion (HHRAP)	57

● Tableaux

Tableau 1 – Établissements d'accueil des enfants/adolescents	12
Tableau 2 – Établissements sanitaires et sociaux.....	13
Tableau 3 – Sites de pratique d'une activité sportive extérieure.....	14
Tableau 4 – Liste des ICPE recensées sur le domaine d'étude (source : Géo risques).....	16
Tableau 5 – Substances réglementées et VLE associées. exprimées sur gaz sec à 11% d'O ₂	17
Tableau 6 - Substances inventoriées. voie et durée d'exposition et systèmes cibles associés	20
Tableau 7 - Présence ou absence de VTR pour les substances recensées à l'émission du projet de crématorium.....	23
Tableau 8 - VTR aiguës pour la voie respiratoire.....	24
Tableau 9 - VTR chronique non cancérigène pour la voie respiratoire.....	25
Tableau 10 - VTR chronique cancérigène pour la voie respiratoire	25
Tableau 11 - VTR chronique non cancérigène pour la voie digestive	25
Tableau 12. Paramètres retenus pour les deux scénarios d'exposition	30
Tableau 13. Concentrations atmosphériques maximales (Ci. µg/m ³) obtenues sur le domaine d'étude pour les substances retenues dans l'ERS.....	35
Tableau 14. Comparaison entre les niveaux de fonds et l'impact attendu du projet dans le domaine d'étude (µg/m ³)	36
Tableau 15. Dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion	40
Tableau 16. DJE cumulées maximales obtenues après 30 ans de fonctionnement (mg/kgPC/j)	41
Tableau 17. DJE moyennes dans l'alimentation française pour les substances étudiées dans l'ERS (source : EAT2)	42
Tableau 18. Quotients de danger et comparaison aux VTR ou valeurs guide pour une exposition aiguë	45
Tableau 19. Quotients de danger obtenus pour une exposition chronique dans le domaine d'étude.....	46
Tableau 20. Détermination des ERI associés au benzène.....	46
Tableau 21. Quotients de danger (QD) obtenus pour la voie digestive.....	47
Tableau 22. Sommes de QD chroniques selon la voie d'exposition	48
Tableau 23 – Complexité du site et de son environnement	53

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte et objectifs de l'étude

NUMTECH est sollicitée par ESKA CONSEIL afin d'évaluer les risques sanitaires relatif à la création d'une nouvelle ligne de filtration du crématorium à Nîmes (30).

1.2 Cadre de l'évaluation quantitative des risques sanitaires (ERS)

1.2.1 DEFINITION DE L'ERS ET REFERENCES METHODOLOGIQUES

L'évaluation des risques sanitaires est une démarche structurée élaborée par le national research council (NRC) (l'Académie des sciences nord-américaine) (NRC. 1983)¹ qui la décrit comme « ...l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou des situations dangereuses ». Cette démarche suit une méthode définie permettant de fournir aux gestionnaires des estimations des risques pour la santé, en l'état actuel des connaissances scientifiques. Dans le cadre des installations classées, elle s'applique de façon itérative afin, si possible, de quantifier le risque potentiel attendu autour du site.

Concernant la méthodologie à suivre pour la réalisation d'une ERS, le guide méthodologique de l'Ineris a été considéré (Ineris. 2021)², car il fait référence en France. Dans le cas particulier d'un crématorium, un second guide méthodologique de l'ADEME paru en 2006 a également été utilisé (ADEME. 2006)³.

1.2.2 CHAMP D'INTERVENTION

Dans la présente ERS, seul le risque sur la santé des populations riveraines au projet d'installation est étudié. Les travailleurs du site lui-même, dans le cadre de leur poste de travail, n'entrent pas dans la présente évaluation mais sont soumis à la législation du travail (Cf. Notice Hygiène et Sécurité du Dossier de demande d'autorisation d'exploiter). De même, l'étude n'évalue pas :

- les risques écotoxiques (impact sur la faune et la flore),
- les impacts liés aux odeurs,
- les risques liés aux agents physiques et microbiologiques,
- les risques liés aux sources d'émission non atmosphériques,
- les risques liés aux rejets diffus.

1.2.3 STRUCTURE DU RAPPORT

La démarche d'évaluation des risques sanitaires s'appuie sur les 4 étapes suivantes :

¹ National Research Council (NRC), 1983, Risk assessment in the federal government. Managing the process. Washington DC, National Academy of Science, 191 p.

² Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées Deuxième édition – Septembre 2021.

³ ADEME, 2006, Caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentatif du parc français des crématoriums en vue d'une évaluation globale du risque sanitaire



- Etape 1 : l'identification des dangers qui consiste en l'identification et la description les plus exhaustives possible des substances capables de générer un effet sanitaire indésirable, ainsi que la description de cet effet sanitaire,
- Etape 2 : l'évaluation de la relation dose-réponse qui a pour but d'estimer le lien entre la dose d'une substance mise en contact avec l'organisme et l'incidence de l'apparition d'un effet toxique jugé critique pour l'organisme. Cette étape se caractérise par le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour chaque toxique étudié,
- Etape 3 : l'évaluation des expositions qui permet de juger du niveau de contamination des milieux, de caractériser les populations potentiellement exposées et de quantifier l'exposition de celles-ci,
- Etape 4 : la caractérisation du risque qui est une étape de synthèse des étapes précédentes permettant de quantifier le risque encouru pour la ou les population(s) exposées.

Cette étape est suivie d'un récapitulatif des hypothèses et des incertitudes liées à la démarche d'évaluation des risques sanitaires.

Comme le recommande l'Ineris, une étape préalable de « Caractérisation de l'installation et de son environnement » a été réalisée. Dans le cadre de cette étude, elle permet d'identifier les populations potentiellement exposées, ainsi que les usages de l'environnement potentiellement impactés par le crématorium.

1.2.4 PRINCIPES CONDUCTEURS A LA REALISATION DE L'ETUDE

Plusieurs grands principes sont respectés dans l'ERS. conformément aux recommandations de l'InVS. de l'Ineris et de la circulaire du 17 février 1998 relative à l'application de l'article 19 de la loi LAURE⁴. complétant le contenu des études d'impact des projets d'aménagement :

- la transparence : les sources de données et les méthodes utilisées, les choix réalisés et les incertitudes relevées sont explicités et référencés,
- la cohérence : les meilleures connaissances scientifiques du moment (cohérence externe) sont utilisées de même que des règles systématiques pour recueillir et traiter l'information, choisir les méthodes et les hypothèses de calcul (cohérence interne),
- la spécificité : l'étude s'appuie sur les connaissances scientifiques et les données propres au site ou qui s'en rapprochent le plus,
- la prudence scientifique : en l'absence de donnée reconnue, sont prises en compte des hypothèses raisonnablement majorantes,
- la proportionnalité : le degré d'approfondissement doit être cohérent avec l'importance des incidences prévisibles de la pollution.

⁴ Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie

Cette étude s'appuie sur les méthodes et les connaissances disponibles au moment de la rédaction du rapport. Sa validité est donc limitée par l'évolution des outils et des connaissances des sciences utilisées dans l'évaluation des risques sanitaires.

Le document produit par NUMTECH doit être diffusé dans son intégralité de façon à ce que les lecteurs disposent de l'ensemble des éléments ayant servi à établir les résultats. La responsabilité de NUMTECH ne pourra pas être engagée si les informations qui lui ont été fournies au cours de l'étude par le commanditaire sont erronées ou parcellaires ou si le rapport et ses annexes sont présentés de façon partielle ou utilisés à d'autres fins que celles prévues dans l'introduction de cette étude.



2 CARACTERISATION DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT

2.1 Présentation de l'installation et de son environnement proche

Le site d'implantation du crématorium est localisé à l'est de l'agglomération de Nîmes, dans le Gard (30). Les émissions à l'atmosphère se feront par deux cheminées contre une seule actuellement.



Figure 1 – Domaine d'étude pris en compte

2.2 Détermination de la taille du domaine d'étude

Le domaine d'étude retenu est un rectangle de 4 kilomètres de côté centré sur le crématorium. Cette étendue a été fixée par l'intermédiaire de l'étude de dispersion en considérant les émissions en oxydes d'azote (NO_x) émis par le crématorium. En effet, il a été vérifié que le domaine d'étude comprend bien les zones d'exposition correspondantes au moins à 1/10 de la concentration maximale estimée à proximité du site. Cette méthode d'estimation de la taille du domaine d'étude est couramment utilisée pour les évaluations des risques sanitaires.

2.3 Caractérisation des populations et des usages de l'environnement

2.3.1 POPULATIONS FREQUENTANT LE DOMAINE D'ETUDE

Dans la zone d'étude considérée dans le cadre de l'ERS, des sites appelés « sites sensibles » ont été localisés. Ces sites correspondent à des lieux de vie où des personnes potentiellement plus sensibles à la pollution atmosphérique que la population générale, passent un temps significatif. Ces populations sensibles sont les enfants, les personnes âgées et hospitalisées. Étant donné que les personnes exerçant une activité physique ont une ventilation pulmonaire augmentée, cette population a également été considérée

Les « sites sensibles » recensés sont donc les suivants :

- les structures d'accueil des enfants en bas-âge : crèches, haltes garderies,
- les établissements scolaires : écoles maternelles et primaires, collèges,
- les structures d'accueil des personnes âgées et/ou handicapées : maisons de retraite, foyers pour personnes âgées,
- les établissements hospitaliers : hôpitaux, cliniques,
- les lieux dédiés à la pratique du sport.

Les paragraphes suivants précisent les données collectées relatives aux sites sensibles.

2.3.1.1 Enfants / adolescents

Les structures d'accueil des enfants de moins de 3 ans prises en compte sont les crèches et les haltes garderies. D'après les informations recueillies⁵, il existe 4 structures d'accueil d'enfants en bas âge dans le domaine d'étude.

Les structures d'accueil des enfants entre 3 et 16 ans recensés sont les établissements scolaires (écoles maternelles, écoles primaires et collèges). La liste des établissements scolaires est issue de la base de données Etalab 2023 correspondante aux Établissements des premier et second degrés sous tutelle du ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Cette base de données est disponible en libre accès en « Open Data »⁶. D'après les données collectées, le domaine d'étude compte 19 établissements scolaires. Ces sites sont précisés dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Établissements d'accueil des enfants/adolescents

Sites sensibles	Adresse	Distance au site
Crèche la Mosaïque	4 Av. de Lattre de Tassigny. 30000 NIMES	1.2 km
Les Petits Chaperons Rouges	115 Rte d'Uzès. 30000 NIMES	2.1 km
Micro crèche le bonheur des P'tits Crocos	168 All. des Amazones. 30000 NIMES	1.6 km
Crèche l'Autre Maison	52 Rue Salomon Reinach. 30000 NIMES	2.1 km
Collège Jules Vallès	175 avenue ND de Santa Cruz – 30000 NIMES	1.4 km
Collège Romain Rolland	8 avenue de Lattre de Tassigny – 30002 NIMES	930 m
Collège Les Oliviers	Rue des Amoureux – 30001 NIMES	1.7 km

⁵ <https://www.journaldesfemmes.fr/maman/creches>

⁶ www.data.gouv.fr

Lycée Philippe Lamour	36 rue de l'Occitanie – 30001 NIMES	1.8 km
Ecole élémentaire Gazelle	140 route d'Uzes	2.0 km
Ecole primaire Notre Dame	Impasse Caporal Alliot – 30000 NIMES	1.3 km
Ecole maternelle Albert Camus	29 chemin du mas de Teste 30000 NIMES	1.4 km
Ecole élémentaire Albert Camus	20 rue Agrippa d'Aubigne – 30000 NIMES	1.3 km
Ecole primaire Pont de Justice	991 rue André Marques – 30000 NIMES	600 m
Ecole primaire Jean Moulin	13 rue Jean Moulin – 30000 NIMES	800 m
Ecole primaires Georges Bruguier	Avenue de Lattre de Tassigny – 30000 NIMES	1.0 km
Ecole primaire Grézan	2 rue E. Reynaud – 30000 NIMES	1.9 km
Ecole primaire Jean-Jacques Rousseau	7 rue Jean-Jacques Rousseau – 30000 NIMES	1.7 km
Ecole primaire André Chamson	Avenue Fanfonne Guillierme – 30000 NIMES	2.1 km
Ecole maternelle Danielle Casanova	5 rue Rabelais – 30000 NIMES	1.2 km
Ecole maternelle Jean Zay	459 avenue Bir Hakeim – 3000 NIMES	1.1 km
Ecole maternelle Léo Rousson	327 rue Robert Schuman – 3000 NIMES	1.3 km
Ecole maternelle Jean Carrière	15 rue Maurice Fayet – 30000 NIMES	2.5 km
MFR d'éducation et d'orientation de marguerittes	RD 6068 30320 MARGUERITTES	2.7 km

2.3.1.2 Personnes fréquentant les établissements sanitaires et sociaux

D'après les informations disponibles dans le FINESS⁷, il existe deux établissements sanitaires dans le domaine d'étude. Ils sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Établissements sanitaires et sociaux

Sites sensibles	Adresse	Distance au site
Maison d'accueil spécialisée d'Alesti	Chemin du Mas d'Alesti – 30900 NIMES	1.9 km
Clinique Les Sophoras	Route des Sophoras – 30000 NIMES	1.9 km

2.3.1.3 Personnes exerçant une activité physique

Le recensement des sites utilisés pour la pratique sportive (hors gymnase), ainsi que leur localisation, est déduit de la base de données du Ministère des sports et des jeux olympiques et paralympiques⁸. Cette base de données permet d'identifier plusieurs sites de pratique de sport dans la zone d'étude. Le détail de ces sites est précisé dans le Tableau 3.

⁷ Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux

⁸ Data ES - Base de données — Data ES (sports.gouv.fr)

Tableau 3 – Sites de pratique d'une activité sportive extérieure

Sites sensibles	Adresse	Distance au site
Stade Jean Michel	177 route d'Avignon – 30900 NIMES	630 m
Complexe sportif Marcel Cerdan	3 Rue Frédéric Mistral - 30900 NIMES	1.6 km
Complexe sportif Maurice Pelatan	6 Rue Félix Éboué - 30000 NIMES	860 m
Stade Nicolas-Kaufmann	Chemin du Pont des Isles – 30900 NIMES	1.8 km
Stade des Courbiers	Chemin de l'Hippodrome – 30900 NIMES	1.2 km
Gazelec Club Sportif	1945 Chemin du Pont des Isles – 30900 NIMES	1.6 km
Stade Raymond Pellissier	1750-2142. Chemin du Pont des Îles - 30000 NIMES	1.8 km

Les sites recensés dans les paragraphes précédents sont localisés dans la zone d'étude sur la figure suivante.

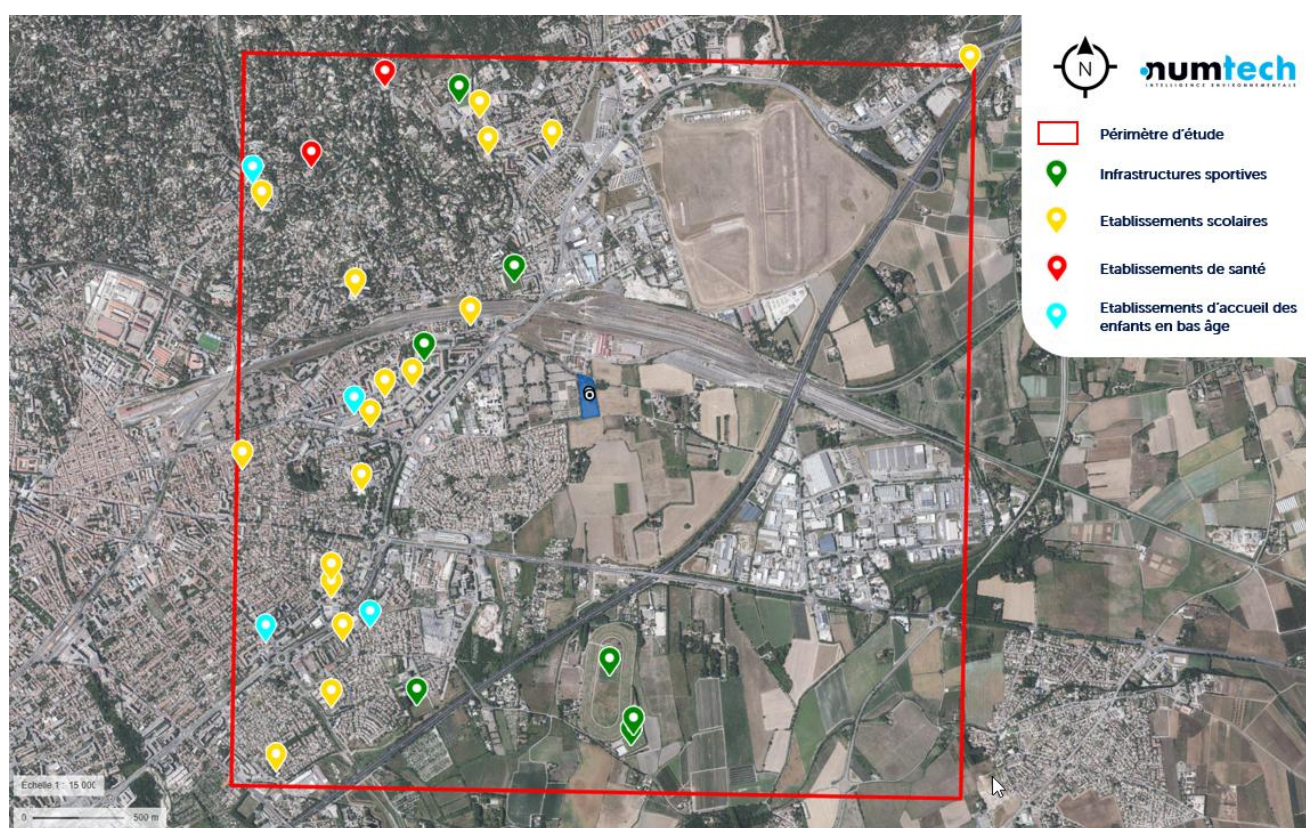


Figure 2 - Localisation des sites considérés comme sensibles dans la zone d'étude

2.3.2 USAGES DE L'ENVIRONNEMENT

Les données issues de l'inventaire Corine Land Cover 2018 ont été utilisées pour caractériser l'usage des sols dans le domaine d'étude retenu. Cet inventaire biophysique de l'occupation des terres, piloté par l'Agence européenne pour l'environnement (service Copernicus), fournit une information géographique de référence pour les états européens, dont la France. Les données proposées sont issues de l'interprétation visuelle d'images satellitaires. D'après les résultats présentés en Figure 3, le domaine d'étude est plutôt agricole sur la façade sud-est et urbain sur toute la moitié ouest. Le nord de la zone d'étude se partage entre l'aérodrome de Nîmes-Courbessac et une zone d'activités. A noter la présence de la zone industrielle de Grézan au sud-est.

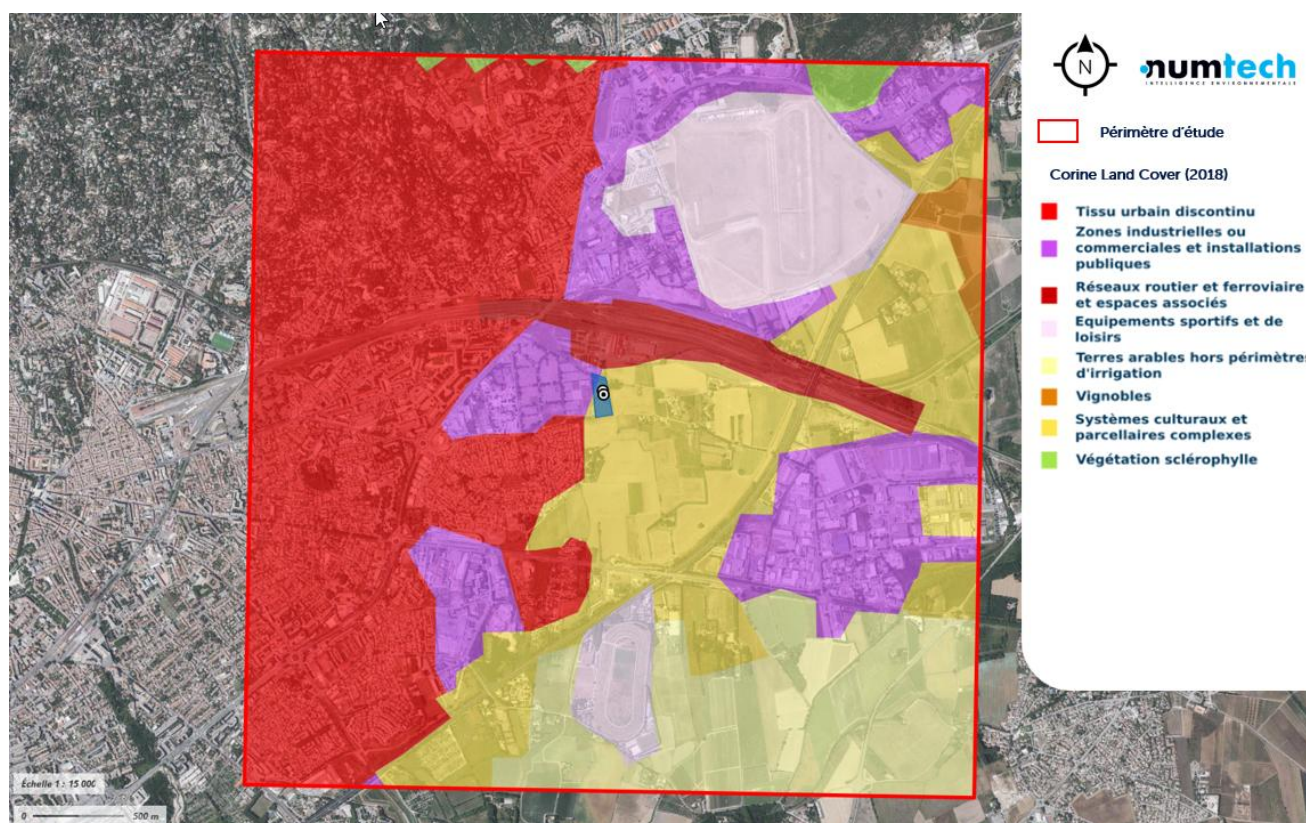


Figure 3 – Caractérisation de l'usage des sols

Les données Agreste, relatives à la statistique agricole, permettent de recenser les activités d'élevage en 2020 sur le domaine d'étude. En 2020, les données relatives aux exploitations de vaches nourrices et laitières sont couvertes par le secret statistique. Aucun autre élevage ne figure dans la base de données consultée.

Concernant les cultures végétales, le registre parcellaire agricole de 2022 permet de se rendre compte des différents types de cultures végétales dans le domaine d'étude. Comme indiqué en Figure 4, le domaine est susceptible de comprendre des cultures de céréales (blé, tournesol) à proximité immédiate et la culture de légume (melons). Il y a peu de prairies permanentes situées dans le domaine d'étude.

En parallèle des éléments d'information collectés dans les différentes bases de données pour l'identification des usages de l'environnement pour la production d'aliments, il ne peut être exclu la présence d'élevages privés de type avicoles, destinés à l'autoconsommation de viande ou d'œufs.

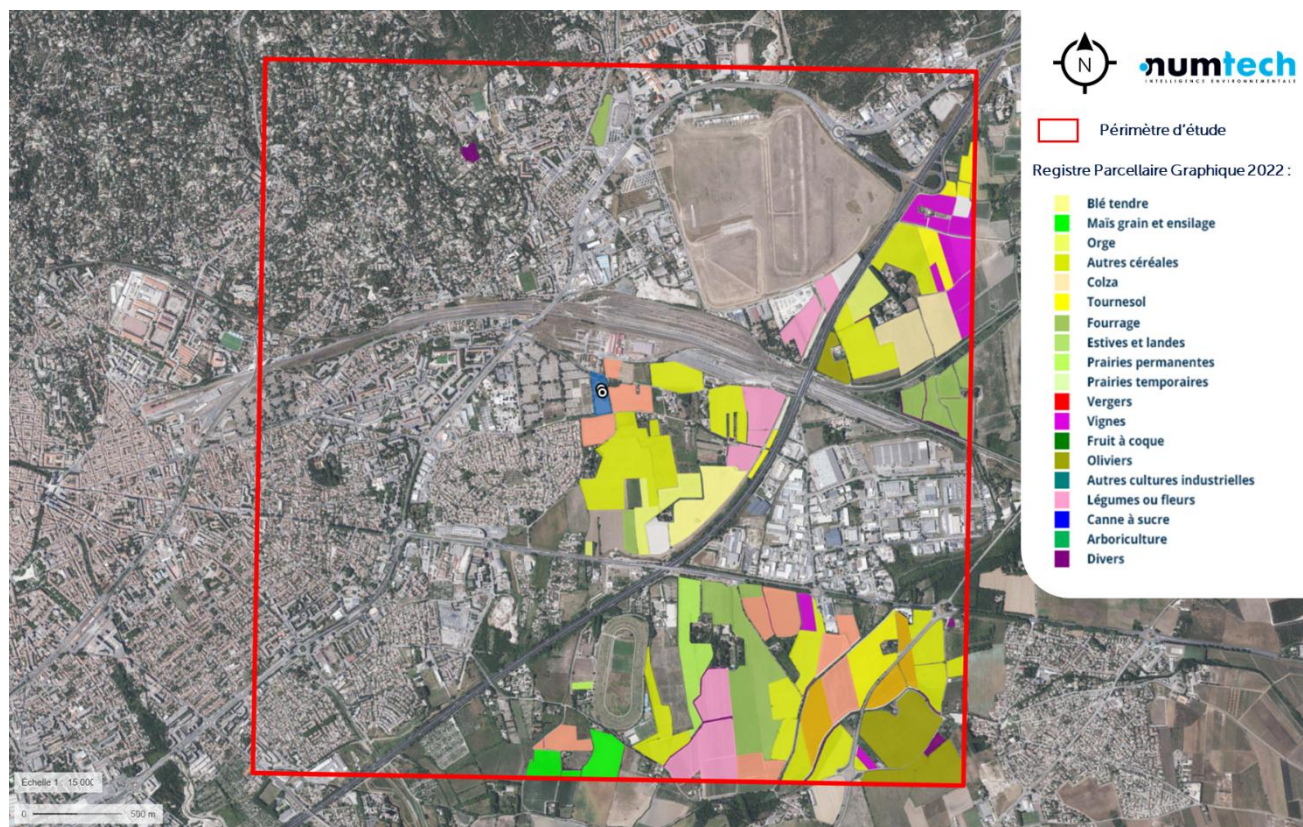


Figure 4 – Zone de culture (source : RPG 2022)

2.4 Présence d'activités industrielles

En parallèle des activités agricoles, les activités humaines et plus particulièrement les activités industrielles sont recensées. Elles permettent de se rendre compte de l'environnement du crématorium, et notamment de la présence d'autres sources émettrices en présence. D'après les données de la base Géorisques, le domaine d'étude comprend 5 installations classées pour la protection de l'environnement (Tableau 1).

Tableau 1 – Liste des ICPE recensées sur le domaine d'étude (source : Géo risques)

NOM	Adresse	Activité
SNCF	481 RUE MAX CHABAUD 30000 NIMES	Transports terrestres et transport par conduites
RECYCL'AUTO PIECES NIMES	1172 chemin de l'aérodrome 30000 Nîmes	Collecte. traitement et élimination des déchets ; récupération
COMMUNAUTE AGGLOMERATION NIMES METROPOLE	Avenue Robert Bompard - Impasse de l'ancienne Motte 30000 Nîmes	Activités vétérinaires
TLS Recyclage (ex Gas	lieu-dit Maleroubine Ouest - 219. avenue Bompard 30000 Nîmes	Collecte. traitement et élimination des déchets ; récupération
NOTILIA	1284. chemin du Mas des Sorbier - ZI de Grézan BP 4008 30000 Nîmes	Commerce de gros. à l'exception des automobiles et des motocycles IED : oui
OPTIROC	1431. chemin du Mas de Sorbier 30000 Nîmes	Industrie chimique

S2BF SCI	335. rue Soufflot - Z.I de Grézan 30000 Nîmes	Activités immobilières
MAISON JOHANES BOUBEE (SAS)	ZAC GREZAN - 115 rue BACCHUS - Actiparc de Grézan 30942 Nîmes Cedex	Négociants en vins
WINCARE FRANCE	200. rue Charles Tellier - Z.I. de Grézan 30000 Nîmes	Fabricants de lits médicalisés
INCINERIS	RUE NICOLAS APPERT - RUE NICOLAS APPERT ACTIPARC LE GREZAN 30000 Nîmes	Crématorium pour animaux
LANGUEDOC LAVAGES	707 rue Bacchus - ZI de Grézan 30000 Nîmes	Commerce de détail. à l'exception des automobiles et des motocycles
SAS CEMEX BETONS SUD- EST	La Vicaresse - Route de Beaucaire - RD 999 30230 Rodilhan	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques

D'après les informations disponibles, aucune de ces installations n'est recensées pour émettre des polluants dans l'atmosphère en quantité significative.

La base de données Géorisques identifie également des sites potentiellement pollués dans le domaine d'étude. Aucun n'est situé dans les zones d'impact principal qui seront identifiées par la modélisation et qui seront retenus dans le calcul d'évaluation des risques sanitaires.

2.5 Inventaire et choix des substances émises

Les substances prises en compte dans le cadre de cette étude sanitaire correspondent aux substances réglementées et précisés dans l'Arrêté du 28 janvier 2010 relatif à la hauteur de la cheminée des crématoriums et aux quantités maximales de polluants contenus dans les gaz rejetés à l'atmosphère. Cet arrêté liste les substances réglementées, ainsi que les valeurs-limites à l'émission (VLE) auxquelles sont astreints les nouveaux crématoriums. Pour les besoins de l'étude, les VLE garanties par le constructeur ont été préférées aux VLE réglementaires.

Le tableau suivant présente les différentes VLE retenues dans l'étude.

Tableau 2 – Substances réglementées et VLE associées. exprimées sur gaz sec à 11% d'O₂

Cheminée - Ancienne					Cheminée - Nouvelle				
Nom du polluant		Concentrations en mg/Nm³ – Valeurs intermédiaires (Normes/FT)		Taux d'émission en g/s		Concentrations en mg/Nm³ – Valeurs intermédiaires (Normes/FT)		Taux d'émission en g/s	
Gaz									
NOx		400		0.51		350		0.25	
SO2		90		0.12		90		0.07	
CO		37.5		0.05		37.5		0.03	
HCl		22.5		0.03		22.5		0.02	
COVs		15		1.9*10 ⁻²		15		1.1*10 ⁻²	
Hg		0.15		1.9*10 ⁻⁴		0.15		1.1*10 ⁻⁴	
Particules									
PM	PM10	7.5	6.75	9.5*10 ⁻³	8.5*10 ⁻³	7.5	6.75	5.2*10-3	4.7*10 ⁻³
	PM2.5		6		7.6*10 ⁻³		6		4.2*10 ⁻³
Hg		0.15		1.9*10 ⁻⁴		0.15		1.1*10 ⁻⁴	
PCDD/F		0.075 ng ITEQ/Nm3		9.5*10 ⁻¹¹		0.075 ng ITEQ/Nm3		5.2*10 ⁻¹¹	

Dans la mesure où une évaluation des risques sanitaires s'applique à caractériser les risques pour chaque substance en contact avec les populations, une attention particulière est apportée pour spécifier le contenu des familles de substances. Les paragraphes suivants précisent les hypothèses retenues pour les différentes familles de substances considérées dans l'étude.

Pour la famille des composés organiques, ceux-ci sont susceptibles de comprendre une grande diversité de substances différentes comme les composés organiques volatils (COV), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou les dioxines-furanes (parmi d'autres). En l'absence d'information précise sur la composition de cette famille de substances, l'hypothèse simplificatrice suggérée dans un guide de l'ADEME⁹ paru en 2006 a été retenue. Ainsi, cette famille a été assimilée à du benzène (composé le plus toxique).

Dans le cas de la famille des oxydes d'azotes, le degré d'oxydation de l'azote dépend des conditions météorologiques (température, ensoleillement), ainsi que de l'éventuelle présence de précurseurs chimiques (ozone, composés organiques volatils, niveaux de fond en oxydes d'azote). Dans une approche majorante, l'ensemble des oxydes d'azotes a été considéré comme du dioxyde d'azote. Cette hypothèse tend à majorer l'exposition au dioxyde d'azote au plus proche des sources d'émission.

Pour la famille des poussières, l'hypothèse est basée sur l'inventaire d'émissions OMINEA. En effet, selon cet inventaire, les poussières émises par des crématoriums seraient composées à 90% de PM₁₀ (poussières dont le diamètre aérodynamique est égal ou inférieur à 10µm) et à 80% de PM_{2.5} (poussières dont le diamètre aérodynamique est égal ou inférieur à 2.5µm).

La famille des dioxines-furanes a été assimilée au congénère 2378-TCDD couramment utilisé comme congénère de référence. En effet, il s'agit de l'un des congénères les plus toxiques et les mieux connus. L'unité (ITEQ) indique qu'aucune conversion n'est nécessaire dans la mesure où cette famille de substances est exprimée en équivalent 2378-TCDD.

Enfin, on notera que le mercure est un élément trace métallique qui a la particularité d'être gazeux et liquide à pression et température ambiante. Après un procédé de combustion, la littérature indique qu'il se trouve sous forme gazeuse et particulaire, et sous forme élémentaire et inorganique (HHRAP, 2005)¹⁰. Un schéma de principe du devenir du mercure après un procédé de combustion est présenté en Annexe 1.

⁹ LIVOLSI B, LABROUSSE S, ADEME, 2006, Caractérisation des émissions atmosphériques d'un échantillon représentatif du parc français des crématoriums en vue d'une évaluation globale du risque sanitaire (<https://www.ademe.fr>)

¹⁰ Human Health Risk Assessment Protocol, US-EPA, 2005 (<https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/td/web/html/risk.html>)

3 IDENTIFICATION DES DANGERS

Cette première étape de l'évaluation des risques sanitaires présente les effets sur la santé humaine des substances susceptibles d'être émises par un crématorium.

3.1 Méthode

Pour chacune des substances recensées susceptibles d'être émise par l'installation, ce chapitre présente un résumé des connaissances en toxicité aiguë et chronique, qui sont les deux types d'exposition étudiés dans cette ERS. Pour les expositions chroniques, il est distingué les connaissances sur les effets cancérigènes et celles sur les effets non cancérigènes. Les principales bases de données consultées sont les suivantes :

- L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS),
- « L'International Program on Chemical Safety » (IPCS),
- Santé Canada (« Health Canada »),
- L'institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (Ineris),
- L'institut National de Recherche et de Sécurité (INRS),
- L' Hazardous Substances Data Bank (HSDB).

La consultation de ces bases a permis de répertorier les dangers associés aux substances inventoriées. Des fiches toxicologiques complètes sont présentées en Annexe 3.

3.2 Etude des dangers

Le descriptif des dangers associés à chacune des substances appréhendées dans le cadre de cette étude est présenté dans les fiches toxicologiques associées aux substances.

Le Tableau 3 présente les principaux systèmes cibles et les substances associées à ces systèmes, selon la voie d'exposition. Ce tableau n'a pas pour ambition de lister l'ensemble des effets répertoriés dans la littérature mais de pointer le fait que chaque système est la cible de plusieurs substances étudiées. Ces substances peuvent agir sur une cible avec des mécanismes d'action différents ou similaires. Elles peuvent interagir pour potentialiser, neutraliser ou diminuer les effets néfastes de substances considérées individuellement. Les effets des mélanges de substances sont actuellement appréhendés dans les évaluations de risques sanitaires avec des hypothèses d'additivité des effets portant sur les mêmes cibles, ce qui est loin de représenter la variabilité de comportement des substances en mélange.

Tableau 3 - Substances inventoriées. voie et durée d'exposition et systèmes cibles associés

Substances	Systèmes cibles										
	Respiratoire	Oculaire	Hématologique et immunitaire	Métabolique, endocrinien et nutritionnel	Cardiovasculaire	Nerveux	Digestif	Musculo-squelettiques	Urinaire	Cutané	Reproductif et développement
Benzène	-	-	CR, CO	-	-	AR, CR, CO	-	-	-	-	-
Chlorure d'hydrogène	AR, CR	AR					AR			AR, CR	
Dioxyde d'azote	AR, CR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dioxyde de soufre	AR, CR	CR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dioxines-furanes	AR	-	-	-	-	CO	-	-	-	AR, CO	-
Mercure	AR, AO, CR	-	-	-	AO, CO	AR, CR, CO	AR, AO, CR, CO	CR, CO	AR, AO, CR, CO	-	CR, CO
Monoxyde de carbone					CR	AR, CR					
Poussières	AR, CR	-	-	-	AR	-	-	-	-	-	-

AR : aiguë respiratoire. AO : aiguë orale. CR : chronique respiratoire. CO : chronique orale
Nd : non disponible

4 INVENTAIRE ET CHOIX DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCE

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour une substance donnée sont des valeurs établissant une relation entre les doses ou les niveaux d'exposition auxquels les personnes peuvent être exposées et l'incidence ou la gravité des effets associés à l'exposition.

Cette étape a pour objectif de recueillir l'ensemble des VTR disponibles dans la littérature et éventuellement de réaliser un choix parmi elles.

4.1 Définition

Les valeurs toxicologiques de référence sont distinguées en fonction de leur mécanisme d'action :

- Les toxiques à seuil de dose : Les VTR sont les valeurs en dessous desquelles l'exposition est réputée sans risque.
- Les toxiques sans seuil de dose : Les VTR correspondent à la probabilité, pour un individu, de développer l'effet indésirable (ex : cancer) lié à une exposition égale, en moyenne sur sa durée de vie, à une unité de dose de la substance toxique. Ces probabilités sont exprimées par la plupart des organismes par un excès de risque unitaire (ERU). Un ERU de 10^{-5} signifie qu'une personne exposée, en moyenne durant sa vie à une unité de dose, aurait une probabilité supplémentaire de 1/100 000, par rapport au risque de base, de contracter un cancer lié à cette exposition.

4.2 Sources de données

D'après la note d'information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués, il est recommandé de sélectionner la VTR proposée par l'un des organismes suivants : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

La Figure présente le logigramme permettant de choisir les VTR selon les recommandations de la note ministérielle.

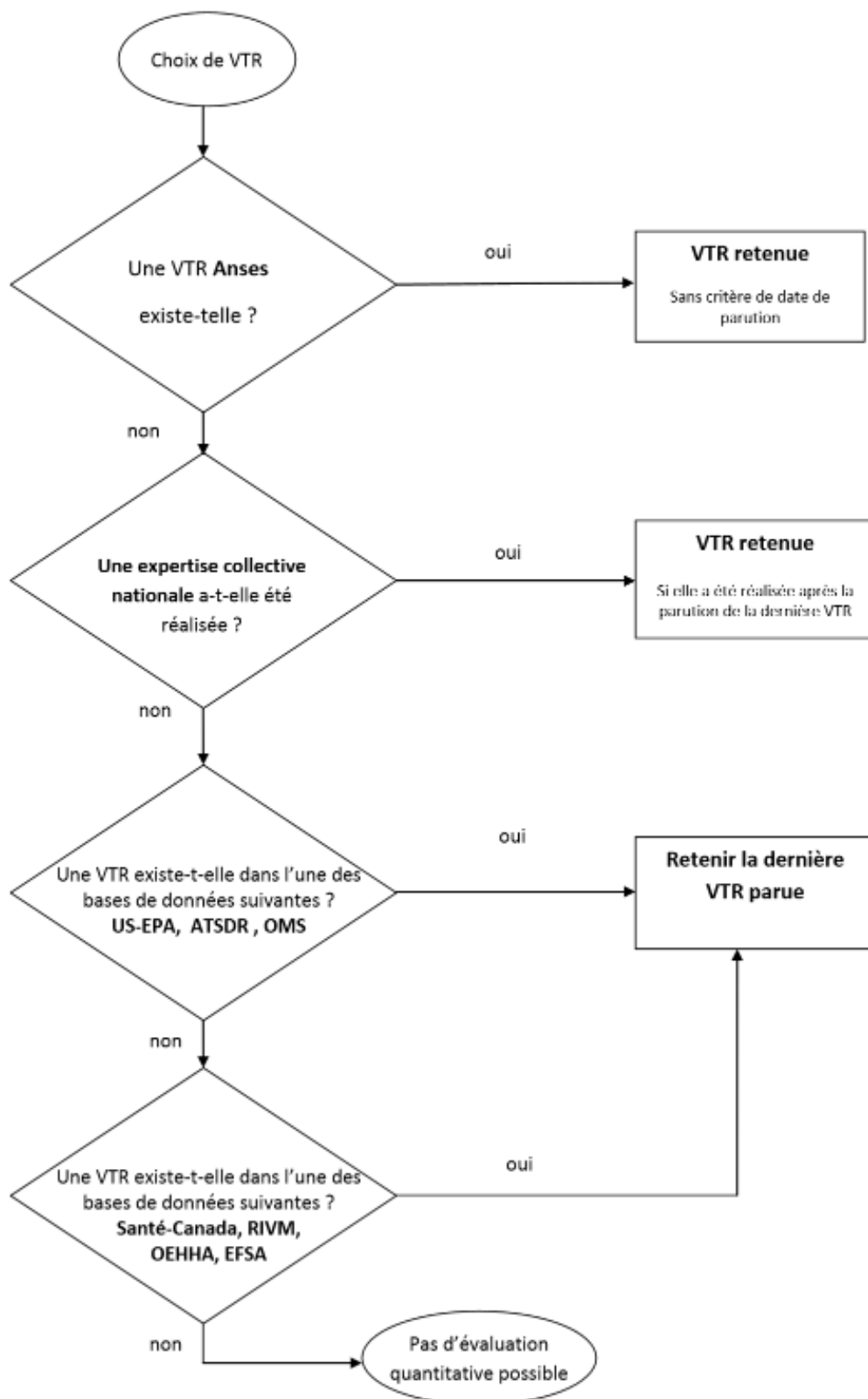


Figure 5 - Logigramme pour le choix des VTR (note n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014)

Le Tableau 4 indique, pour l'ensemble des substances susceptibles d'être émises par le crématorium, si des VTR ou des valeurs guides sont disponibles dans la littérature consultée pour les voies d'exposition respiratoire et digestive, et donc si une caractérisation des risques sanitaires peut être effectuée.

Tableau 4 - Présence ou absence de VTR pour les substances recensées à l'émission du crématorium

Substances	N°CAS	Exposition aiguë	Exposition chronique	
		Voie respiratoire	Voie respiratoire	Voie digestive
CO	630-08-0	X	-	-
NO ₂	10102-44-0	X	X	-
PM ₁₀	-	X	X	-
PM _{2.5}	-	X	X	-
SO ₂	7446-09-5	X	-	-
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	X	X	-
Dioxines-Furanes	1746-01-6	-	X	X
Benzène	71-43-2	X	X	X
Mercure élémentaire	7439-97-6	-	X	-
Mercure inorganique	7439-97-6	-	X	X
Mercure organique	7439-97-6	-	-	X

4.2.1 CAS PARTICULIER DU BENZENE

Contrairement aux dioxines-furanes ou au mercure, il est considéré dans le cadre de cette ERS que l'ingestion de benzène ne représente pas une source d'exposition pertinente pour les populations, car il se présente sous forme vapeur à la pression et à la température ambiantes.

4.2.2 CAS PARTICULIER DU MERCURE

Le mercure existe sous trois formes principales : le mercure élémentaire (Hg⁰), le mercure divalent (Hg II) et le mercure organique (principalement le méthyl mercure). Les VTR sont relatives au mercure élémentaire, au mercure organique et au mercure inorganique (qui rassemble le mercure élémentaire et le mercure divalent).

Pour la voie respiratoire, les formes de mercure élémentaire et inorganique peuvent être retenues ; en effet, aucune forme de mercure organique n'est attendue en sortie de cheminée, après combustion. D'après le chapitre 2 du modèle HHRAP (« Facility characterization »). 20% du mercure émis à l'atmosphère est sous forme élémentaire (Hg⁰), et 80% sous forme divalente (Hg II) (cf. Annexe 1).

Pour la voie digestive, les formes organiques et inorganiques sont retenues dans la mesure où, en présence de la matière organique du sol, une partie du mercure atmosphérique (élémentaire et divalent) se transforme en mercure organique.

Sur l'ensemble des substances considérées individuellement pour lesquelles il a pu être établi des données d'émission, il a pu être recueilli des VTR ou des valeurs-guides¹¹ pour 5 d'entre-elles pour au moins une voie et une durée d'exposition (valeurs marquées d'un astérisque dans les tableaux suivants). **Les substances n'ayant pas de VTR disponibles ne pourront donc pas faire l'objet d'une caractérisation des risques sanitaires.** En l'absence de VTR, une comparaison avec des valeurs-guide peut toutefois être effectuée pour les poussières et les oxydes d'azote.

4.3 Choix des valeurs toxicologiques de référence

Les Tableau 5 à Tableau 8 synthétisent les VTR retenues selon les recommandations de la note N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014. Il est fait le choix de ne pas présenter ici les VTR retenues par l'ANSES pour les particules fines. Une discussion est toutefois présentée dans les incertitudes.

Tableau 5 - VTR aiguës pour la voie respiratoire

Substances	N°CAS	VTR aiguë ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Durée	Système cible	Référence
SO ₂	7446-09-5	30	1-14j	Respiratoire	Expertise Ineris, 2011 (ATSDR, 1998)
NO ₂	10102-44-0	200*	1h	Respiratoire	Expertise Anses. 2013 (OMS, 2005)
NO ₂	10102-44-0	25*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
PM ₁₀	-	45*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
PM _{2.5}	-	15*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
CO	630-08-0	23000	1h	Cardiovasculaire	OEHHA, 1999
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	2100	1h	Respiratoire	OEHHA, 1999
Benzène	71-43-2	27	1h	Hématologique	OEHHA, 2014

*valeurs-guides

¹¹ Valeur de référence pour une grandeur (concentration en un élément donné), destinée à servir d'aide à la réflexion ou à la décision. Cette valeur, recommandée par une autorité, sans obligation légale, constitue un objectif à atteindre.

Tableau 6 - VTR chronique non cancérogène pour la voie respiratoire

Substances	N°CAS	VTR (µg.m ⁻³)	Système cible	Référence
NO ₂	10102-44-0	10*	Respiratoire	OMS, 2021
PM ₁₀	-	15*	Respiratoire	OMS, 2021
PM _{2.5}	-	5*	Respiratoire	OMS, 2021
Benzène	71-43-2	10	Hématologique et immunitaire	ANSES, 2008
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	20	Respiratoire	US-EPA, 1995
Dioxines-Furanes	-	4 10 ⁻⁵	Hématologique et immunitaire. Urinaire. Digestif. Respiratoire. Cardiovasculaire. Métabolique. endocrinien et nutritionnel	Expertise Ineris, 2015 (OEHHA, 2000)
Mercure inorganique	7439-97-6	1	Urinaire	OMS, 2000
Mercure élémentaire	7439-97-6	0.03	Nerveux	Expertise Ineris 2010 (OEHHA, 2008)

*valeur-guide

Tableau 7 - VTR chronique cancérogène pour la voie respiratoire

Substances	N°CAS	VTR	Unité	Système cible	Référence
Benzène	71-43-2	1.6 10 ⁻⁶	(µg.m ⁻³) ⁻¹	Hématologique et immunitaire	Anses, 2024

Tableau 8 - VTR chronique non cancérogène pour la voie digestive

Substances	N°CAS	VTR (µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	Système cible	Référence
Dioxines-Furanes	-	2.9 10 ⁻⁷	Reproductif et développemental	Expertise Ineris, 2019 (EFSA. 2018)
Mercure inorganique	7439-97-6	0.6	Urinaire	Expertise Anses, 2016 (EFSA. 2012)
Mercure organique	7439-97-6	0.2	Nerveux	Expertise Anses, 2016 (EFSA. 2012)



5 ÉVALUATION DES EXPOSITIONS

Dans le cadre de cette ERS, plusieurs voies d'exposition sont prises en compte pour la caractérisation des risques sanitaires engendrés par les émissions atmosphériques du site étudié. L'objet de ce chapitre est d'identifier les voies d'exposition pertinentes à considérer ainsi que les doses auxquelles les populations humaines sont susceptibles d'être exposées.

D'après les informations collectées lors de la caractérisation de l'environnement (dans le domaine d'étude), la population présente est susceptible d'être exposée aux substances par voies respiratoire, orale et cutanée.

5.1 Exposition par inhalation

Les rejets de substances pris en compte pour l'ERS sont exclusivement les émissions atmosphériques canalisées. aussi. la voie d'exposition à considérer en premier lieu est l'inhalation des substances émises à l'atmosphère. Conformément aux recommandations du guide de l'Ineris, la caractérisation des risques n'a porté que sur les émissions de l'installation, et n'a donc pas pris en compte le niveau de fond en substance auquel est également exposée la population riveraine du site.

Il paraît pertinent de considérer à la fois les expositions respiratoires aiguës et chroniques. Ces modalités d'exposition correspondent respectivement à une exposition élevée sur de courtes périodes induites par des conditions météorologiques défavorables à la dispersion, et à une exposition moyenne annuelle, intégrant les différentes conditions météorologiques observables dans l'année localement.

L'inhalation de particules de sol remises en suspension dans l'air est considérée comme une voie d'exposition minoritaire et n'est pas retenue dans cette étude.

5.2 Exposition par ingestion

La zone entourant le crématorium comprend un tissu urbain discontinu, une zone industrielle, ainsi que des activités agricoles. Aussi, il convient de considérer dans l'ERS, l'impact sanitaire des retombées sur le sol des substances émises et donc de prendre en compte l'exposition indirecte (par ingestion) des individus. Par ailleurs, compte tenu du fonctionnement de l'installation (fonctionnement « normal » et non accidentel), il ne semble pas pertinent de considérer les expositions orales aiguës, c'est-à-dire les expositions orales - uniques ou répétées - se produisant sur de très courtes périodes (moins de 14 jours) à des aliments fortement contaminés. Aussi, seules les expositions orales chroniques sont étudiées. Les médias d'exposition pouvant être pris en compte sont les suivants :

- **l'ingestion directe de sol contaminé** par les dépôts de polluants atmosphériques. Ces dépôts peuvent souiller les mains, des objets ou des aliments portés à la bouche. Cette voie d'exposition est plus importante chez les enfants qui, de par leurs jeux et comportements, ingèrent de plus grandes quantités de terre que les adultes.
- **l'ingestion via la chaîne alimentaire.** de produits d'origines végétale et animale contaminés directement ou indirectement par les retombées de polluants sur les sols et les végétaux.



Dans une hypothèse majorante sont retenus les médias d'exposition suivants :

- Parmi les produits végétaux, l'ingestion de légumes et fruits susceptibles d'être cultivés autour du crématorium et impactés par les retombées atmosphériques de cette installation.
- Parmi les produits animaux, la viande de volailles, de bœuf, d'œufs et de lait, susceptibles d'être produits localement et impactés par les retombées atmosphériques de l'installation. En effet, comme indiqué dans la partie « Caractérisation du site », des zones agricoles et des zones résidentielles sont présents dans la zone d'étude.

De ce fait, les médias d'exposition par voie orale pouvant être pris en compte dans l'ERS sont :

- le sol,
- les légumes,
- les fruits,
- la viande de volailles et de bœuf,
- les œufs,
- le lait.

5.2.1 MEDIAS D'EXPOSITION ORALE EXCLUS

5.2.1.1 Ingestion d'eau potable

Compte tenu des modalités d'émission en substances (émission atmosphérique), la contamination de l'eau destinée à la consommation humaine n'a pas été jugée pertinente à retenir dans le cadre du schéma conceptuel d'exposition. En effet, la contamination de l'eau (superficielle ou souterraine) est considérée comme pertinente dans le cas où l'installation émet des rejets aqueux ou en cas de présence de sites et sols pollués. Ces deux paramètres n'étant pas validés, aucune investigation concernant les points de captage ou de zones de baignade n'est jugé utile.

5.3 Exposition par voie cutanée

L'absorption percutanée de substances contenues dans l'eau du robinet et l'absorption cutanée des gaz et particules en suspension dans l'air ne seront pas prises en compte par manque de valeur toxicologique de référence spécifique à cette voie. L'exclusion de cette voie d'exposition amène à une sous-estimation des risques, modérée par les éléments suivants :

- La surface cutanée totale représente environ 1.7 m² en moyenne. Cette surface corporelle est plus de cinquante fois plus petite que la superficie interne des poumons (90 m²). Il est donc probable que l'exposition par voie cutanée reste marginale par rapport à l'inhalation.
- Le lavage des mains et du visage limite la durée de contact.
- La peau agit comme une barrière de protection vis-à-vis de l'extérieur alors que les poumons ont pour rôle de favoriser les échanges gazeux intérieurs / extérieurs.

5.4 Schéma conceptuel d'exposition

La figure suivante présente schématiquement les différents médias et voies d'exposition pris en compte dans cette étude.

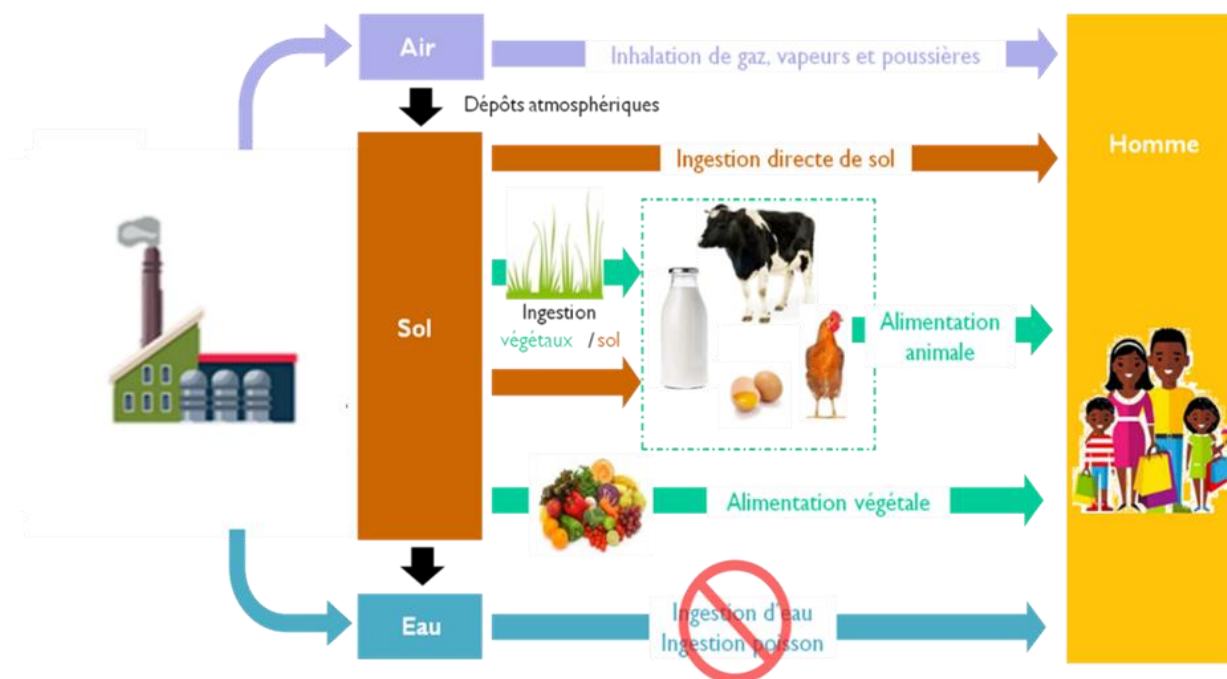


Figure 6 - Schéma conceptuel d'exposition considéré dans le cadre de cette étude

5.5 Calcul des doses d'exposition par inhalation

De manière générale, l'exposition d'une population est déterminée à partir du calcul de la concentration moyenne inhalée (CMI) en chaque substance, selon l'équation générale suivante :

Équation 1 :

$$CMI = \sum_i (C_i \cdot T_i) \cdot F \cdot \left(\frac{DE}{T_m} \right)$$

Avec :

CMI : Concentration moyenne inhalée ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

C_i : Concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps T_i ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)

T_i : Taux d'exposition à la concentration C_i pendant une journée (-)

F : Fréquence ou taux d'exposition annuel (nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours) (-)

DE : Durée d'exposition. intervient uniquement dans le calcul des risques des polluants sans effet de seuil (années)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années). intervient uniquement pour les effets sans seuil où cette variable est assimilée à la durée de la vie entière (T_m est pris égal à 70 ans)

5.5.1 PARAMETRES D'EXPOSITION RETENUS

Taux d'exposition (Ti)

Ne disposant d'aucune donnée locale sur le budget espace-(activités)-temps des populations présentes sur la zone d'étude, nous considérons par défaut que la fraction de temps T_i (*Équation 1*) est égale à 1 (et ce dans le cas d'expositions aiguës et chroniques) ; ce qui signifie que les individus sont exposés 100 % du temps aux seules concentrations C_i des polluants émis par les installations étudiées.

$$T_{\text{population générale}} = 1$$

Dans le cas particulier des travailleurs tiers, le taux d'exposition qui leur est associé est estimé en considérant les 5 semaines de vacances réglementaires et les dimanches, soit 218 jours de travail dans l'année ($218/365=0.6$). Le reste du temps, il est considéré dans une hypothèse majorante que les travailleurs tiers sont exposés aux concentrations de la zone habitée la plus exposée.

$$T_{\text{travailleurs tiers}} = 0.6$$

Fréquence d'exposition (F)

En raison du manque de données sur les caractéristiques propres à la population locale, il est considéré, dans une hypothèse majorante, que l'ensemble des individus exposés restent à proximité de leur domicile.

$$F_{\text{population générale}} = 1$$

Dans le cas des travailleurs tiers, la fréquence d'exposition journalière est de l'ordre de 8h/jour, soit 30% de présence par jour.

$$F_{\text{travailleurs tiers}} = 0.3$$

Le reste du temps, il est considéré dans une hypothèse majorante que les travailleurs tiers sont exposés aux concentrations de la zone habitée la plus exposée.

Durée d'exposition (DE)

Pour les substances à effet sans seuil, la durée d'exposition (DE) est à intégrer au calcul de CMI (*Équation 1*). Une étude sur le temps de résidence des Français (basée sur la durée des abonnements privés à Electricité de France) (Nedellec et al., 1998)¹² montre, que pour les données de 1993, 90 % de la population investiguée reste au plus 30 ans dans la même résidence (30 ans correspond au percentile 90 des durées d'exposition obtenues). Par ailleurs, la valeur de 30 ans est celle souvent utilisée par l'US-EPA dans les scénarios dits résidentiels (95ème percentile des durées de résidence aux Etats-Unis) (EPA. 1997)¹³. Une durée d'exposition vie entière de 30 ans est donc retenue dans l'ERS.

¹² Nedellec V., Courgeau D., Empereur-Bissonnet P., Energies santé, 1998 (vol. 9, n°4, pp. 503-515), La durée de résidence des Français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués.

¹³ Environmental Protection Agency (EPA), 1997, Exposure Factors Handbook, volume 1 : General Factors.



$$DE_{\text{population générale}} = 30 \text{ ans}$$

Dans le cas des travailleurs tiers, une durée d'exposition de 40 ans est prise en compte. Il s'agit d'une durée utilisée le plus souvent pour ce type de population.

$$DE_{\text{travailleurs tiers}} = 40 \text{ ans}$$

Estimation des concentrations en polluants à l'intérieur et à l'extérieur des locaux (Ci)

En l'absence de données sur le taux de pénétration des polluants émis par les installations étudiées, nous supposons que leur concentration dans l'air (paramètre Ci de l'

Équation 1) des milieux intérieurs (habitations par exemple) est la même que celle obtenue à l'extérieur.

$$C_{i \text{ intérieur}} = C_{i \text{ extérieur}}$$

En réalité, le taux de pénétration des polluants dans les intérieurs n'est pas de 100 % et il est variable d'un polluant à l'autre. Pour certaines substances (dioxyde de soufre, poussières), les concentrations en intérieur sont susceptibles d'être inférieures aux concentrations en extérieur du fait des capacités de filtration des bâtiments (cas des poussières) (Mosqueron et Nedellec, 2001)¹⁴. Pour d'autres (COV), les concentrations en intérieur sont susceptibles d'être supérieures aux concentrations en extérieur, notamment en raison de la présence de source(s) d'émission à l'intérieur des locaux. Enfin, certaines substances (dioxyde d'azote) sont retrouvées dans des concentrations équivalentes à l'intérieur et à l'extérieur.

Le Tableau 9 synthétise les paramètres relatifs aux scénarios d'exposition retenus pour la voie respiratoire.

Tableau 9. Paramètres retenus pour les deux scénarios d'exposition

Nom du scénario	Point retenu pour la caractérisation du risque	Voies d'exposition	Durée d'exposition	Durée d'exposition
Résidentiel	Point habité le plus impacté sur le domaine d'étude	Respiratoire et orale	Aigu et chronique	24 heures/24 365 jours/an 30 ans
Travailleur tiers	Point dans la zone industrielle le plus impacté sur le domaine d'étude	Respiratoire	Aigu et chronique	8 heures/24 218 jours/an 40 ans

¹⁴ Mosqueron L. et V. Nedellec, 2001, Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments, 173 p.

Le reste du temps (80%), il est considéré dans une hypothèse majorante que les travailleurs tiers sont exposés aux concentrations de la zone habitée la plus exposée.

5.5.2 ESTIMATION DES CONCENTRATIONS EN SUBSTANCES DANS L'AIR (Ci)

La modélisation de la dispersion permet de visualiser et de quantifier la redistribution dans l'environnement des substances émises par le crématorium, dont les risques peuvent être caractérisés. Dans les calculs de dispersion dont les hypothèses figurent en Annexe 2, les concentrations dans l'air (Ci) de ces polluants ont été estimées à l'aide du modèle gaussien ADMS version 6.

Les concentrations à l'émission modélisées sont présentées dans le chapitre 2.5.

5.5.3 RESULTATS DE L'ETUDE DE DISPERSION

L'étude de dispersion a pour objectif de se rendre compte de la variabilité spatiale des niveaux d'exposition induits par les émissions du site étudié. Les figures suivantes présentent cette variabilité et localisent le site fréquenté par la population le plus impacté dans le domaine d'étude (étoile verte) ainsi que le site travailleurs tiers le plus impacté (étoile rouge).

Dans la mesure où 3 durées d'exposition sont considérées, une analyse est effectuée pour identifier le site fréquenté le plus impacté pour chacune de ces 3 durées d'exposition. Les figures suivantes présentent la variabilité spatiale d'exposition associée à :

- une exposition moyenne annuelle,
- une exposition maximale journalière,
- une exposition maximale horaire.

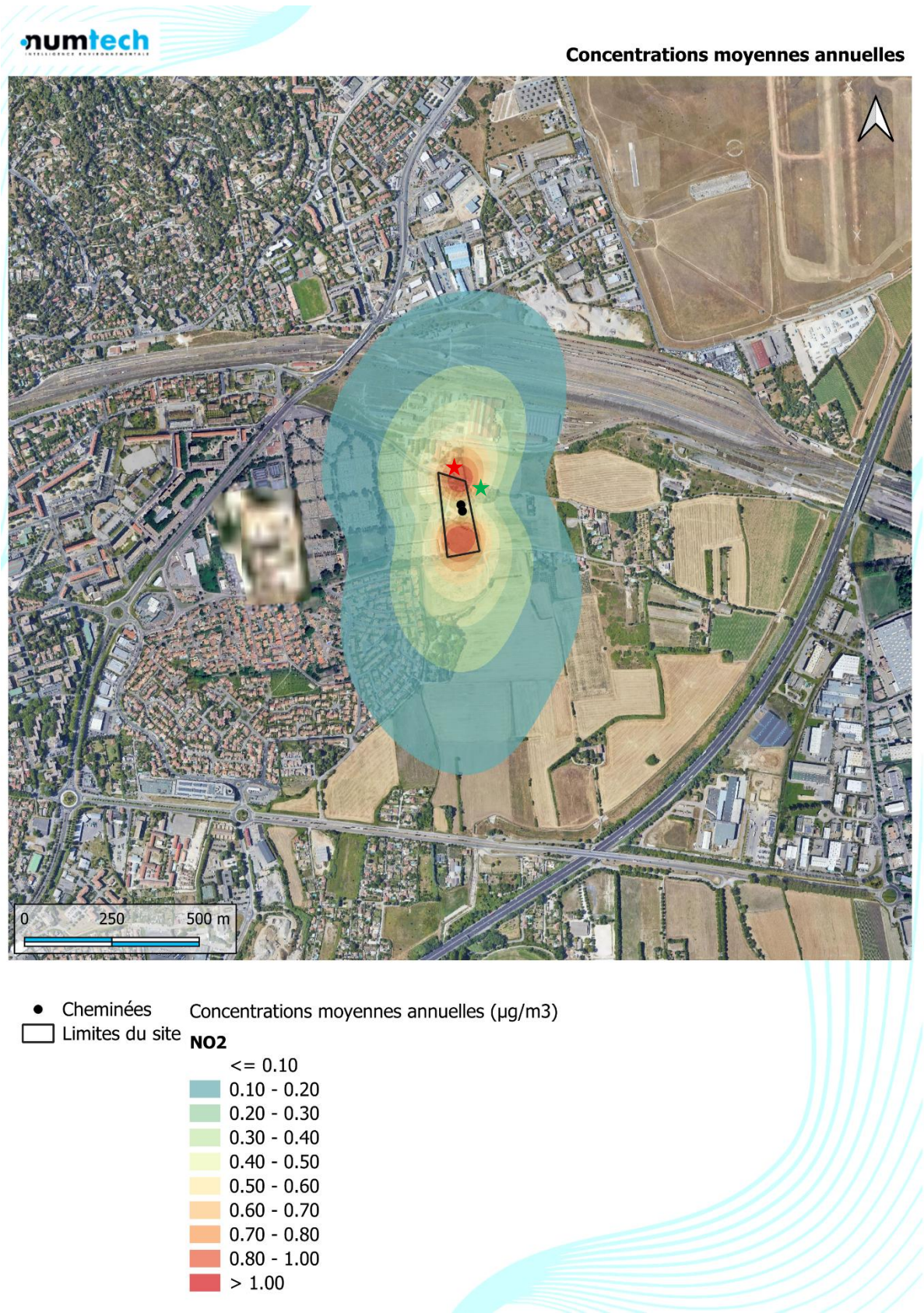


Figure 7 – Variabilité spatiale de l'exposition moyenne annuelle (cas des oxydes d'azote)

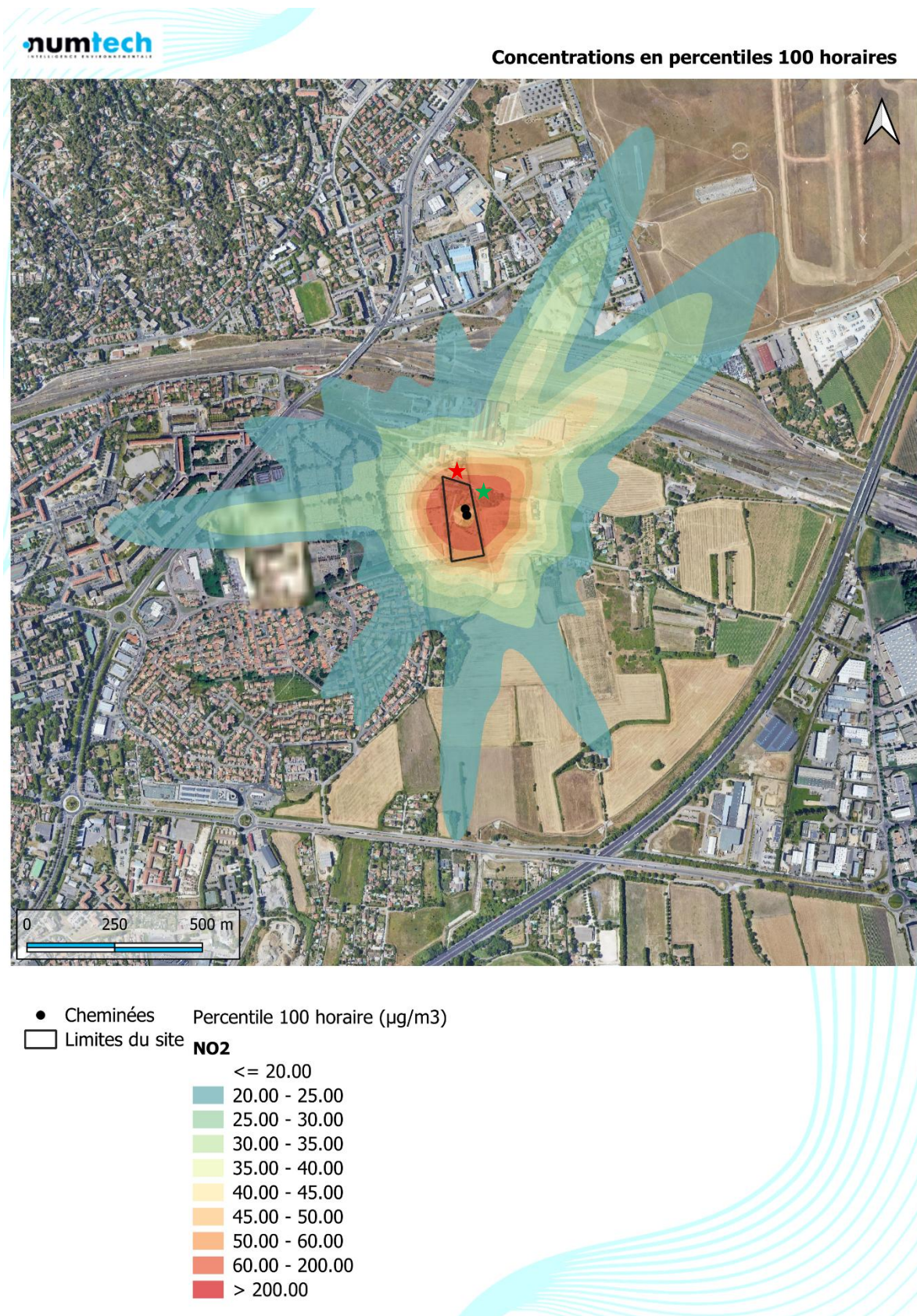


Figure 8 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale horaire (cas des oxydes d'azote)

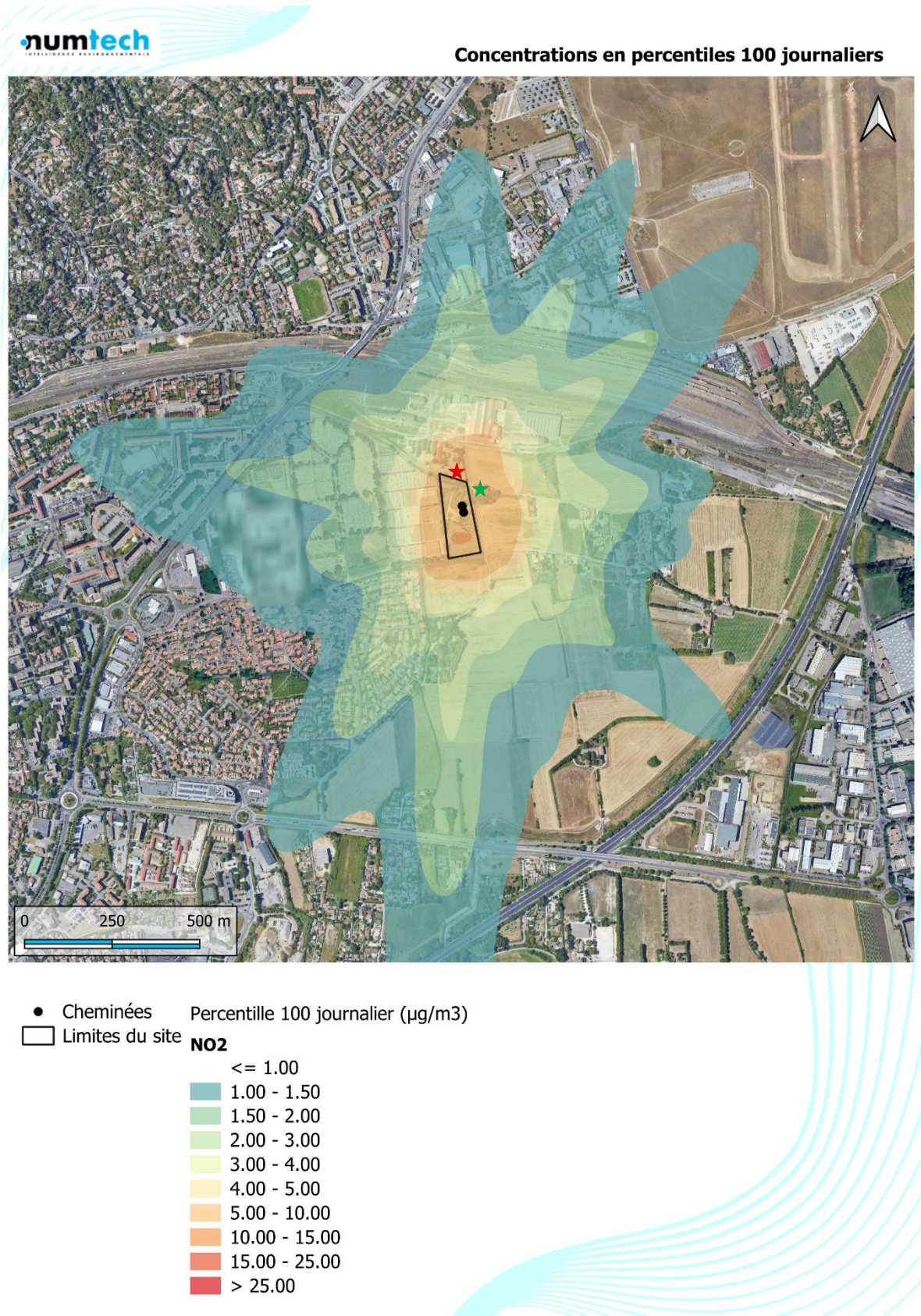


Figure 9 – Variabilité spatiale de l'exposition maximale journalière (cas des oxydes d'azote)

Le point « résidentiel » le plus impacté (étoile verte) est situé à environ 75 mètres au nord-est des émissaires. Le point « travailleur tiers » (étoile rouge) est situé au nord du site. Ces deux points sont situés au niveau de la rue Max Chabaud.

Le tableau suivant présente les concentrations maximales aiguës et les concentrations moyennes annuelles maximales obtenues sur le domaine d'étude. La fin de l'Annexe 2 présente également des cartographies de dispersion obtenues, afin d'illustrer la décroissance des concentrations et flux de dépôt au sol sur le domaine d'étude. Ces cartographies sont représentatives de la dispersion de l'ensemble des substances émises par le site.

Tableau 10. Concentrations atmosphériques maximales (Ci. $\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtenues sur le domaine d'étude pour les substances retenues dans l'ERS

Substances	Scénario Résidentiel		Scénario Travailleur Tiers	
	Concentration aiguë maximale ¹⁵	Concentration moyenne annuelle	Concentration aiguë maximale ¹⁶	Concentration moyenne annuelle
SO ₂	10.3	8.2E-01	4.2	4.8E-01
NO _x	69.2 (1h) / 8.2 (24h)	9.4E-01	53.9 (1h) / 5.7 (24h)	7.9E-01
PM ₁₀	0.42	5.1E-02	0.21	3.0E-02
PM _{2.5}	0.44	5.3E-02	0.22	3.1E-02
CO	21.7	3.4E-01	10.5	2.0E-01
	1.7	1.4E-01	0.7	8.0E-02
Chlorure d'hydrogène	13.0	2.0E-01	6.3	1.2E-01
Mercure	-	2.7E-03	-	1.6E-03
Dioxines-Furanes	-	6.6E-10	-	3.9E-10

Dans le cas particulier des oxydes d'azote (NO_x), de valeurs guides ont été retenue pour le dioxyde d'azote en particulier, or, les oxydes d'azotes comprennent le dioxyde d'azote et le monoxyde d'azote. Dans une hypothèse simplificatrice et majorante, le degré d'oxydation de l'azote n'a pas été considéré précisément et l'ensemble des oxydes d'azote a été considéré comme du dioxyde d'azote.

5.5.4 CONCENTRATION DE FOND DANS L'AIR

Les données relatives au niveau de fond dans l'air ont été obtenues *via* une recherche d'informations sur le site internet d'ATMO Occitanie.

La station de Nîmes Gauzy, de typologie urbaine de fond, permet de se rendre compte des concentrations mesurées en moyenne annuelle pour le NO₂, les PM₁₀ et les PM_{2.5}. Elles sont

¹⁵ le temps d'intégration de la concentration aiguë est cohérent avec la VTR associée à la substance (Tableau 5)

¹⁶ le temps d'intégration de la concentration aiguë est cohérent avec la VTR associée à la substance (Tableau 5)

respectivement de l'ordre de 21.9 µg/m³, 13.9 µg/m³ et 8.1 µg/m³ en 2024. Cette station est située à environ 2.5 km au sud-ouest du site et est représentative du site d'étude.

Le Tableau 11 présente une comparaison entre les niveaux de fond disponibles et les résultats de la modélisation de la dispersion associés aux seules émissions du crématorium.

Comme indiqué dans ce tableau, les émissions en oxydes d'azote et en poussières induites par le crématorium sont susceptibles d'induire des niveaux d'exposition significativement inférieurs au niveau de fond urbain. Le crématorium ne fera donc pas évoluer le niveau d'exposition en NO₂ et en poussière des populations riveraines du site.

Tableau 11. Comparaison entre les niveaux de fonds et l'impact attendu du projet dans le domaine d'étude (µg/m³)

Substances	Modélisation max (µg/m³)	Mesures ATMO 2024 (µg/m³) Station urbaine de fond
NO ₂	1.5 (en NOx)	21.9
PM ₁₀	0.1	13.9
PM _{2.5}	0.1	8.1

5.6 Calcul des doses d'exposition par ingestion

Pour la voie d'exposition orale, la quantité de composé chimique administrée *via* un milieu donné, correspond à la dose journalière d'exposition (DJE) qui s'exprime selon l'équation suivante :

Équation 2 :

$$DJE_i = \left(\frac{C_i \cdot Q_i \cdot F}{P} \right) \cdot \frac{DE}{T_m}$$

Avec :

- DJE_i : Dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i (mg.kg⁻¹.jour⁻¹)
- C_i : Concentration d'exposition liée au milieu i (alimentation, sol) (mg.kg⁻¹)
- F : Fréquence d'exposition : fraction du nombre annuel d'unités de temps d'exposition (heures ou jours) sur le nombre d'unités de temps de l'année (-)
- Q_i : Quantité de milieu i administrée par voie orale par unité de temps d'exposition (mg/jour)
- P : Masse corporelle de la cible (kg)
- DE : Nombre d'années d'exposition ; facteur intervenant uniquement pour les polluants à effets sans seuil de dose (années)
- T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (assimilée à la durée de la vie entière) ; facteur intervenant uniquement pour les polluants à effets sans seuil de dose (années) (T_m est généralement pris égal à 70 ans)

Si, pour la voie d'exposition orale plusieurs médias (i) sont concernés, une DJE totale pour la voie orale peut être calculée en sommant l'ensemble des DJE correspondantes à chaque média d'exposition :

Équation 3 :

$$DJE_j = \sum_i DJE_i$$

Avec :



DJE_j : Dose journalière d'exposition par ingestion ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$)

DJE_i : Dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu *i* ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$)

Pour estimer les doses journalières d'exposition associées à chacun des médias retenus, il faut renseigner dans l'Équation 2, l'ensemble des paramètres d'exposition (F, P, DE, etc.) pour tenir compte des conditions d'exposition des populations considérées dans l'EQRS. Cette équation permet la prise en compte de différentes classes d'âges afin de considérer les paramètres physiologiques et les quantités d'aliments ingérées qui varient selon l'âge.

De manière générale, pour chaque média d'exposition *i* retenu, la concentration en polluant *C_i* est estimée grâce à des équations de transfert multimédias. De telles équations, spécifiquement adaptées aux transferts de polluants atmosphériques, sont disponibles via le modèle MODUL'ERS de l'Ineris. MODUL'ERS constitue une méthodologie de référence pour estimer les transferts de polluants atmosphériques vers différents compartiments de l'environnement (sol, légumes, fruits, viande bovine, lait, viande de volailles, œufs, etc.).

Les données d'entrée principales de l'outil MODUL'ERS sont les dépôts au sol estimés pour les polluants atmosphériques. La figure suivante présente le schéma conceptuel d'exposition retenu dans l'étude schématisé par MODUL'ERS. Ce schéma montre sur la diagonale les différents médias d'exposition considérés. En bas à droite figure le module « Niveau d'exposition-Risque » qui synthétise l'ensemble des doses d'exposition induites par les différents médias considérés.



			Constantes Replages to Sol	Constantes Replages to Copy of Sol	Constantes Replages to Legumes racines	Constantes Replages to Legumes feuilles	Constantes Replages to Legumes fruits	Constantes Replages to Fruits	Constantes Replages to Tubercules	Constantes Replages to Poule	Constantes Replages to Vache	
			Par expo to Sol racinaire	Par expo to Sol superficiel	Par expo to Legumes racines	Par expo to Legumes feuilles	Par expo to Legumes fruits	Par expo to Fruits	Par expo to Tubercules	Par expo to Poule	Par expo to Vache	
			Par Envir to Sol racinaire	Par Envir to Sol superficiel	Par Envir to Legumes racines	Par Envir to Legumes feuilles	Par Envir to Legumes fruits	Par Envir to Fruits	Par Envir to Tubercules			
					Sol racinaire to Legumes racines	Sol racinaire to Legumes feuilles	Sol racinaire to Legumes fruits	Sol racinaire to Fruits	Sol racinaire to Tubercules			
						Sol superficiel to Legumes feuilles				Sol superficiel to Poule	Sol superficiel to Vache	Sol superficiel to Niveaux Exposition Risque
												Legumes racines to Niveaux Exposition Risque
												Legumes feuilles to Niveaux Exposition Risque
												Legumes fruits to Niveaux Exposition Risque
												Fruits to Niveaux Exposition Risque
												Tubercules to Niveaux Exposition Risque
												Poule to Niveaux Exposition Risque
												Vache to Niveaux Exposition Risque
												Niveaux Exposition Risque

Figure 10. Modèle d'exposition selon l'outil MODULERS

5.6.1 DEFINITION DU SCENARIO D'EXPOSITION

Dans une approche majorante, il a été posé comme hypothèse qu'une partie des aliments consommés par les populations riveraines du crématorium provenait pour partie de la zone agricole la plus impactée par les dépôts de substances. Le choix d'étudier un scénario ingestion à partir de l'exposition à des produits animaux et végétaux issus de la zone agricole la plus impactée est majorant et fictif puisque l'ensemble des denrées alimentaires consommé localement ne peut pas être produit en un point.

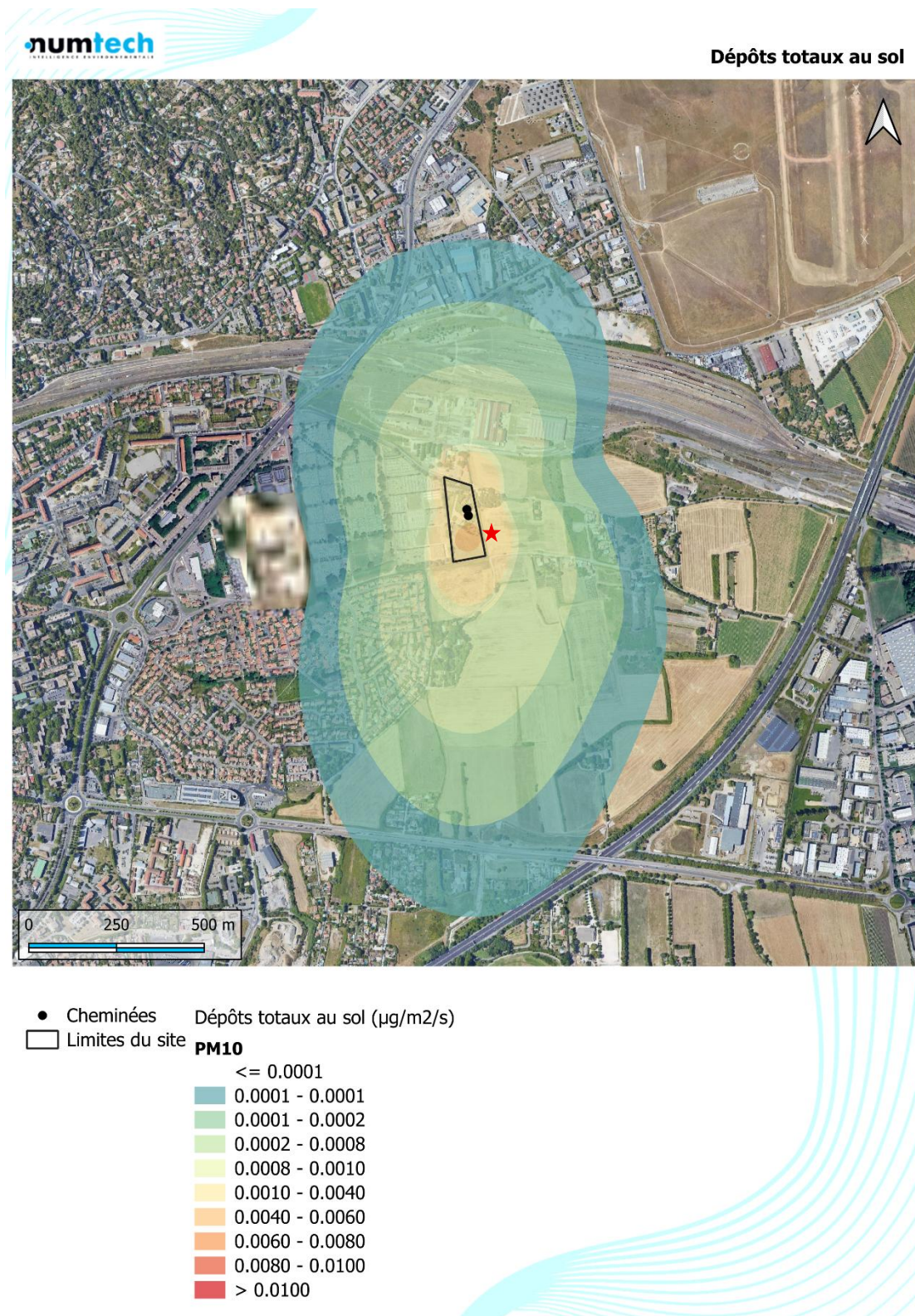


Figure 11. Variabilité spatiale des dépôts atmosphériques en dioxines-furannes et localisation du site potentiellement exploité pour la culture d'aliments le plus impacté (étoile rouge)

Comme indiqué sur la Figure 1, la quantité de dépôts atmosphériques induits par le crématorium varie en fonction de la zone géographique, toutefois, il est possible d'identifier des espaces où ces dépôts sont les plus élevés et où la culture d'aliments destinés à la consommation humaine est présente (ou non exclue). A l'aide des résultats de dispersion relatifs aux dépôts atmosphériques et l'usage des

sols, une zone cultivée à l'ouest du site d'implantation du projet est retenue pour l'estimation de l'exposition liée à l'autoconsommation (action de produire et de consommer des aliments). Ce site, appelé aussi « site ingestion », est marqué d'une étoile rouge en Figure 1.

Bien que la Figure 1 présente les dépôts atmosphériques associés aux particules, ces résultats peuvent être extrapolés aux dépôts atmosphériques des dioxines/furannes et du mercure, en effet, même si les niveaux de dépôts sont différents car les émissions diffèrent, la variabilité spatiale des niveaux de dépôts associés sont sensiblement la même.

Les valeurs de dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 12. Dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion

Substances	Dépôt total	unité
Mercure	9.6E-09	mg/m ² /s
Dioxines	4.8E-15	mg/m ² /s

5.6.2 PARAMETRES DU SCENARIO D'EXPOSITION

Sont présentées ici les valeurs paramétriques choisies pour l'application de l'Équation 2.

Comme dans le cas de la voie d'exposition respiratoire, on considère une fréquence d'exposition de 100% (F = 1 pour les expositions chroniques).

Pour la voie d'exposition orale, la durée d'exposition retenue (DE) est identique à celle retenue pour l'inhalation, soit 30 ans (pour un temps de pondération, T_m, pris égal à 70 ans) (DE = 30 ans).

5.6.2.1 Quantités de sol et d'aliments ingérées (Q_i)

Les quantités d'aliments ingérés sont issus de la base de données disponibles dans l'outil MODUL'ERS utilisé dans l'étude. Ces données se basent sur une analyse de la littérature disponible par l'Ineris. L'ensemble de ces informations est disponible en Annexe 4 relative à la modélisation dans la chaîne alimentaire.

Il est important de préciser que l'hypothèse majorante selon laquelle les substances s'accumulent dans les sols dans le temps a été considérée. Les phénomènes de perte biotique ou abiotique ont été considérés comme nuls (dégradation des dioxines ou perte par ruissellement). Cette hypothèse majorante est souvent considérée dans le cadre d'ERS par les évaluateurs de risque en première approche.

Dans le cas particulier du mercure, dans la mesure où cette substance est susceptible de se propager sous les formes organique et inorganique et que ces deux formes n'ont pas le même comportement dans l'environnement, cette substance a été considérée successivement comme totalement sous forme inorganique ou organique.

5.6.3 ESTIMATION DES DOSES JOURNALIERES D'EXPOSITION

La Figure présente, pour le cas des dioxines-furanes, l'évolution temporelle des DJE au cours des 30 ans de fonctionnement considérés. Une évolution similaire est observée pour les deux formes de mercure prises en compte. Dans la suite de l'étude, la DJE retenue pour la caractérisation des risques

correspond à celle obtenue après 30 ans de fonctionnement (extremums des courbes présentées en Figure).

Le Tableau 13 présente les doses journalières d'exposition (DJE) cumulées (pour l'ensemble des médias d'exposition considérés) par classe d'âge.

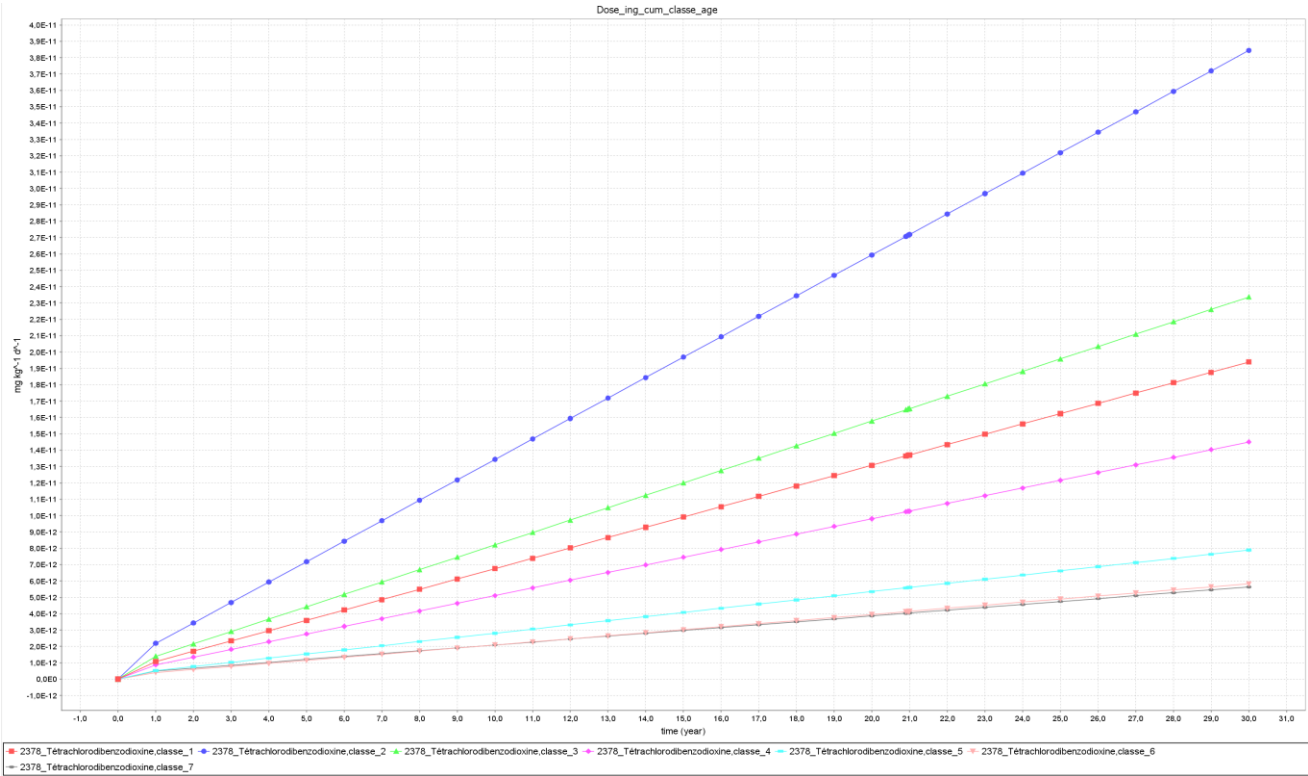


Figure 12. Variabilité temporelle des DJE estimées pour les dioxines-furannes induites pas le projet

Tableau 13. DJE cumulées maximales obtenues après 30 ans de fonctionnement (mg/kgPC/j)

Classe d'âge (année)	Dioxines	Mercure inorganique	Mercure organique
0 - 1	1.9E-11	2.1E-05	9.0E-06
1 - 3	3.8E-11	3.9E-05	1.5E-05
3 - 6	2.3E-11	2.4E-05	9.8E-06
6 - 11	1.5E-11	1.5E-05	6.1E-06
11 - 15	7.9E-12	7.1E-06	2.4E-06
15 - 18	5.8E-12	5.2E-06	1.8E-06
18 et +	5.6E-12	5.1E-06	2.2E-06

Le détail des résultats obtenus est disponible en Annexe 4.

5.6.3.1 DJE de fond dans l'alimentation

La DJE moyenne dans l'alimentation française est renseignée par l'intermédiaire de l'étude de consommation EAT2 publiée par l'Anses en 2010 pour les données relatives aux teneurs en



substances dans les aliments et pour lesquelles la caractérisation du risque est conduite. D'après les informations fournies par cette enquête, les DJE dans l'alimentation française ont été estimées (Tableau 14).

Tableau 14. DJE moyennes dans l'alimentation française pour les substances étudiées dans l'ERS (source : EAT2)

Substance	Unité	Enfants (3-17 ans)	Adultes (+ 17 ans)
Hg inorganique (chlorure mercurique)	mg/kg/j	1.4E-5 – 2.6E-4	6E-6 – 1.8E-4
Hg organique (méthylmercure)	mg/kg/j	2E-5	1.7E-5
Dioxines-furanes + PCB-DL*	mg/kg/j	7.6E-10	4.7E-10

* exprimé en TEQ OMS1998

A partir des DJE induites par le crématorium d'une part (Tableau 13) et des niveaux de fond dans l'alimentation d'autre part (Tableau 14), il est possible de se rendre compte de l'importance de l'apport des émissions de l'installation dans l'alimentation.

Ainsi, d'après les résultats obtenus, les seules émissions du crématorium en projet sont susceptibles d'induire une DJE inférieure à la DJE de fond recensée dans l'alimentation pour les différentes formes de mercure et les dioxines.

5.7 Exposition cumulée

Les expositions cumulées correspondent aux expositions faisant intervenir plusieurs substances simultanément. Actuellement, la démarche des ERS ne permet pas de prendre en compte la synergie ou l'antagonisme des effets. En effet, comme indiqué dans les différents guides (InVS, Ineris) publiés en France, les risques cumulés sont appréhendés par une simple addition des risques déterminés pour différentes substances.

On distingue usuellement le calcul de risque cumulé pour les effets à seuil d'une part et les effets sans seuil d'autre part, toutefois, dans le cadre de cette étude, les effets sans seuil de dose sont estimés uniquement pour une seule substance, le benzène. La prise en compte de ce type d'effet pour plusieurs substances simultanément n'est donc pas pertinente dans le cas présent. Seule l'exposition cumulée à plusieurs substances induisant des effets à seuil de dose est donc considérée ici.

Dans son guide, l'InVS recommande d'appréhender une exposition cumulée de plusieurs substances lorsque le mécanisme de toxicité et l'organe-cible des composés présents sont similaires. Dans une approche majorante et simplificatrice, la somme de l'ensemble des QD a été estimée sans tenir compte des systèmes cibles auxquels ils se reportaient, ni le mode d'action.

6 CARACTERISATION DES RISQUES SANITAIRES

La caractérisation des risques consiste à confronter les doses auxquelles les populations sont exposées avec les valeurs toxicologiques de référence retenues. Les risques sanitaires associés à une substance sont estimés de façon différente selon la voie d'exposition (inhalation ou ingestion), la durée d'exposition (aiguë ou chronique) et selon le type d'effet qu'engendre le composé considéré (effets cancérogènes ou non cancérogènes le plus souvent).

6.1 Méthode

Comme recommandé dans la mise à jour 2021 du guide Ineris, la caractérisation des risques ne porte que sur les émissions de l'installation étudiée, par conséquent, les niveaux de fond ne sont pas exploités à ce stade de l'étude.

6.1.1 QUOTIENTS DE DANGER POUR LES SUBSTANCES A EFFETS A SEUIL DE DOSE

Pour les polluants à effets à seuil de dose (principalement des effets non cancérogènes), le dépassement de la VTR sélectionnée suite à l'exposition considérée peut entraîner l'apparition de l'effet critique associé à la VTR. Ceci peut être quantifié en faisant le rapport entre la dose d'exposition (CMI ou DJE) et la VTR associée. Ce rapport est appelé quotient de danger (QD) et s'exprime selon la relation suivante :

Équation 4 :

$$QD = \frac{CMI}{VTR} \quad \text{voie respiratoire} \qquad QD = \frac{DJE}{VTR} \quad \text{voie orale}$$

Avec :

QD : Quotient de danger associé à la voie d'exposition considérée (-)

CMI : Concentration moyenne inhalée par la voie respiratoire ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

DJE : Dose journalière d'exposition pour la voie ingestion ($\mu\text{g.m}^{-3}$)

VTR : Valeur toxicologique de référence retenue (unité : $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour la voie inhalation et $\text{mg.kg poids corporel}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$)

Si le QD est inférieur à 1, alors l'exposition considérée ne devrait pas entraîner l'effet toxique associé à la VTR. Un QD supérieur ou égal à 1 signifie que les personnes exposées peuvent développer l'effet sanitaire indésirable associé à la VTR.

6.1.2 EXCES DE RISQUE INDIVIDUEL POUR LES SUBSTANCES A EFFETS SANS SEUIL DE DOSE

Pour les effets sans seuil de dose, on calcule un « excès de risque individuel » (ERI) de développer l'effet associé à la VTR (appelée aussi souvent ERU : excès de risque unitaire). L'ERI représente, pour les individus exposés, la probabilité supplémentaire de survenue de l'effet néfaste (comme un cancer) induit par l'exposition à la substance considérée durant la vie entière.

Pour la voie d'exposition respiratoire, l'ERI est calculé en multipliant l'excès de risque unitaire par inhalation (ERUi) par la concentration moyenne inhalée vie entière (ou pondérée sur une autre unité



de temps). Pour la voie d'exposition orale, l'ERI est calculé en multipliant l'excès de risque unitaire par ingestion (ERUo) par la dose journalière d'exposition (DJE) durant la vie entière (ou pondérée sur une autre unité de temps).

Dans le cadre de cette étude, un ERI est estimé uniquement pour le benzène pour la voie respiratoire. les autres substances n'étant pas considérées comme induisant des effets sans seuil de dose.

Équation 5 :
$$ERI_i = CMI \cdot ERU_i$$

Avec :

ERI : Excès de risque individuel pour la voie d'exposition inhalation (-)

ERUi : Excès de risque unitaire pour la voie d'exposition inhalation (mg.m⁻³)⁻¹ ou (µg.m⁻³)⁻¹

CMI : Concentration moyenne inhalée (mg.m⁻³) ou (µg.m⁻³)

Il n'existe pas un niveau d'excès de risque individuel qui permette d'écarter les risques pour les populations exposées. Pour sa part, l'OMS utilise un seuil de 10⁻⁵ (un cas de cancer supplémentaire pour 100 000 personnes exposées durant leur vie entière) pour définir les Valeurs Guides de concentration dans l'eau destinée à la consommation humaine (Guidelines for drinking water quality) (OMS. 2004)¹⁷.

La circulaire du 8 février 2007 relative aux sites et sols pollués et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, du Ministère chargé de l'environnement¹⁸, et l'Ineris recommandent le niveau de risque, « usuellement retenu au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé », de 10⁻⁵. A partir de ce niveau repère, les niveaux de risques peuvent être jugés « préoccupants » selon l'Ineris.

A noter que dans le cadre des études de zones, le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) et l'Ineris proposent des seuils d'interprétation des QD et des ERI sous forme de fourchette^{19, 20}. Les seuils d'interprétation, valables aussi bien pour le respiratoire que l'ingestion sont les suivants :

- **Domaine d'action rapide : ERI > 10⁻⁴ et QD > 10**
Les risques sont jugés suffisamment préoccupants pour faire l'objet de mesures de protection « rapides » tant environnementales que sanitaires.
- **Domaine de vigilance active : 10⁻⁵ < ERI < 10⁻⁴ et 1 < QD < 10**
Les niveaux de risque sont sérieux mais jugés moins préoccupants et demandent un approfondissement de l'analyse de la situation avant toute prise de décision en matière de gestion
- **Domaine de conformité : ERI < 10⁻⁵ et QD < 1**

¹⁷ Organisation mondiale de la santé (OMS), 2004, Guidelines for Drinking-water Quality, third edition, Volume 1, 540 p.

¹⁸ Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, 2007, Circulaire du 08/02/07 relative aux sites et sols pollués - Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués.

¹⁹ Haut Conseil de la Santé Publique. 2011, Evaluation des risques sanitaires dans les analyses de zone.

²⁰ Ineris, 2011. Guide pour la conduite d'une étude de zone. DRC-11-115717-01555B



Les niveaux de risques sont considérés comme non préoccupants et il n'est pas nécessaire de mettre en place des mesures de gestion particulières, en sus de celles qui existent déjà et relevant du principe général de maîtrise des émissions.

6.2 Exposition par voie respiratoire

6.2.1 EXPOSITION AIGUË

Pour les substances retenues pour une exposition aiguë, un calcul de quotient de danger (QD) est réalisé par application de l'Équation 4 sur l'ensemble du domaine d'étude (Tableau 15).

Tableau 15. Quotients de danger et comparaison aux VTR ou valeurs guide pour une exposition aiguë

Substances	VTR ou VG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scénario Résidentiel		Scénario Travailleur Tiers	
		Niveau d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD (-)	Niveau d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD (-)
SO ₂	30	10.3	3.4E-01	4.2	1.4E-01
NO _x	200*/25*	69.2 (1h) / 8.2 (24h)	Cc°<VG	53.9 (1h) / 5.7 (24h)	Cc°<VG
PM ₁₀	45*	0.42	Cc°<VG	0.21	Cc°<VG
PM _{2.5}	15*	0.44	Cc°<VG	0.22	Cc°<VG
CO	23000	21.7	9.4E-04	10.5	4.5E-04
Benzène	27	1.7	6.3E-02	0.7	2.6E-02
Chlorure d'hydrogène	2100	13.0	6.2E-03	6.3	3.0E-03

*Valeur-guide

D'après les résultats obtenus, les émissions du crématorium ne sont pas susceptibles d'induire de risque sanitaire associé à une exposition aiguë, quelle que soit la substance (QD<1).

Concernant les substances disposant d'une valeur guide mais pas de VTR, l'exposition induite par les rejets du crématorium restent inférieures aux valeur-guides retenues (cc°<VG).

6.2.2 EXPOSITIONS CHRONIQUES

6.2.2.1 Effets à seuil de dose

Pour chaque traceur à effet à seuil de dose retenu dans le cas d'exposition chronique respiratoire, un calcul de quotient de danger (QD) est réalisé par application de l'Équation 4 sur l'ensemble du domaine d'étude (Tableau 16).

Tableau 16. Quotients de danger obtenus pour une exposition chronique dans le domaine d'étude

Substances	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scénario Résidentiel		Scénario Travailleur Tiers	
		Niveau d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD (-)	Niveau d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD (-)
NO _x	10*	9.4E-01	Cc°<VG	9.1E-01	Cc°<VG
PM ₁₀	15*	5.1E-02	Cc°<VG	4.7E-02	Cc°<VG
PM _{2.5}	5*	5.3E-02	Cc°<VG	4.8E-02	Cc°<VG
Benzène	10	1.4E-01	1.4E-02	1.3E-01	1.3E-02
Chlorure d'hydrogène	20	2.0E-01	1.0E-02	1.9E-01	9.4E-03
Mercure	0.03	2.7E-03	8.9E-02	2.5E-03	8.2E-02
Dioxines- Furanes	4.0E-5	6.6E-10	1.6E-05	6.0E-10	1.5E-05

*Valeur-guide

D'après les résultats obtenus, les émissions du crématorium ne sont pas susceptibles d'induire des risques préoccupants pour la population riveraine (QD<1), et ce, quelle que soit la substance appréhendée.

Concernant les substances disposant d'une valeur guide mais pas de VTR, l'exposition induite par les rejets du projet restent inférieure aux valeur-guides retenues (cc°<VG).

6.2.2.2 Effets sans seuil de dose (cancérigènes)

Un calcul d'ERI est effectué pour le benzène à partir de l'Équation 5. D'après les résultats obtenus (Tableau 17), les émissions du crématorium ne sont pas susceptibles d'induire des dépassements de la valeur seuil sanitaire (ERI<10⁻⁵) pour le benzène. Selon la terminologie de l'Ineris, le niveau de risque peut être qualifié de « non préoccupant ».

Tableau 17. Détermination des ERI associés au benzène

Substances	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Scénario Résidentiel		Scénario Travailleur Tiers	
		Exposition moyenne annuelle	ERI	Exposition moyenne annuelle	ERI
Benzène	1.6 E-6	5.9E-02	9.4E-08	7.2E-02	1.1E-07

6.3 Résultats pour la voie digestive

Dans les paragraphes ci-dessous, sont présentés les risques sanitaires liés à l'exposition par ingestion d'aliments et de sol contaminés par les seules émissions du crématorium. Pour cette voie d'exposition, et comme indiqué dans les différents tableaux récapitulatifs des VTR présentés dans le chapitre 4 intitulé Inventaire et choix des valeurs toxicologiques de référence, les effets à seuil de dose sont les seuls à être caractérisés. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 18. Quotients de danger (QD) obtenus pour la voie digestive

Age	DJE Hg organique (mg/kg/j)	DJE Hg inorganique (mg/kg/j)	DJE dioxines (mg/kg/j)	QD Hg organique (-)	QD Hg inorganique (-)	QD Dioxines (-)
0 - 1	9.0E-06	2.1E-05	1.9E-11	4.7E-02	3.1E-02	6.7E-02
1 - 3	1.5E-05	3.9E-05	3.8E-11	8.0E-02	6.0E-02	1.3E-01
3 - 6	9.8E-06	2.4E-05	2.3E-11	5.1E-02	3.6E-02	8.1E-02
6 - 11	6.1E-06	1.5E-05	1.5E-11	3.2E-02	2.2E-02	5.0E-02
11 - 15	2.4E-06	7.1E-06	7.9E-12	1.2E-02	1.1E-02	2.7E-02
15 - 18	1.8E-06	5.2E-06	5.8E-12	9.6E-03	7.8E-03	2.0E-02
18 et +	2.2E-06	5.1E-06	5.6E-12	1.2E-02	7.8E-03	1.9E-02
VTR (mg/kg/j)	0.2E-03	0.6E-03	2.9E-10	-	-	-

D'après les résultats obtenus (Tableau 18), les émissions du crématorium ne sont pas susceptibles d'induire des risques préoccupants pour les populations (QD<1) lors d'ingestion de denrées alimentaires d'origine végétale ou animale produites au niveau du site ingestion (ou de sol local), quelles que soit la substance considérée et la classe d'âge

6.4 Risques cumulés

La méthodologie suivie pour l'estimation des risques cumulés a été décrite dans le paragraphe 5.7 intitulé Exposition cumulée. Les risques cumulés sont appréhendés par une simple addition des risques déterminés pour différentes substances quel que soit le système-cible.

Cette démarche est appliquée uniquement pour les risques chroniques, les risques aigus n'étant pas susceptibles de se dérouler au même moment dans l'année compte tenu des pas des durées d'application différents associées aux VTR utilisées (1 heure, 24 heures).

Les calculs effectués montrent une somme de QD maximale de 0.11 pour la voie respiratoire et 0.27 pour la voie orale comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 19. Sommes de QD chroniques selon la voie d'exposition

Système cible	Somme des QD (valeur maximale atteinte)
Voie respiratoire	1.1E-01
Voie digestive (DJE max 1-3 ans)	2.7E-01
Ensemble des 2 voies d'exposition	3.8E-01

D'après ces résultats, les risques chroniques cumulés à seuil de dose induits par les seules émissions du crématorium, et pour les 2 voies d'exposition confondues (respiratoire et orale), ne sont pas susceptibles d'entraîner des risques préoccupants pour la population ($QD < 1$).

7 INCERTITUDES

L'incertitude affectant les résultats de l'évaluation des risques provient des différents termes et hypothèses de calcul, des défauts d'information ou de connaissance, et de la variabilité intrinsèque des paramètres utilisés dans l'étude (ceci se réfère à la plus ou moins grande amplitude de valeurs numériques que peuvent prendre ces paramètres). L'analyse des incertitudes a pour objectif de comprendre dans quel sens ces divers facteurs peuvent influencer l'évaluation des risques.

Certains éléments d'incertitude étant difficilement quantifiables, seul un jugement qualitatif peut être rendu. Néanmoins, nous avons essayé de classer ces incertitudes suivant qu'elles ont pour effet de sous-estimer ou de surestimer les risques calculés, et les incertitudes dont l'effet est variable ou difficilement classable parmi les 2 autres catégories d'incertitude ont été présentées à part.

7.1 Incertitudes ayant pour effet de sous-estimer les risques

7.1.1 SELECTION DES SUBSTANCES RETENUES DANS L'ETUDE

Le rapport a retenu une liste de substances réglementées. L'ensemble des substances susceptibles d'être émises par le projet n'a donc pas été considéré. Ce choix induit une sous-estimation potentielle des risques. Il est toutefois possible d'indiquer que cette sélection se base notamment sur un guide méthodologique (ADEME, 2006). La sous-estimation des risques n'est donc pas susceptible de modifier les conclusions de l'étude en l'état actuel des connaissances.

7.2 Incertitudes ayant pour effet de surestimer les risques

7.2.1 MÉLANGES DE SUBSTANCES

Les effets des mélanges sont encore mal appréhendés et la méthode d'évaluation des risques sanitaires actuellement disponible ne permet pas de les prendre en compte si ce n'est dans l'hypothèse d'une somme des effets des substances ayant les mêmes cibles et les mêmes mécanismes d'action (Ineris, 2003). Les effets synergiques ou antagonistes ne sont donc pas appréhendés. Comme cela est rappelé dans le rapport de l'Ineris sur l'évaluation des risques sanitaires liés aux mélanges de natures chimiques (Ineris, 2006)²¹, la démarche d'ERS telle qu'elle est appliquée actuellement en France fournit des résultats pour chaque substance prise individuellement. D'après l'Ineris le cadre des pratiques méthodologiques proposées par l'US-EPA et l'ATSDR pour évaluer les risques sanitaires liés à des mélanges de polluants chimiques ne remet pas en cause à court terme les pratiques françaises actuelles menées dans les études d'impact des installations classées.

²¹ Ineris, 2006, Evaluation des risques sanitaires liés aux mélanges de nature chimique, Perspectives dans le cadre des études d'impact sanitaire des dossiers de demande d'autorisation d'exploiter des installations classées, 30 p.

7.3 Incertitudes dont l'effet sur les risques est inconnu (ou variable)

Sont listées ici les incertitudes dont on ne peut pas dire de façon quantitative ou qualitative qu'elles ont pour effet de sous-estimer ou de surestimer les risques.

7.3.1 TAUX D'EXPOSITION JOURNALIER

Dans la présente étude, en l'absence de données de budget espace-(activités)-temps disponibles localement correspondant aux temps journaliers passés dans des environnements autres que le domicile, nous avons fait l'hypothèse que les personnes passaient toute la journée dans le domaine d'étude (soit T égal à 1). Dans la réalité, en fonction du temps journalier passé dans d'autres environnements et des niveaux de concentrations qui y seraient observés, l'estimation des niveaux d'expositions journaliers peut être minorée ou majorée par rapport au niveau d'exposition journalier correspondant à 100 % du temps passé au domicile. A titre d'exemple, une étude française a montré que les résultats de l'ERS peuvent être minorés de 30 % par rapport à une hypothèse « 100 % du temps passé au domicile » (Boudet, 1999)²².

7.3.2 FRÉQUENCE D'EXPOSITION ANNUELLE POUR DES EXPOSITIONS CHRONIQUES

Il a été fait l'hypothèse, pour ce type d'exposition, que la fréquence d'exposition (paramètre F de l'Equation 1) était égale à 1, c'est-à-dire que les personnes restent 100 % de leur temps sur le domaine d'étude. Dans la réalité, les riverains sont souvent amenés à se déplacer pour des raisons professionnelles ou personnelles (congrès, week-end...). Dans le cas où ils fréquenteraient des lieux hors du domaine d'étude, où les niveaux d'exposition sont plus faibles que sur le domaine d'étude, leur niveau d'exposition annuel moyen devrait être inférieur au niveau d'exposition annuel moyen correspondant à 100 % du temps de séjour sur le domaine d'étude. Dans ce cas, la prise en compte d'une fréquence d'exposition de 1 tendrait à surestimer les expositions réelles des individus. A contrario, s'ils fréquentent des lieux hors domaine d'étude, où les niveaux d'exposition seraient plus élevés qu'au niveau du domaine d'étude, le niveau d'exposition annuel moyen devrait être supérieur au niveau d'exposition annuel moyen correspondant à 100 % du temps de séjour dans le domaine d'étude. Dans ce deuxième cas, la prise en compte d'une fréquence d'exposition de 1 tendrait à sous-estimer les expositions réelles des individus.

7.3.3 ESTIMATION DES CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES (Ci)

Nous faisons l'hypothèse que les concentrations induites par le crématorium sont égales, à l'intérieur des espaces clos, aux concentrations à l'extérieur des espaces clos. En réalité, le taux de pénétration des polluants dans les intérieurs n'est pas de 100 % et il est variable d'un polluant à l'autre. Pour certaines substances (poussières), les concentrations en intérieur sont susceptibles d'être inférieures aux concentrations en extérieur du fait des capacités de filtration des bâtiments (Mosqueron et Nedellec, 2001)²³. Pour d'autres, les concentrations intérieures sont susceptibles d'être supérieures aux concentrations extérieures (cas des COV) (Mosqueron et Nedellec, 2001)²³.

²² Boudet, Zmirou et al., 1999, Health risk assessment of a modern municipal waste incinerator, Risk Analysis, Volume 19, No. 6, 9 p.

²³ Mosqueron L. et V. Nedellec, 2001, Observatoire de la qualité de l'air intérieur, Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments, 173 p.



7.3.4 INCERTITUDE ASSOCIÉE AU CHOIX DES VTR

Lorsque plusieurs VTR étaient disponibles pour un même composé, une même voie, une même durée d'exposition, une sélection systématique des VTR a été effectuée selon les recommandations de la note de la DGS du 31 octobre 2014. Cette démarche de sélection d'une VTR ne repose pas toujours sur les critères de choix strictement scientifiques, mais parfois aussi sur la notoriété de l'organisme producteur de VTR. Une analyse approfondie des VTR disponibles ainsi que de la sélection de la plus pertinente n'a pas été effectuée dans le cadre de ce travail, la note DGS de novembre 2014 fixant précisément les modalités de choix.

Pour le cas spécifique des particules, l'ANSES a publié un avis en 2023, complété en 2024, relatif à l'élaboration de valeur toxicologique de référence (VTR) par voie respiratoire pour les effets sans seuil pour les particules dans l'air ambiant et notamment les PM2.5. Pour le cas spécifique des PM10, l'ANSES n'a pas retenu de VTR long terme.

L'ANSES précise dans son rapport qu'il n'existe pas à ce jour de consensus ou de recommandations sur des niveaux acceptables de risque sanitaire lié à l'exposition des particules fines. Il précise aussi que pour les particules PM2,5 dans l'air ambiant, les concentrations les plus faibles observées en France sont associées à un niveau de risque de l'ordre de 10^{-4} pour les cancers du poumon et de 10^{-3} pour les décès anticipés, par rapport à une concentration de fond de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De la même manière, les niveaux de risque vie entière de décès anticipé, correspondant à l'exposition à une concentration en PM2,5 équivalente à la valeur cible recommandée par l'OMS en moyenne annuelle de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est de $5,7\text{E-}02$.

Les PM2.5 et les PM10 peuvent donc faire l'objet d'un calcul de risque (ERI) mais les niveaux de risques estimés doivent être considérés distinctement des autres substances prises en compte. Un dépassement de seuil ne correspond donc pas à un niveau de risque préoccupant, mais à un niveau de risque qu'il n'est actuellement pas encore possible de caractériser par manque de consensus entre les différentes institutions/administrations. Le tableau ci-après présente les valeurs de risques calculées.

Tableau 203. Détermination des ERI associés aux PM10 et PM2.5

Substances	VTR	Scénario Résidentiel		Scénario Travailleur Tiers	
		Exposition	ERI	Exposition	ERI
PM10 court terme ($<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	$7,71\text{E-}09$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ + $1,33\text{E-}06$	$4,2\text{E-}01$	$1,3\text{E-}06$	$2,1\text{E-}01$	$1,3\text{E-}06$
PM2.5 long terme	$1,28\text{E-}02$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	$2,3\text{E-}02$	$2,9\text{E-}04$	$2,8\text{E-}02$	$3,5\text{E-}04$
PM2.5 court terme ($<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	$1,65\text{E-}07$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	$4,4\text{E-}01$	$7,2\text{E-}08$	$2,2\text{E-}01$	$3,6\text{E-}08$

Pour les effets court terme des PM2,5 et des PM10, les calculs de risque montrent qu'il est acceptable.

Pour les effets long terme des PM2,5, il est surtout intéressant d'évaluer le risque par rapport à une situation de fond constatée localement. Pour affiner l'interprétation des PM2,5, l'ANSES propose



notamment d'utiliser l'ELR (qui correspond à un ERI) selon la fonction paramétrique suivante pour évaluer les effets à long terme :

$$\text{ELR} = 2,19.10^{-5} \times [\text{PM}_{2,5}]^3 - 1,51.10^{-3} \times [\text{PM}_{2,5}]^2 + 3,61.10^{-2} \times [\text{PM}_{2,5}] - 8,83.10^{-2}$$

L'utilisation de la concentration de fond mesurée par le réseau ATMO, et fixée à 8,1 µg/m³ en 2024 (tableau 14), permet d'estimer que les concentrations modélisées entraîneraient un ERI de 8,39E-04 pour le scénario résidentiel et 7,69E-04 pour le scénario travailleur, soit 0,08 %. Ce pourcentage est largement inférieur à celui estimé par Santé Publique France relatif à la mortalité attribuable aux PM_{2,5} en France par rapport à une concentration de fond de 5 µg/m³. Ainsi, les calculs montrent que les émissions du crématorium n'induisent pas un niveau de risque préoccupant pour la population riveraine.

7.3.5 VARIABLES HUMAINES D'EXPOSITION

Pour l'ensemble des paramètres d'exposition à renseigner pour l'estimation des concentrations moyennes inhalées et des doses journalières d'exposition, aucune donnée locale spécifique à la population du secteur n'a été identifiée. Les paramètres d'exposition concernés sont la fréquence d'exposition, la durée d'exposition, la masse corporelle par classe d'âge, les données de consommation de sol par classe d'âge. A défaut, ce sont les données générales établies pour la population française qui ont été considérées. L'effet sur les risques de la prise en compte de ces données est difficile à évaluer. Il est toutefois possible que la majorité de ces paramètres ait fait l'objet d'une analyse par l'Ineris dans le cadre de la base de données afférente à l'outil MODULERS.

7.3.6 MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

Les incertitudes relatives aux calculs de modélisation sont de deux types : celles intrinsèques au modèle numérique, compte tenu notamment de la complexité du site et de la problématique à modéliser, et celles relatives à la qualité des données d'entrée du modèle.

7.3.6.1 Incertitudes intrinsèques au modèle

Plusieurs campagnes de mesures très documentées, effectuées sur des sites industriels durant les 50 dernières années, ont été référencées et leurs données intégrées à des bases de données destinées à évaluer a posteriori les modèles de dispersion atmosphérique. Parmi ces bases de données, on citera l'outil européen d'évaluation MVK (Model Validation Kit). Plusieurs articles internationaux^{24,25} rapportent les résultats de campagnes de comparaisons entre le modèle ADMS et les mesures sur site.

Ces résultats montrent que si les données d'entrée sont bien maîtrisées et en présence d'une topographie peu marquée, l'incertitude sur les résultats du modèle pour des sources élevées de type cheminée, reste inférieure à 20% en moyenne annuelle. Sur les valeurs maximales (percentiles 100), l'incertitude reste de l'ordre de 30%. Notons enfin que statistiquement, les incertitudes diminuent pour

²⁴ Hanna S.R., Egan B.A., Purdum J. and Wagler J. (1999), Evaluation of ISC3, AERMOD, and ADMS Dispersion Models with Observations from Five Field Sites. HC Report P020, API, 1220 LSt. NW, Washington, DC 20005-4070, 1999.

²⁵ ADMS3 validation Summary, CERC, 2001.



les percentiles de rang inférieur (99.8, 99.7, 98...). La présence de bâtiments en champ proche augmente ces valeurs, de même que la présence d'un relief plus marqué.

Le tableau suivant liste les principales caractéristiques du site et de son environnement, susceptibles, par leur complexité, de favoriser l'augmentation des incertitudes dans le calcul de dispersion. La complexité de ces caractéristiques est classée suivant les critères : nulle, faible, moyenne, élevée.

Tableau 214 – Complexité du site et de son environnement

Modèle	Complexité	Commentaires
Relief sur le domaine	Faible	Le relief est peu marqué.
Obstacles autour de l'installation	Faible	Les bâtiments susceptibles d'avoir un impact significatif sur la dispersion des rejets ont été pris en compte dans la modélisation.
Météorologie	Faible	Les données météorologiques sont issues de la station météorologique de Brest-Guipavas. située proche de la zone d'étude
Complexité des sources	Faible	Les rejets sont issus d'une seule source canalisée
Échelles spatiales étudiées	Faible	Les cibles sont comprises entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres des sources. c'est à dire dans le domaine de validité du modèle.

7.3.6.2 Incertitudes relatives aux données d'entrée

Un bon modèle peut donner de mauvais résultats, si les données d'entrée sont de mauvaise qualité. Le tableau suivant regroupe les principaux paramètres d'entrée du modèle de dispersion ADMS, et les qualifie selon les critères suivants : mauvaise, moyenne, bonne.

Les données d'entrée du modèle sont globalement de bonne qualité. Les propriétés physiques des particules ont toutefois fait l'objet d'hypothèses, par défaut de connaissance. La taille et la densité des particules impactent principalement la valeur de dépôt au niveau du sol. L'influence sur la dispersion des panaches et donc sur les concentrations dans l'air reste limitée. Les valeurs des paramètres retenus sont issues de la littérature et constitue des hypothèses réalistes.

7.3.6.3 Conclusion sur l'incertitude relative à la dispersion atmosphérique

Il est difficile de quantifier avec précision l'incertitude sur les résultats. On retiendra pour cette étude que globalement les données du modèle sont de bonne qualité, et que peu d'hypothèses arbitraires ont dues être faites.

7.3.7 MODELISATION DES TRANSFERTS DANS LA CHAÎNE ALIMENTAIRE

La modélisation des transferts de polluants depuis les émissions atmosphériques vers les différents milieux considérés (légumes, viande de volailles, etc.) simplifie les phénomènes de transferts naturels qui se produisent dans la chaîne alimentaire, ce qui génère des incertitudes. Ces incertitudes sont liées. d'une part au modèle et à sa conception, et d'autre part aux données d'entrée (concentrations

atmosphériques et dépôts au sol estimés à partir des résultats de la modélisation de la dispersion, valeurs paramétriques données par MODUL'ERS, données de consommation alimentaire, etc.).

Dans le contexte des transferts multimédias. MODULERS est un outil de référence : il s'agit d'une méthodologie totalement transparente (au niveau des équations, des paramètres et des valeurs paramétriques recommandées), utilisant des équations reconnues ayant fait l'objet d'un consensus d'experts.

7.3.8 INCERTITUDE INTRINSÈQUE AUX VTR

L'établissement de valeurs toxicologiques de référence (VTR), pour la population générale et pour une durée d'exposition aiguë ou chronique, à partir d'études épidémiologiques (principalement en milieu professionnel) ou animales, et présentant des conditions particulières d'exposition (doses administrées, durée et voie d'exposition, etc.) induit la prise en compte de facteurs d'incertitude variables, le plus couramment compris entre 3 et 1000. Ces facteurs d'incertitude s'apparentent soit à une variabilité, soit à un manque de connaissance (vraie incertitude). A titre d'exemple, les facteurs d'incertitude relatifs à la variabilité concernent la gravité ou l'occurrence des effets sanitaires pouvant être observés entre 2 espèces différentes (variabilité inter-espèce) ou au sein d'une même espèce (variabilité intra-espèce). Les facteurs d'incertitude relatifs à un manque de connaissance concernent le plus souvent un manque de données disponibles (facteur permettant l'estimation d'un NOAEL²⁶ à partir d'un LOAEL²⁷, facteur permettant de considérer un effet sanitaire qui a fait l'objet de peu d'études, etc.). Ces différents facteurs d'incertitude sont considérés (et précisés) pour les différentes VTR utilisées dans la présente étude en Annexe 3.

²⁶ Plus forte dose d'exposition sans effet observé (No Observed Adverse Effect Level)

²⁷ Plus faible dose d'exposition avec effet observé (Lowest Observed Adverse Effect Level)

8 CONCLUSION

La présente étude a permis de caractériser les risques sanitaires liés à l'inhalation et à l'ingestion des substances émises lors du fonctionnement d'un crématorium sous sa nouvelle configuration (installation d'une nouvelle cheminée) situé à Nîmes. La démarche suivie a été celle préconisée par l'Ineris dans son guide de 2021. Conformément aux recommandations de l'Ineris, la caractérisation des risques sanitaires a porté sur les seules émissions de l'installation.

Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes.

8.1 Exposition respiratoire

8.1.1 EXPOSITION AIGUË

Concernant les expositions respiratoires aiguës aux substances émises par le futur crématorium, et retenues dans l'ERS, aucun dépassement des seuils sanitaire n'a été estimé ($QD < 1$, $ERI < 10^{-5}$), et ce, pour l'ensemble des substances considérées.

Pour les poussières (PM_{10} et $PM_{2.5}$) et les oxydes d'azote, substances pour lesquelles aucune VTR n'est disponible, aucun dépassement de valeur guide n'a été déterminé sur le domaine d'étude.

8.1.2 EXPOSITION CHRONIQUE ET EFFETS À SEUIL DE DOSE

Concernant les expositions respiratoires chroniques, les quotients de danger (QD) estimés n'induisent pas de risque préoccupant pour les populations ($QD < 1$) pour l'ensemble des substances étudiées.

Concernant les substances pour lesquelles aucune VTR n'est disponible mais pour lesquelles il existe des valeurs-guides annuelles (PM_{10} , $PM_{2.5}$ et NO_2), aucun dépassement des valeurs-guides annuelle n'est observé.

8.1.3 EXPOSITION CHRONIQUE ET EFFETS SANS SEUIL DE DOSE (CANCÉRIGÈNES)

Concernant le benzène, substance à induire ce type d'effet, les seules émissions de l'installation n'induisent pas un niveau de risque préoccupant pour la population riveraine, bien que les émissions en cette substance aient été assimilées comme égales à l'ensemble des composés organiques émis par l'installation dans une hypothèse simplificatrice majorante. Pour les particules fines, la prise en compte des VTR proposés par l'ANSES pour les effets court et long terme montre que les émissions du crématorium n'induisent pas un niveau de risque inacceptable ou différent de celui déjà constaté localement si l'on considère le bruit de fond local.

8.2 Exposition orale

A l'image de la voie respiratoire, la caractérisation des risques sanitaires pour la voie digestive a porté sur les seules émissions de l'installation. A noter toutefois que des informations ont été recherchées pour estimer les niveaux de fond dans l'alimentation auxquels est exposée la population française en générale. D'après les résultats obtenus, les niveaux de fond dans les sols et les aliments induits par les dépôts atmosphériques du crématorium devraient contribuer marginalement aux niveaux en substance auxquels sont déjà exposées les populations de par leur alimentation quotidienne.

Les substances considérées n'étant susceptibles d'induire que des effets à seuil de dose, ce type d'effet est le seul à avoir été caractérisé. Les calculs des quotients de danger estimés pour cette voie



d'exposition conduisent à des risques non préoccupants pour la population ($QD < 1$) pour l'ensemble des substances considérées.

8.3 Risques cumulés

Les sommes de risques effectuées pour les effets chroniques non cancérogènes et les deux voies d'exposition (respiratoire et orale) liés à l'exposition aux émissions de l'installation n'induisent pas des niveaux de risque préoccupants pour la population.



Annexe 1. Dynamique du mercure après combustion (HHRAP)

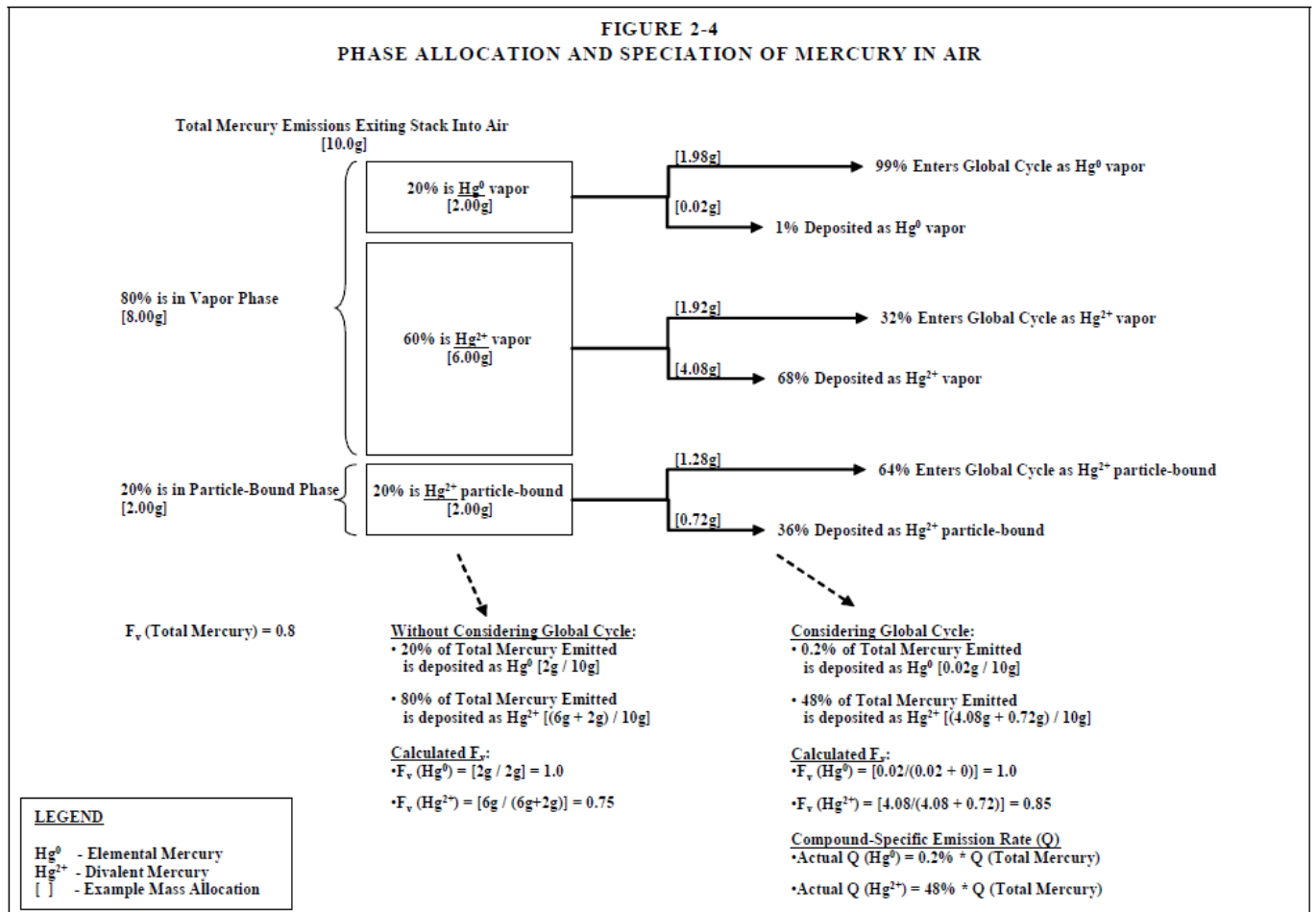


Figure 13 - Comportement du mercure dans l'air et dans la chaîne alimentaire après un procédé de combustion (HHRAP)

Annexe 2. La modélisation de la dispersion atmosphérique

Cette annexe présente les hypothèses de modélisation retenues pour déterminer la dispersion atmosphérique des substances.

1. Choix du modèle de dispersion

Le modèle de dispersion atmosphérique retenu pour cette étude est ADMS, version 6.

Il s'agit d'un modèle gaussien à trajectoire spécialement développé pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques d'une grande variété de sources industrielles sur des zones complexes. Développé depuis plus de 20 ans par le Cambridge Environmental Research Consultant (CERC), cet outil numérique est largement utilisé et reconnu sur le territoire Français, en Europe et dans le monde (1000 licences dans le monde). Considéré par l'INERIS comme la nouvelle génération des modèles de dispersion atmosphérique gaussiens, il est reconnu par l'US EPA (Environmental Protection Agency of United-States) comme un modèle « avancé » (« advanced model »). Validé par l'outil européen d'évaluation des modèles de dispersion, le « Model Validation Kit », il se base sur les technologies et les connaissances les plus récentes dans le domaine. Parmi les utilisateurs, on compte des organismes nationaux et internationaux (Union Européenne, INERIS, Ministère de la santé Français et du Royaume Uni, InVS, INSERM, AFSSET, CEA, SNPE, IRSN, CEREMA, Météo France, Ecole des mines de Douai et de Saint Etienne,...), des industriels (TOTAL, EDF, SOLVAY, RHODIA, AREVA, SAUR, OCP...), des associations pour la surveillance de la qualité de l'air (AIRPARIF, Atmo Sud, ASPA, Qualitair Corse...), ainsi que de nombreux bureaux d'études (TECHNIP, RHODIA Ingénierie, APAVE, DEKRA, URS Europe, ARCADIS, SOGREAH, IRH Espace, Groupe SECHAUD, BURGEAP, SETEC Environnement,...).

Ce modèle gaussien de seconde génération a été jugé le plus adapté ici compte-tenu :

- des caractéristiques du projet : sources canalisées bien définies ;
- des dimensions du domaine d'étude et de ses caractéristiques : quelques kilomètres de côté, et relief très modéré dans l'environnement des sources ;
- des objectifs de l'étude : étude de l'impact chronique du site sur plusieurs années météorologiques.

2. Hypothèses de Modélisation

- Domaine d'étude / grille de calcul :

- Etendue : 4 000 x 4000 m²
- Résolution : 40 m
- Position : centré sur le site

- Points récepteurs : ☐ Oui ☒ Non

- Polluant(s) modélisé(s) :

☒ gazeux :

6 polluants gazeux : Nox, SO₂, CO, COVT, HCl et Hg

Polluants gazeux assimilés à des traceurs chimiquement passifs (évolution chimique des rejets gazeux dans l'environnement non considérée, excepté pour les NOx)

☒ particulaire(s) :

4 polluants particulaires :

PM10, Ø 10µm et densité 1000 kg/m³

PM2.5, Ø 2.5µm et densité 1000 kg/m³

Hg particulaire, Ø 2.5µm et densité 1000 kg/m³

PCDD / PCDF, Ø 2.5µm et densité 1000 kg/m³

- Phénomènes de dépôt sec et humide : ☒ Activé ☐ Non activé

Pour les espèces particulaires

- Sources modélisées : ☒ canalisée(s)

Nombre : 2 Identification : Cheminée du crématorium

☐ diffuse(s)

- Caractéristiques d'émission des sources modélisées pour la configuration modélisée (Source des données : ESKA Conseil)

Sources	Type	Hauteur de rejet par rapport au sol (m)	Température d'émission (°C)	Diamètre (m)	Vitesse d'émission (m/s)	Débit réel (m³/h)
CheminéeNord	Ponctuelle	7.3	150	0.35	20.2	7000
CheminéeSud	Ponctuelle	7.35	150	0.25	21.7	3830

- Localisation de la source et bâtiments modélisés :

Localisation des sources et bâtiments modélisés

- Cheminée
- Bâtiments
- Limites du site



- Variabilité temporelle des émissions :

☒ Prise en compte

Emissions du lundi au samedi

- de 9h à 12h
- de 14h à 17h

☐ non pris en compte (fonctionnement constant)

- Météorologie locale :

☒ Observations

Données horaires des vents, des précipitations et des températures récupérées auprès de Météo-France à la station de Nîmes-Courbessac du 1er janvier 2022 au 31 décembre 2024

☒ Simulations

Afin de compenser les données de nébulosité manquantes dans les observations, les données de nébulosité simulées par le modèle météorologique AROME mis en œuvre par Météo France, avec une résolution de l'ordre de 3km, ont été utilisées

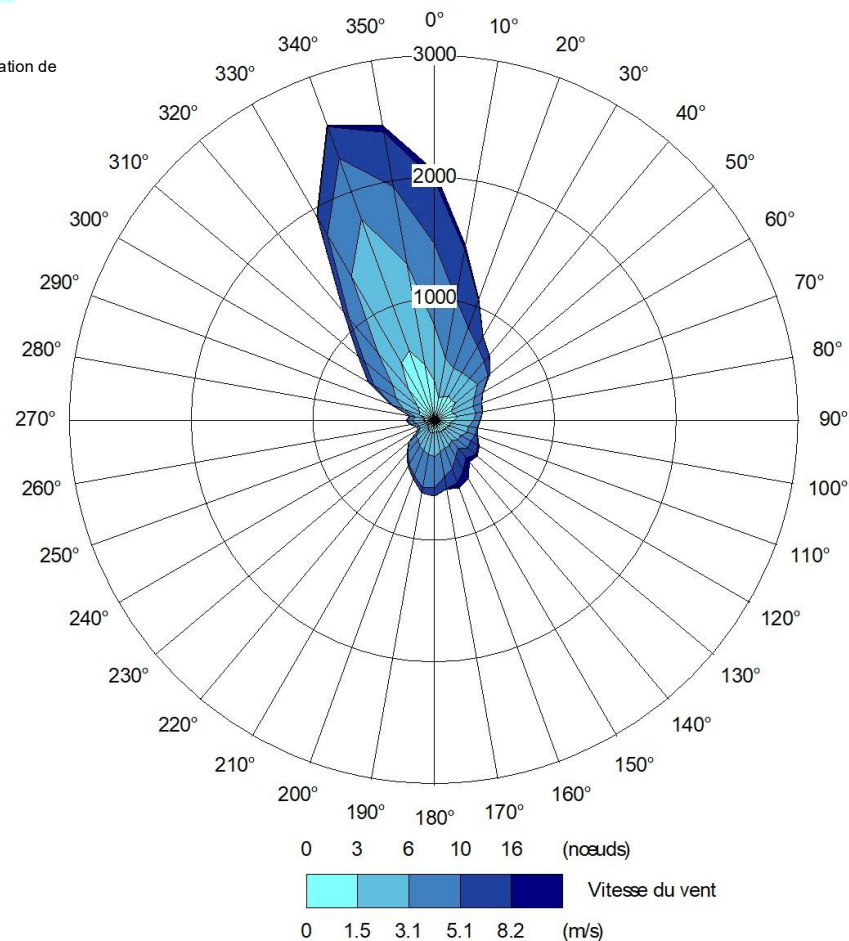
Période du 1er janvier 2022 au 31 décembre 2024

Fréquence des données : horaires

• Roses des vents sur la période retenue :

Rose des vents

- Données météo mesurées à la station de Nîmes-Courbessac
- Années 2022-2024
- Fréquence horaire



- Conditions de vent calme :

☒ Prises en compte

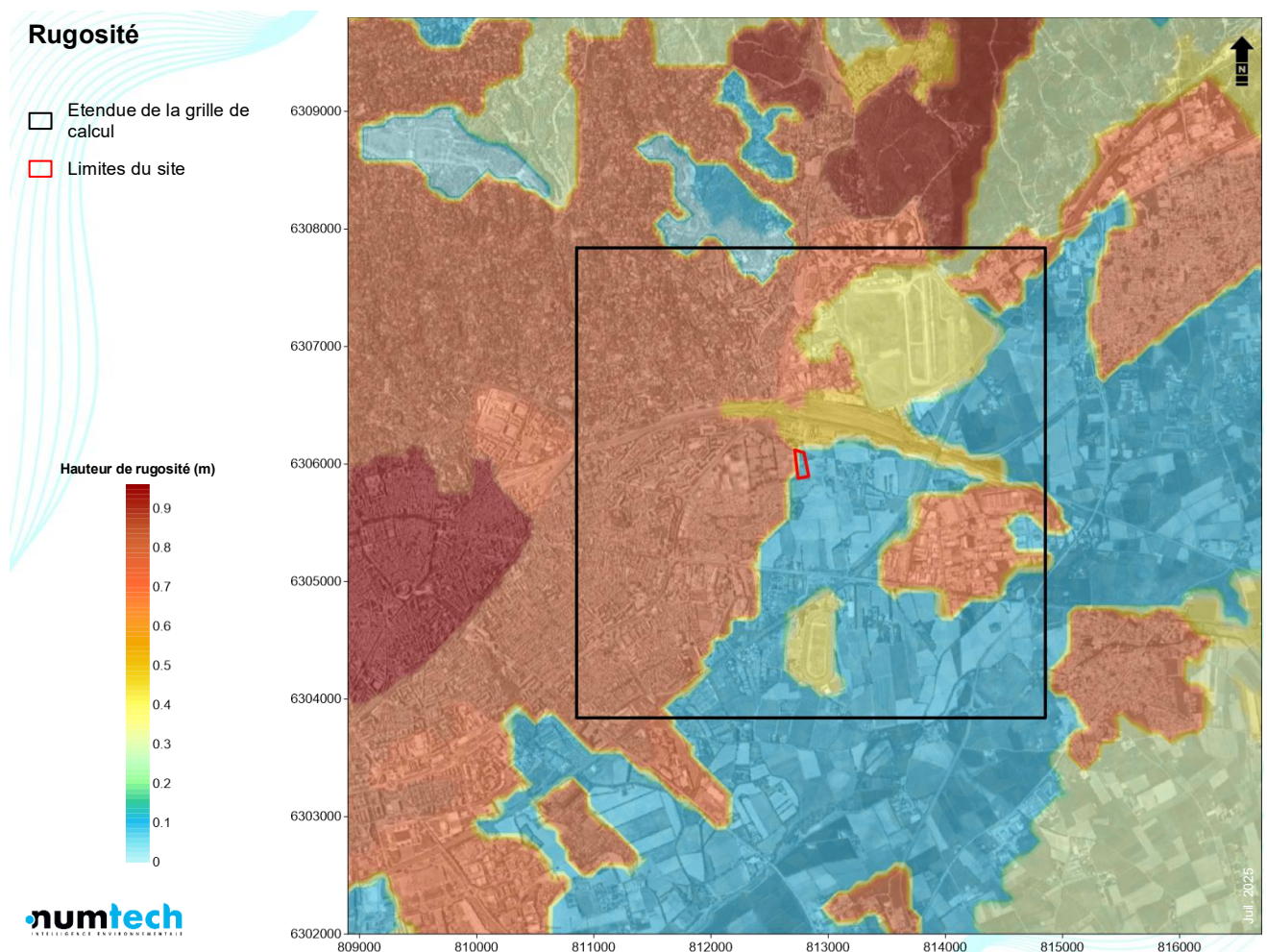
5.4 % de vents de vitesse < 0.75 m/s sur la période météorologique considérée

☐ Non prises en compte

- Nature des sols rencontrée :

☒ variable (Origine des données : Base Corinne Land Cover (SeOS))

☐ homogène



- Effet du bâti et des obstacles :

☒ Pris en compte.

Les dimensions des bâtiments/obstacles présents sur le site sont non négligeables par rapport à la hauteur de rejet des émissaires modélisés. Les principaux bâtiments

présents à proximité des sources canalisées ont été considérés, et sont présentés sur la figure des sources.

☐ Non pris en compte (dimensions des bâtiments/obstacles négligeables / aux hauteurs des sources canalisées)

Effet du relief :

☒ Prise en compte des effets locaux du relief sur les champs de vent et de turbulence par couplage ADMS / modèle d'écoulement diagnostique 3D FLOWSTAR

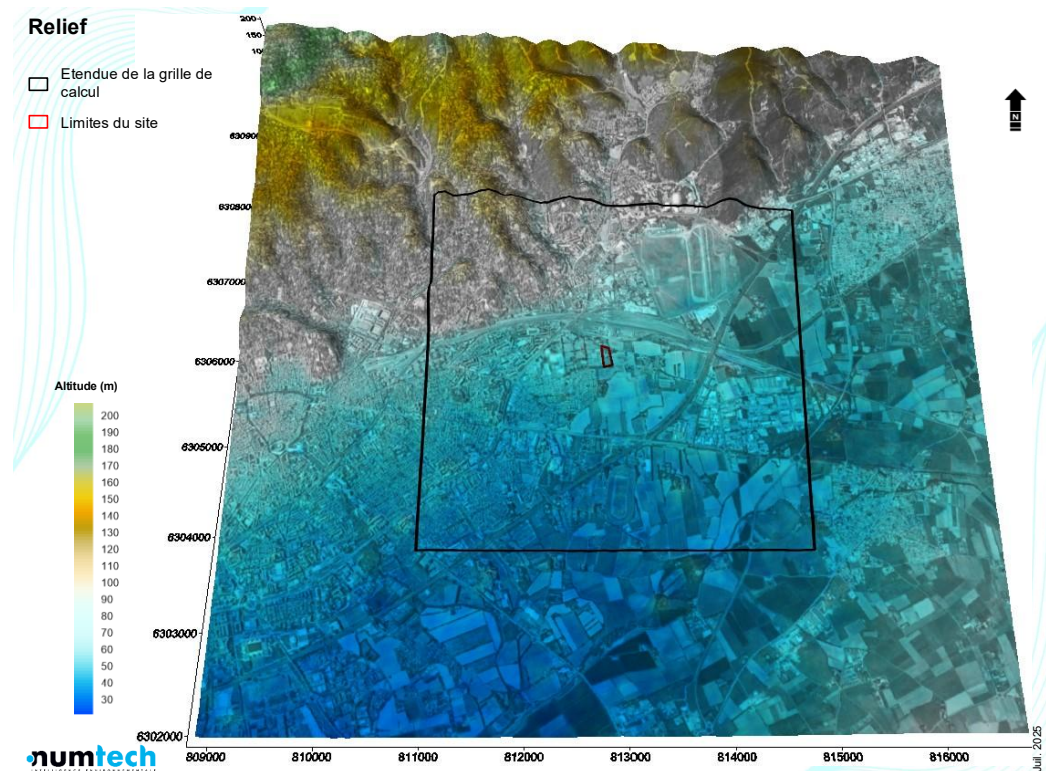
Origine des données :

☒ Base de données SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) de la NASA. la NGA (National Geospatial-intelligence Agency) et des agences spatiales allemandes et italiennes (résolution initiale de 90 m)

☐ Données issues de l'IGN

☐ Raffinement du fichier pour prise en compte de relief local

☐ Non pris en compte (Environnement du site plat).



3. Sorties

- Temps d'intégration : horaire



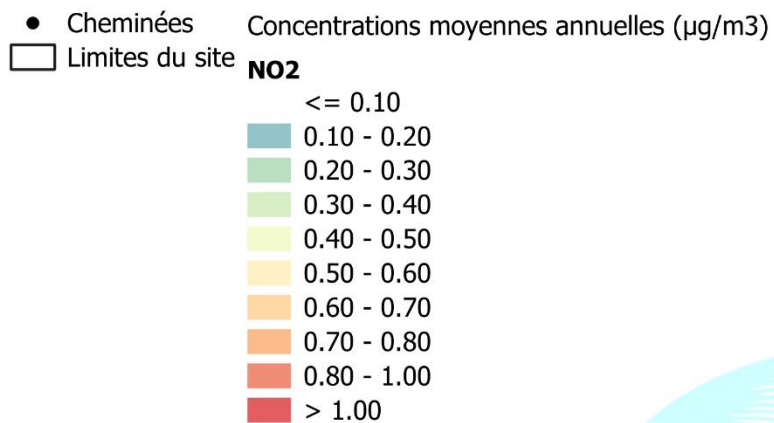
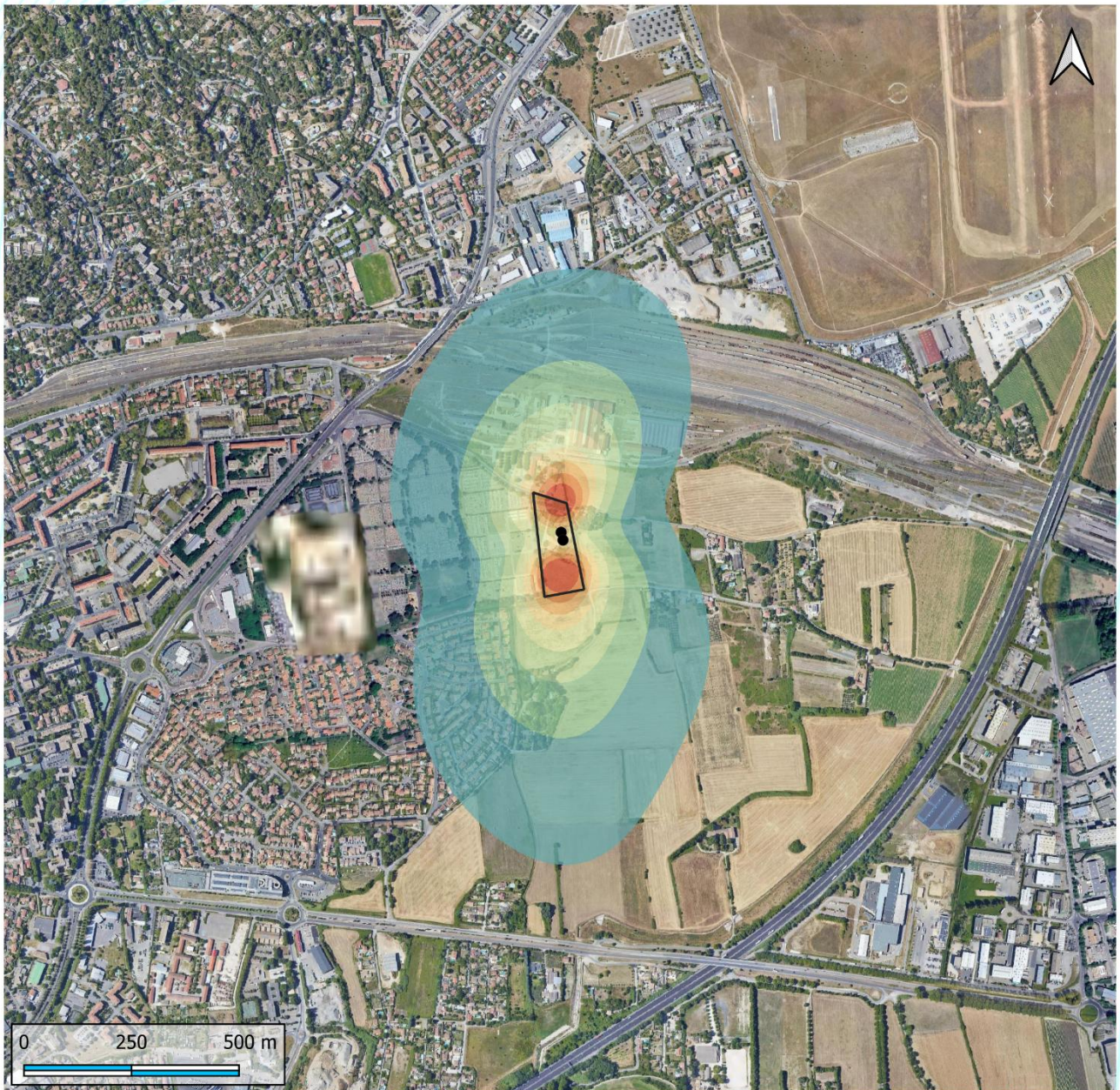
- Paramètres calculés en sortie :
 - ☒ Concentration moyenne annuelle
 - ☒ Percentiles 100 horaires ou journaliers selon les durées d'exposition associées aux VTR de chaque substance
 - ☒ Dépôt moyen annuel au sol pour les espèces particulières
- Hauteur de calcul : 1.5 m au-dessus du sol

4. Cartographies résultats

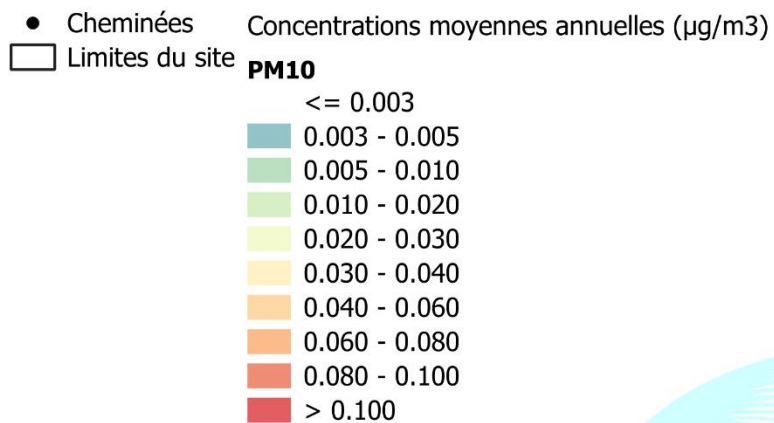
Les figures ci-dessous présentent deux cartographies de dispersion obtenues :

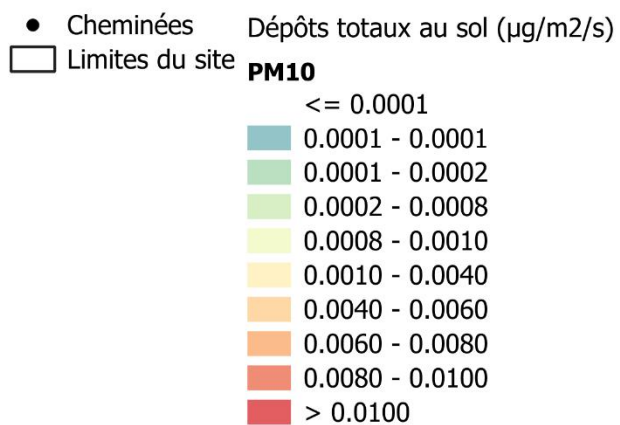
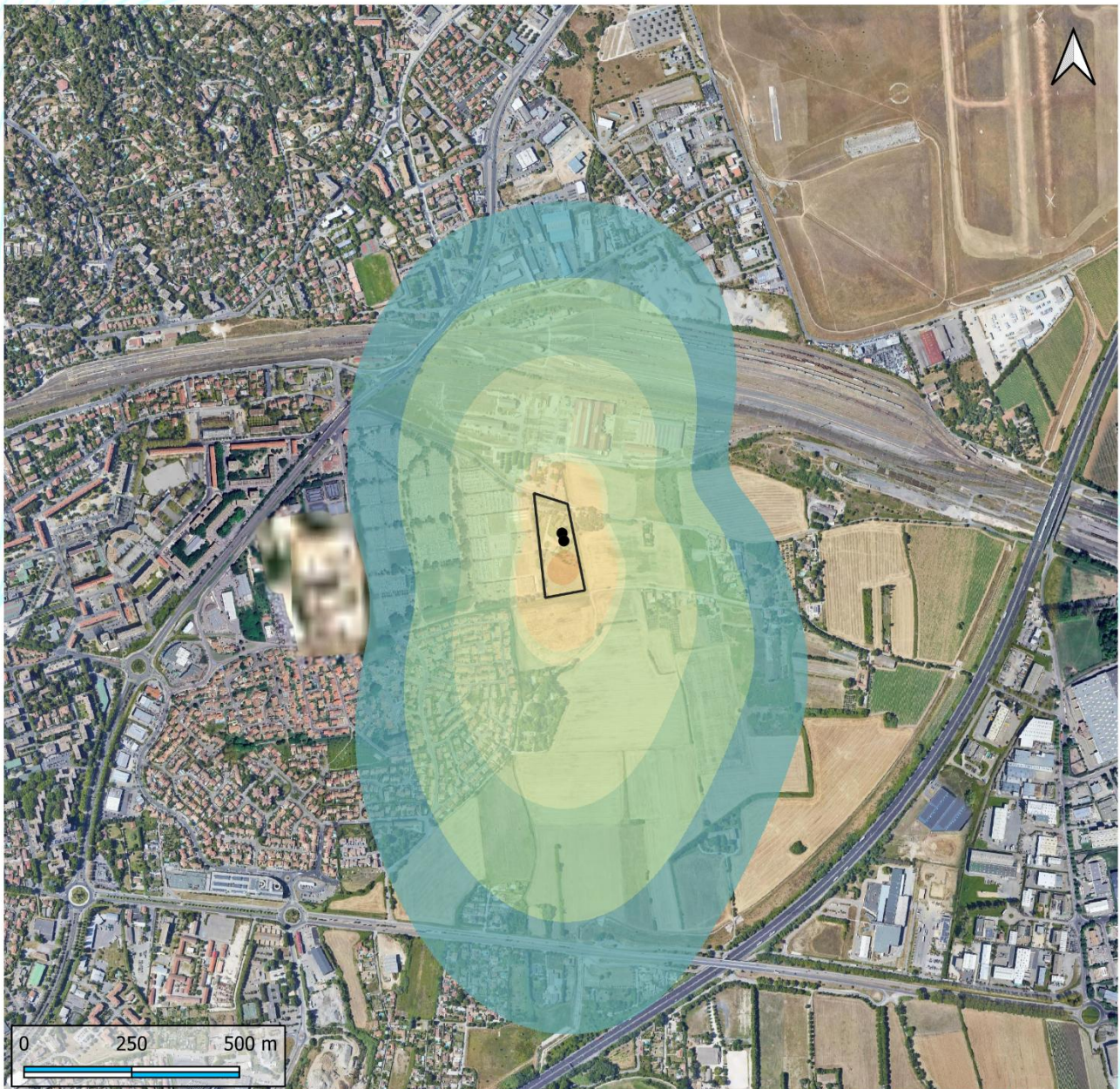
- Pour les concentrations moyennes annuelles en NOx,
- Pour les concentrations moyennes annuelles en PM10,
- Pour les flux de dépôts moyens annuels des PM10.

Concentrations moyennes annuelles



Concentrations moyennes annuelles





Annexe 3. Fiches toxicologiques des substances étudiées dans l'ERS

Annexe fournie à part

Annexe 4. Récapitulatif des données et des résultats obtenus avec MODULERS

Annexe fournie à part



6 allée Alan Turing

CS 60242

Parc Technologique de La Pardieu

63178 AUBIERE CEDEX

www.numtech.fr

